

Martine MÉHEUT

Jacques BESANÇON et Andrée TIBERGHIE

Le premier numéro de *Didaskalia* a été publié en septembre 1993, nous arrivons ainsi à deux ans de fonctionnement.

Le bilan de ces années, fait conjointement par les éditeurs, le comité de rédaction et l'INRP, nous a conduits à deux décisions importantes. En effet, si nous recevons des avis extrêmement positifs des lecteurs, notre diffusion est encore insuffisante. Nous avons donc décidé, d'un commun accord, de demander à la maison d'édition De BOECK de prendre en charge la publication et la diffusion de *Didaskalia*. Nous avons également décidé de passer à deux numéros annuels, chacun étant plus important : de 128 pages le numéro passe à 152 pages.

La publication de *Didaskalia* continuera avec les orientations choisies dès le début. Les quatre parties de *Didaskalia*, articles de recherche, point de vue, innovations, notes de lecture et actualité des colloques, manifestent nos choix de rigueur et d'ouverture.

Les articles de recherche sont expertisés par deux et le plus souvent trois personnes sans que les noms des auteurs ne leur soient connus, et dans la mesure du possible, les experts choisis sont de pays différents.

Nous souhaitons que les points de vue soient un moyen de dialoguer non seulement entre chercheurs de didactique, mais avec les acteurs d'autres secteurs importants pour l'enseignement et la formation. C'est ainsi que dans le numéro 4 nous avons donné la parole à des responsables industriels. Dans ce numéro, nous publions la réponse d'un chercheur au point de vue de P.L. Lijnse paru dans le numéro 3 concernant un point majeur de la didactique, la recherche-développement.

Les innovations sont souvent connues seulement de l'environnement proche des acteurs ; *Didaskalia* permet de faire connaître de telles activités à des publics plus larges, ce qui nous paraît essentiel.

Les notes, que nous avons volontairement choisies «critiques», permettent de faire connaître de nouvelles publications avec le regard, quelquefois marqué, des auteurs de ces notes.

Dans la perspective de renforcer l'ouverture, nous faisons appel à vous pour nous envoyer ou pour faire envoyer des articles de recherche ou d'innovation. Nous vous rappelons que nous acceptons des articles en langues anglaise et espagnole ; ces articles seront traduits s'ils sont acceptés. Merci de votre contribution.

Communication d'un savoir scientifique en classe De la verbalisation au concept d'équilibre chimique

**Nathalie ÉVRARD, Anne-Marie HUYNEN,
Cécile de BUEGER-VANDER BORGHT**

Laboratoire de Pédagogie des sciences
Université catholique de Louvain
Faculté des sciences
Bâtiment Marie Curie
2, rue du Compas
B1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

Résumé

Cet article présente deux outils visant à décrire et à analyser le discours oral d'un enseignant en situation didactique. L'étude porte sur trois professeurs de sciences du lycée, en Belgique francophone, introduisant le concept d'équilibre chimique. La première approche développée consiste en un repérage et un comptage des termes utilisés dans le discours, la seconde en une représentation schématique d'associations de termes réalisées par chaque enseignant face à des élèves de 16 à 17 ans.

Mots clés : *équilibre chimique, enseignement au lycée, discours oral, termes scientifiques, réseaux de termes.*

Abstract

This paper presents two tools allowing a description and an analysis of a teacher's speech in a didactic situation. This study concerns three Belgian french speaking

teachers at the secondary school level who introduce the concept of chemical equilibrium. The first approach consists in locating and counting used terms. In the second approach, we have looked at a schematic representation of terms association carried out by teachers working with 16 to 17 years old students.

Key words : *chemical equilibrium, secondary level teaching, oral discourse, scientific terms, terms networks.*

Resumen

Este artículo presenta dos instrumentos pretendiendo describir y analizar el discurso oral de un enseñante en situación didáctica. El estudio concierne a tres profesores de ciencias del liceo, en la Belgica de habla francesa, introduciendo el concepto de equilibrio químico. La primera aproximación desarrollada consiste en una localización y conteo de los términos utilizados en el discurso, la segunda es una representación esquemática de asociaciones de términos realizados por cada enseñante frente a los alumnos de 16 a 17 años.

Palabras claves : *equilibrio químico, enseñanza en el liceo, discurso oral, términos científicos, red de términos.*

1. INTRODUCTION : PRÉSENTATION DE LA RECHERCHE

Les didacticiens s'attachent principalement à repérer les obstacles à l'apprentissage des concepts scientifiques et à proposer des chemins didactiques qui semblent adéquats. Peu de recherches concernent les logiques disciplinaires que les enseignants véhiculent à travers leurs discours en classe.

Nous faisons l'hypothèse que la structure du discours oral de l'enseignant constitue un des critères qui influencent la structuration de la connaissance de l'élève.

Dans une phase exploratoire, nous tentons, à l'aide de deux types d'outils, d'approcher la structure du discours oral de l'enseignant en laissant temporairement de côté l'élève.

L'article répond à la question suivante : quelles trames conceptuelles et discursives trois enseignants, de section différente, déploient-ils ? À partir des analyses menées, nous proposons des pistes de réflexion didactique.

1.1. Pourquoi le discours oral ?

La bibliographie fait état d'un nombre impressionnant de recherches réalisées sur l'écrit : analyse de manuels scolaires, décodage des procédures de reformulation, analyse de la lisibilité, pertinence et fonctions du schéma, du tableau, du graphique au sein d'un document scripto-visuel.

Peu de recherches concernent l'oral. Or, quelle que soit l'activité pédagogique organisée dans le groupe-classe, on observe que le discours oral occupe la quasi-totalité d'une heure de cours. En effet, chaque schéma, chaque support pédagogique est accompagné d'un commentaire oral émis par l'enseignant ou par l'élève.

1.2. Pourquoi le concept d'équilibre chimique ?

Plusieurs raisons ont guidé notre choix : l'importance du concept pour la compréhension de la chimie, la mise en évidence de *misconceptions* (Hackling & Garnet, 1985) résultant de l'apprentissage du concept et la proposition de nouvelles stratégies cognitives.

Pour le chimiste, enseigner l'équilibre chimique constitue un passage obligé car la plupart des réactions chimiques sont des équilibres, c'est-à-dire qu'elles sont «*caractérisées par un état d'équilibre statistique. Les produits issus des réactifs interagissent en régénérant ces derniers*» (Angenault, 1991).

L'équilibre chimique, notion abordée pour la première fois par les élèves belges de l'enseignement secondaire supérieur (élèves de 16 à 17 ans), apparaît comme une source de difficultés.

Cette notion d'équilibre est souvent réduite à l'établissement d'une égalité ou à l'association «équilibre-immobilité» (de Bueger & Mabilie, 1989). Pour lever cet obstacle et aborder l'aspect dynamique de l'équilibre, la vitesse des réactions impliquées devrait être appréhendée par l'apprenant.

Certaines sources de difficultés rencontrées par l'élève ont été mises en évidence par G. Rumelhard. Celui-ci fait l'hypothèse que ces difficultés peuvent provenir des images et des sens véhiculés dans le langage courant (Rumelhard, 1983).

Dans un numéro du *Journal of Chemical Education*, de nouvelles approches didactiques du concept d'équilibre chimique sont décrites. Il est notamment question d'un jeu permettant de mettre en évidence, autrement, l'aspect dynamique de l'équilibre chimique (Cullen, 1989).

2. MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

Notre recherche s'est centrée sur une analyse du lexique présent dans le discours oral de l'enseignant en classe de chimie. De quels termes l'enseignant se sert-il pour parler de l'équilibre chimique ? Quelles associations terminologiques l'enseignant privilégie-t-il ?

2.1. Du discours scientifique au discours à vocation didactique

Le terme «discours» peut être défini comme un ensemble d'unités linguistiques égales ou supérieures à la phrase émanant d'un individu ou d'un même groupe social et présentant des caractères linguistiques communs (Reboul, 1984).

Dans une situation scolaire à interactions asymétriques (enseignant-apprenant), le discours pédagogique à contenu scientifique se différencie du discours scientifique destiné à des pairs. Ce dernier est caractérisé par l'usage d'un vocabulaire spécialisé distinct du lexique ordinaire par certaines de ses propriétés formelles et sémantiques. Chaque concept est désigné par un seul nom, et réciproquement chaque vocable renvoie à une seule notion. «*Dans le cadre d'une théorie déterminée, les termes scientifiques sont définis avec une précision qui tend à les doter d'un statut monosémique.*» (Jacobi, 1987)

Dans un discours pédagogique, il s'agit toujours de proposer une équivalence sémantique entre un terme scientifique et sa reformulation. Cette synonymie ou équivalence peut être source de confusions et d'obstacles, elle peut induire les élèves en erreur (Zapata, 1992). De plus, certains mots du langage courant ont été utilisés pour construire le langage scientifique, parfois avec des sens différents. L'apprenant peut ainsi rencontrer plus de difficultés pour conceptualiser (Carretto & Viovy, 1994).

Selon M. Develay, le savoir enseigné n'est pas un savoir savant appauvri ou vulgarisé. Il s'agirait plutôt d'un savoir source qui a subi une transposition didactique (Develay, 1992).

2.2. Recueil des données

Afin de décrire le discours oral d'enseignants, nous avons procédé à l'enregistrement d'une unité d'enseignement consacrée à «l'équilibre chimique». Trois enseignants de l'enseignement secondaire supérieur, en Belgique francophone (élèves de 16 à 17 ans) ont participé à cette étude.

Le tableau 1 présente le type d'enseignement, l'option scientifique des élèves ainsi que le nombre d'heures enregistrées pour chaque enseignant (taille des corpus).

	Discours I	Discours II	Discours III
Type d'enseignement	Général de transition	Technique de transition	Technique de qualification
Nombre d'heures de chimie par semaine	3 heures	2 heures	2 heures
Taille du corpus	9 x 50 minutes	1 x 50 minutes	6 x 50 minutes

Tableau 1: **Échantillon**

Pour garantir une homogénéité parmi ces trois corpus, nous avons été contraints de sélectionner des passages. Nos corpus ont été constitués en éliminant les interventions des élèves, les interventions de l'enseignant qui ne concernaient pas directement le concept étudié, ainsi que les heures de cours consacrées aux exercices. Dès lors, 6 x 50 minutes et 4 x 50 minutes des premier et dernier corpus ont été choisis.

L'enregistrement des différents discours a ensuite été transcrit selon des conventions qui permettent de valoriser l'oral des corpus, de traiter informatiquement les données (comptage de termes, repérage de leur contexte...) et de tenir compte des phénomènes liés à l'interaction entre locuteurs (conventions mises au point par le groupe de recherche Valibel, voir Francard & Peronnet, 1989).

Pour traiter ces informations, nous avons adopté deux approches : l'une lexicale et l'autre sémantique.

2.3. Traitement des données

Approche par le lexique

L'approche lexicale repose sur l'analyse des termes utilisés par l'enseignant. « *Un terme est une unité lexicale définie dans les textes de la langue de spécialité.* » (Kocoureck, 1982)

Après avoir isolé le discours de l'enseignant de celui des élèves, les termes utilisés par l'enseignant ont été comptabilisés. Nous avons retenu ceux qui nous paraissaient subjectivement appartenir à la langue de spécialité. Pour réduire notre propre subjectivité, nous avons comparé la liste des termes extraits des trois corpus aux vocabulaires utilisés dans deux documents sources : *Cours de chimie physique* de P. Arnaud (1988)

et *Cours de chimie 5^e, 1 période/semaine* de A-M. Huynen et N. Delrue (1987).

Plus spécifiquement, nous n'avons sélectionné que les formes nominales simples, composées ou non. Les verbes sont restés momentanément de côté d'une part pour éviter de complexifier le second outil que nous présentons ci-dessous, et d'autre part pour garantir une unité dans le choix des catégories grammaticales.

Les termes doivent appartenir à la langue de spécialité telle que définie par Kocourek (1982) et restrictivement au domaine conceptuel étudié ; ils peuvent également appartenir au langage courant, ainsi que faire référence à d'autres langues de spécialité (la physique par exemple), lorsque leur fréquence et leur contexte d'utilisation sont pertinents.

Nous limitant à l'analyse des termes, nous n'avons pas pris en considération les exemples de substances chimiques (acide sulfurique, magnésium...). Nous n'avons pas pris en compte une partie de la grammaire iconographique (les fonctions mathématiques et le lettrage symbolique chimique).

Nous avons dressé la liste des occurrences des différents termes pour les trois corpus. Chaque occurrence a été exprimée en fréquence absolue (fabs). Celle-ci correspond au nombre de fois que le terme a été énoncé par l'enseignant en classe. Pour nous permettre de comparer les trois corpus sur base de données similaires, nous avons utilisé un indicateur mathématique, la fréquence relative. Celle-ci est calculée en divisant la fréquence absolue par l'occurrence totale de termes (identiques et différents) du corpus considéré, le tout exprimé en «un pour mille».

Approche par le «réseau relationnel terminologique»

Analyser un discours oral ne consiste pas seulement à repérer des termes. Une des difficultés de l'apprentissage et de l'enseignement consiste à relier les notions entre elles (Richard, 1990). En chimie, une analyse conceptuelle du programme de l'enseignement secondaire supérieur, en vigueur en Belgique francophone, nous a montré l'interdépendance des notions à enseigner (Évrard, 1992).

Afin d'identifier la façon dont les termes ont été reliés dans chaque discours, nous avons analysé le contexte dans lequel les termes ont été présentés. Notre procédé a été le suivant.

– Dès qu'un terme était repéré dans le corpus écrit, nous examinons son contexte lexical. Celui-ci est défini, arbitrairement, par un intervalle de deux lignes, chacune étant munie d'un numéro. Un bref extrait du corpus permettra au lecteur de visualiser le matériau exploité. Pour conserver le

discours originel et garantir une lecture intelligible, les interventions des élèves (LX) sont maintenues ; cependant, elles ne seront pas analysées.

Légende :

L0 : enseignant

L1 : chercheur

LX : élève

/ : pause brève // : pause longue

(xxxx) : interventions incompréhensibles

- 1 L1 ça marche
- 2 L0 alors je vais reprendre d'abord un peu
- 3 LX oui (xxx) (rire)
- 4 L0 donc euh euh chapitre trois / c'est ça ? oui ?
- 5 LX c'est un nouveau chapitre ?
- 6 L0 c'est comme le chapitre un donc euh aspects énergétiques d'une : d'une
- 7 réaction chimique
- 8 LX mm
- 9 L0 chapitre deux euh qui était une réflexion spontanée d'une réaction chimique /
- 10 d'accord ? chapitre trois (L0 écrit au tableau) l'état // d'équilibre: (interruption de
- 11 l'enregistrement) donc en fait euh a vu la semaine passée on a encore vu ce: ce
- 12 matin en corrigeant le labo / on a vu des systèmes différents types de
- 13 réactions des réactions complètes (L0 écrit au tableau) d'accord ? et donc les
- 14 réactions sont complètes à quelles conditions ?
- 15 LX enthalpie
- 16 L0 enthalpie quoi ? oui

– Si un terme différent du premier apparaît, dans l'intervalle défini, nous le prenons en considération.

– Dans un deuxième temps, nous analysons le lien réalisé entre les deux termes. Si celui-ci est explicite, ne prête pas à confusion ou ne demande pas une interprétation de la part du chercheur, nous inscrivons chacun des termes sur le réseau dans un ovale. Le lien établi entre eux est symbolisé par un trait inscrit entre les deux ovales.

– Au fil de la lecture du corpus écrit, les mêmes termes, reliés à d'autres termes et parfois encore entre eux se rencontrent à nouveau. Chaque fois qu'un lien explicite, dans un intervalle de deux lignes, a été repéré, nous dessinons celui-ci à côté des traits préexistants. L'exemple suivant, tiré d'un des corpus, illustre la méthode adoptée.

(...)

- 17 L0 donc la *température* augmente / donc ça veut dire / une *variation d'enthalpie*
- 18 LX favorable
- 19 L0 oui donc le *critère énergétique* favorable et donc *enthalpie* la variation elle est
- 20 (brouhaha) négative hein donc j'ai une *variation d'enthalpie* négative / et donc le
- 21 *critère énergétique*
- 22 LX positif

- 23 L0 est favorable oui
24 LX y-a désordre aussi
25 L0 favorable / et donc pour que la *réaction* soit complète il faut aussi que
26 LX l'augmentation du désordre
27 L0 j'ai oublié de marquer *température* augmente donc euh le *désordre*: augmente
28 LX critère entropique
29 L0 d'accord donc le crit/ *critère entropique*
30 LX (xxx)
31 L0 oui je préfère en fait favorable que positif ou sinon on va peut-être se tromper
32 avec une *enthalpie* négative l- un critère positif <LX> mm -l d'accord hein donc
33 on va dire favorable / et le *critère entropique* favorable (quelqu'un frappe) oui
34 LX bonjour tout le monde est là (oui général) euh c'est pharmacie hein (xx)
35 LX oui
36 L0 alors on a donc (xxx) tous les *systèmes* de *réactions incomplètes* (L0 écrit au
37 tableau) et une *réaction* sera incomplète à quelle condition

Dans cet extrait de corpus, nous avons repéré neuf termes différents (en italiques dans l'extrait) et identifié les liens suivants :

- (1) ligne n° 17 température **relié explicitement** à variation d'enthalpie
- (2) ligne n° 19 critère énergétique **relié explicitement** à enthalpie
- (3) ligne n° 20 variation d'enthalpie **relié explicitement** à critère énergétique
- (4) ligne n° 25 réaction n'est pas relié explicitement à un autre terme
- (5) ligne n° 27 température **relié explicitement** à désordre
- (6) ligne n° 29 critère entropique n'est pas relié explicitement à un autre terme
- (7) ligne n° 32 enthalpie n'est pas relié explicitement à critère entropique
- (8) ligne n° 36 système **relié explicitement** à réaction incomplète
- (9) ligne n° 37 réaction n'est pas relié explicitement à un autre terme

Seules les relations (1), (2), (3), (5) et (8) sont prises en considération car les liens effectués répondent aux critères choisis : un lien explicite, un lien ne prêtant pas à confusion, un lien ne demandant pas d'interprétations de la part du chercheur. Pour nous permettre de visualiser les liens établis explicitement entre ces termes, nous avons construit un réseau en plaçant chaque terme dans un ovale et en symbolisant chacun des liens par une droite non orientée. La disposition des termes au sein du réseau ne suit aucun ordre particulier ; dès qu'un terme apparaît, il est noté sur l'espace resté libre. La figure suivante illustre ce que nous avons appelé le réseau relationnel terminologique entre ces sept termes.

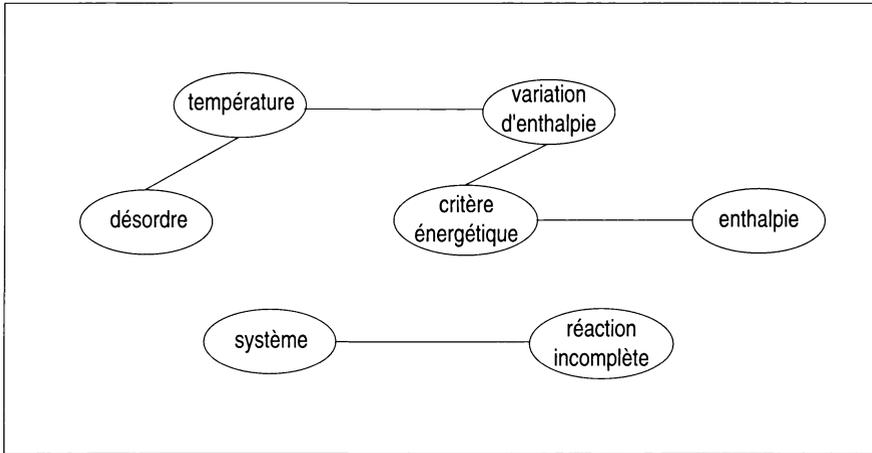


Figure 1 : Le réseau relationnel terminologique

Le lecteur pourra remarquer que d'autres termes, dans cet extrait de corpus, apparaissent ; cependant ils ne figurent pas sur le réseau.

En effet, les termes *réaction* (lignes n° 25, 37), *critère entropique* (lignes n° 29, 33) et *enthalpie* (ligne n° 32) n'ont pas été reliés par l'enseignant. Nous les considérons comme des termes isolés. Ceux-ci n'ont donc pas leur place sur le réseau.

3. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Dans cette troisième partie, nous présenterons les résultats des analyses lexicale et sémantique appliquées aux trois corpus.

3.1. Approche par le lexique

Aperçu général

Le tableau 2 donne un aperçu quantitatif des termes utilisés dans chaque discours (la liste complète de ces termes est jointe à l'annexe 1).

	Discours I	Discours II	Discours III
Nombre de termes différents	69	30	54
Fréquence absolue totale	1 340	300	1 717

Tableau 2 : Nombre de termes repérés dans chaque discours

Nous pouvons calculer le nombre de termes (identiques ou différents) énoncés par l'enseignant par minute ; le discours I présente 4,5 termes par minute et les discours II et III présentent respectivement 6 et 8,6 termes par minute.

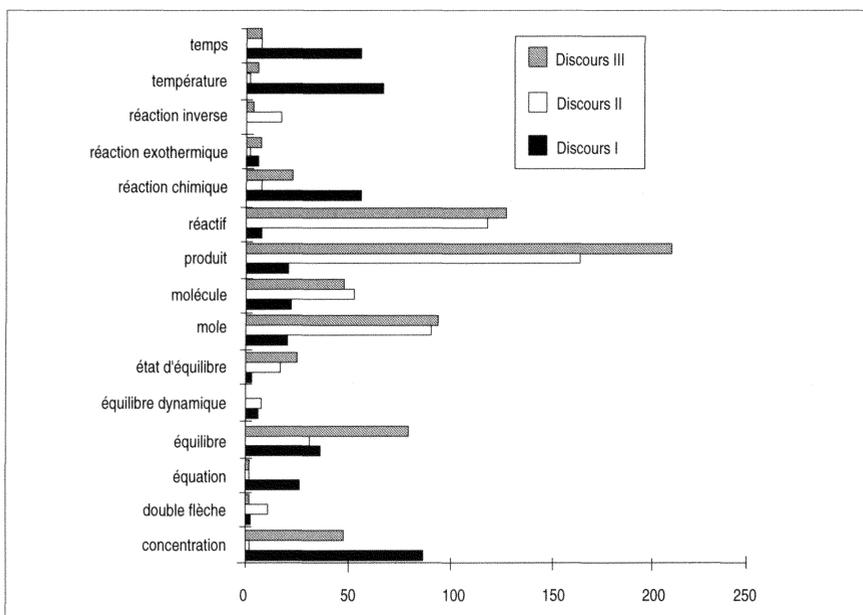
Afin de comparer les trois discours, il nous a semblé important d'une part, d'identifier les parentés terminologiques communes à deux et à trois discours, et d'autre part, de reconnaître, s'il y a lieu, des spécificités à chaque discours.

Les enseignants privilégient-ils l'emploi de tel ou tel terme ? Les utilisent-ils quantitativement de la même manière ? Nous tenterons de répondre à ces questions. Pour clôturer cette première approche, nous mènerons un questionnement d'ordre pédagogique.

Termes communs aux trois discours

Quinze termes, présentés dans l'histogramme 1, sont communs aux trois corpus. Ils composent ce que nous avons appelé le tronc terminologique commun aux trois corpus. Ces termes ne sont-ils pas des passerelles terminologiques ou lexicales obligées pour l'enseignement oral de l'équilibre chimique ?

L'histogramme 1 présente la fréquence relative (frel) des termes appartenant au tronc terminologique commun.



Histogramme 1 : **Tronc terminologique commun**

L'histogramme 1 indique que la majorité des termes présente une valeur de fréquence relative proche dans deux discours. Les termes *réaction chimique*, *produit* et *concentration* ont été énoncés avec des fréquences dissemblables au sein des trois corpus. Nous constatons également que les termes *double flèche*, *équilibre dynamique* et *réaction exothermique* ont été faiblement exploités (à moins de dix reprises). Quantitativement les discours II et III semblent les plus proches : plus de 50 % des termes présentent une fréquence relative similaire. Cependant, ces termes présentent-ils un même environnement lexical ? Les enseignants empruntent-ils un chemin identique pour communiquer ces termes ? Les relient-ils et comment ?

Termes communs à deux discours

En plus des quinze termes précités, nous avons pu identifier des termes communs à deux discours seulement.

- Termes communs aux discours I et II : *acide – équilibre statique*.

La valeur des fréquences relatives des deux termes est proche dans les deux cas. Ceux-ci pourraient faire partie d'une même stratégie. L'analyse sémantique pourra nous aider à confirmer ou infirmer cette affirmation.

- Termes communs aux discours I et III :

agitation – catalyseur – coefficient – concentration à l'équilibre – constante – constante d'équilibre – crochet – Delta H – désordre – enthalpie – **Guldberg et Waage** – ion – **Le Chatelier** – mélange – pression – quantité – réaction endothermique – rendement – réversibilité – système – vitesse.

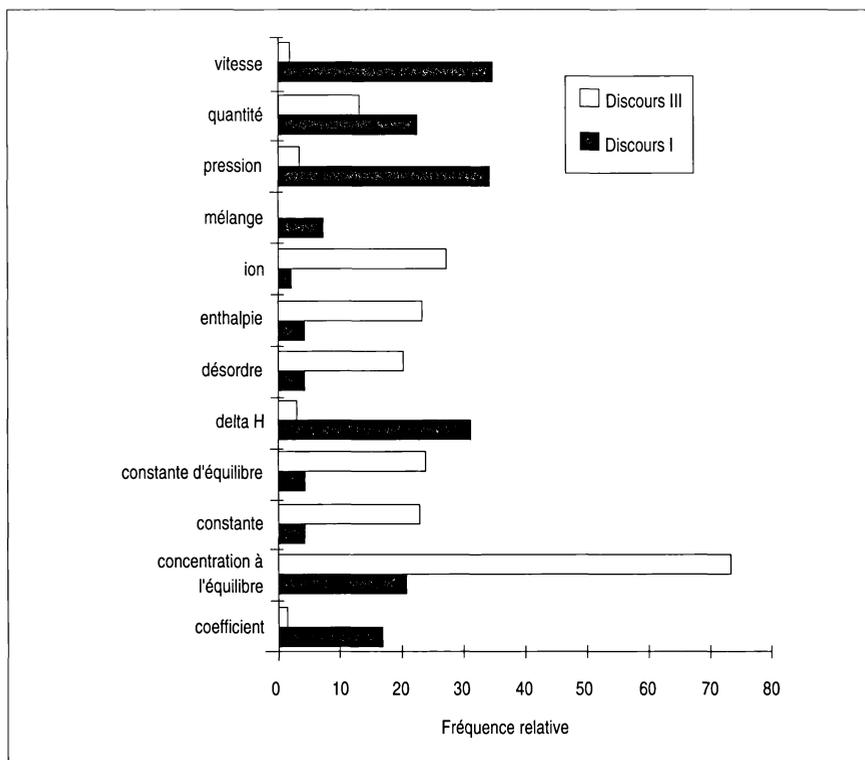
Vingt et un termes sont communs aux deux discours. Seuls neuf termes (en gras) présentent une fréquence relative similaire.

L'histogramme 2 présente la liste des termes communs aux discours I et III présentant une fréquence relative différente ; les termes en gras ci-dessus n'apparaîtront donc pas.

Parmi ces douze termes, nous pouvons distinguer deux catégories :

1) les termes dont la valeur de la fréquence relative est approximativement deux fois plus grande dans le premier discours (50 %) : *coefficient – delta H – mélange – pression – quantité – vitesse*. L'enseignant privilégie l'emploi de termes considérés comme prérequis au concept développé ;

2) les termes dont la valeur de la fréquence relative est au moins deux fois plus grande dans le second discours (50 %) : *concentration à l'équilibre – constante – constante d'équilibre – désordre – enthalpie – ion*. L'enseignant privilégie l'emploi de termes nouveaux, que l'élève doit encore appréhender pour comprendre le concept développé.



Histogramme 2 : Termes communs aux discours I et III présentant une fréquence relative différente

- Termes communs aux discours II et III : *réaction complète* – *réaction incomplète*.

Dans le cas du terme *réaction complète*, la valeur de la fréquence relative est dix fois moins importante dans le troisième discours. Le terme *réaction incomplète* est utilisé avec une fréquence deux fois plus élevée dans le deuxième discours. Chaque enseignant privilégie, dans son discours oral, l'emploi d'un des deux termes, toujours dans le but de l'opposer au terme *équilibre chimique*.

Si l'on considère les points de vue qualitatif (choix des termes) et quantitatif (occurrence des termes), nous pouvons dire que les discours I et III sont les plus proches.

Après avoir mis en évidence des similitudes terminologiques entre les trois discours, il nous a semblé intéressant de mettre en évidence la spécificité de chacun d'eux. Celle-ci est-elle liée à l'enseignant, à l'option dans laquelle il enseigne et/ou aux groupes d'élèves ?

Spécificité de chacun des corpus

Pour donner une idée de la spécificité de chaque discours, nous avons recherché, dans la liste des termes utilisés par les enseignants (cf. annexe 1), ceux qui étaient propres à chaque discours : les discours I, II, III présentent respectivement 43 %, 37 % et 33 % de termes spécifiques.

Apports didactiques d'une telle analyse

D'un point de vue didactique, nous pouvons nous questionner à propos :

– des fonctions attribuées à tel ou tel terme, de sa pertinence (peut-il prêter à confusion, peut-il induire des «*misconceptions*»...), du statut de chacun d'entre eux (y a-t-il des équivalences conceptuelles ?),

– de la reformulation des termes : ont-ils été reformulés et quelles procédures l'enseignant déploie-t-il ?

Dans ce qui suit, nous tentons de répondre à ces questions pour certains termes seulement.

Nous constatons que le terme *désordre* est utilisé en lieu et place du terme *entropie* dans le troisième corpus. Dans le premier corpus, l'enseignant utilise les deux termes comme synonymes ou équivalents. Or, «*du point de vue moléculaire, l'entropie d'une substance est une mesure quantitative de la quantité de désordre qui caractérise cette substance*» (McQuarrie & Rock, 1992).

Une étude menée par De Pondt et son équipe (1987), sur les difficultés des élèves à s'approprier les concepts appartenant à la thermodynamique, s'est focalisée sur le terme *entropie*. Ils constatent que ce dernier est régulièrement remplacé par le terme *désordre*. Une des explications est que le terme *entropie*, contrairement au terme *désordre*, n'est pas utilisé dans le langage courant. De plus, l'entropie, pour être définie, nécessite des explications théoriques peu parlantes pour les élèves de l'enseignement secondaire. Selon les auteurs, il est donc indispensable de lui trouver un synonyme dans la langue courante, aussi le terme *désordre* est-il plus utilisé. Cependant, comme il a déjà été précisé au début de ce rapport, l'équivalence peut être aussi source de confusions (Zapata, 1992).

En ce qui concerne le terme *équation*, il peut induire une «*misconception*» ; en effet, il se réfère à l'équivalence mathématique. Or, dans le cadre de la chimie, l'équivalence n'est valable que quand il s'agit de poids, l'unité conventionnelle étant la mole. La même confusion a été relevée par J. Carretto et R. Viovy (1994).

Le concept de vitesse est absent du second corpus ; cela peut nous surprendre. En effet, sans vitesse comment est-il possible d'explicitier la

constance dans la proportion des réactifs et des produits ? On constate que le concept a été reformulé par : «*deux réactions qui se font concurrence*», «*l'iodure d'hydrogène se construit et se détruit au même rythme*».

Le terme *réversibilité* peut prêter à confusion car il fait, entre autre, référence aux processus thermodynamiques, réversibles et irréversibles, ne faisant pas appel à un équilibre chimique (exemple : cycle de Carnot). Le même point de vue a été développé par R. Barlet et D. Plouin dans un numéro de la revue *Aster* consacré à la réaction chimique (Barlet & Plouin, 1994). Parler de réactions inversibles (Arnaud, 1988) ou de réactions équilibrées (Angenault, 1991), en les définissant, éviterait des confusions pour l'apprenant.

On rencontre, au sein de nos corpus le terme *réaction inversable* ; il nous semble inopportun car sa définition dans le langage courant (définition du *Petit Robert* : «*qui ne peut se renverser*») est fort différente de celle du chimiste.

À l'aide de ce type d'analyse, il est également envisageable de mettre en évidence les stratégies cognitives déployées par l'enseignant pour aborder tel ou tel terme.

L'approche par le lexique nous a permis de poser un regard sur nos trois corpus. La description que nous avons pu en faire s'est limitée à analyser les termes répertoriés et leur fréquence en comparant les trois discours. Des pistes de réflexion didactiques ont également été lancées.

Dans une deuxième approche, nous espérons pouvoir mettre en évidence des relations privilégiées entre et autour de chacun des termes. Identifierons-nous des environnements lexicaux proches, communs à deux ou trois discours ?

3.2. Approche par le «réseau relationnel terminologique»

L'objectif de la construction de ces réseaux était de repérer les liaisons que chaque enseignant établissait entre les termes. Les réseaux relationnels terminologiques de chaque discours sont présentés en annexe 2 (cartes I, II, III).

Étant donné la diversité des profils des réseaux relationnels terminologiques de chaque enseignant, nous faisons l'hypothèse que le réseau de relations entre termes constitue le reflet d'une structuration du discours.

Dans les trois corpus, près de 80 % des termes ont été reliés au moins une fois à un autre terme.

Relation entre deux termes ou «dyade»

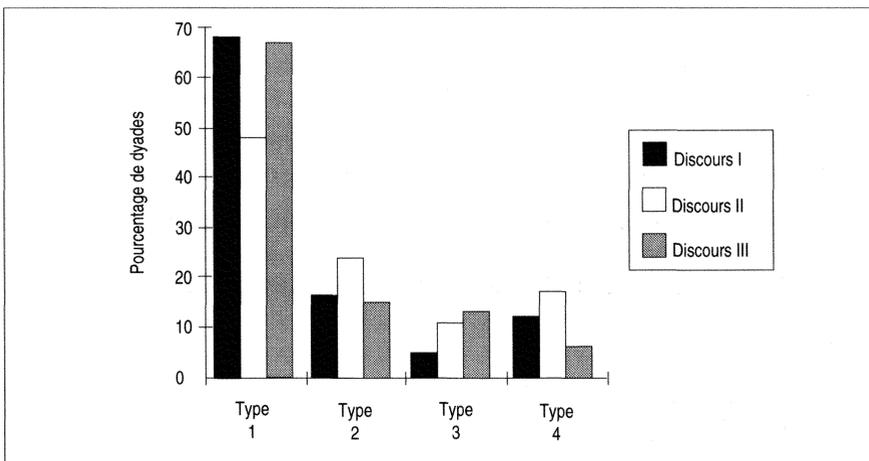
Nous appelons dyade, une structure dans laquelle deux termes sont reliés entre eux à une ou plusieurs reprises.

En lisant les cartes présentées en annexe, nous avons retenu quatre types de dyades :

- type 1 : dyade dont les termes ont été reliés entre eux à une seule reprise,
- type 2 : dyade dont les termes ont été reliés entre eux à deux reprises,
- type 3 : dyade dont les termes ont été reliés entre eux à trois reprises,
- type 4 : dyade dont les termes ont été reliés entre eux à quatre reprises.

L'histogramme 3 présente la proportion de chaque type de dyade repérée au sein du réseau relationnel terminologique construit au départ de chaque discours.

La proportion de chaque type de dyade correspond au nombre de dyades occupées par un ou plusieurs liens sur le nombre total de dyades (tous types confondus) réalisées explicitement par l'enseignant.



Histogramme 3 : **Proportion de chaque type de dyade**

Les trois discours privilégient le premier type de dyade. Le second discours présente une valeur minimale de cette première catégorie et une valeur maximale pour les dyades du type deux et quatre. Les discours I et III présentent la même proportion de dyades des deux premiers types. Les discours II et III ont un pourcentage semblable du troisième type de dyade.

De manière générale, le premier et le dernier enseignants évitent d'associer, à plusieurs reprises, les mêmes termes entre eux. Comme dans l'analyse portant sur les termes spécifiques et communs, le discours II se différencie des deux autres. En effet, on constate qu'il privilégie les répétitions. Énoncer fréquemment, durant une heure de cours, les mêmes associations terminologiques permet à l'élève d'entendre plusieurs fois la même chose. Cette fréquence d'énonciation pourrait correspondre à une stratégie pédagogique propre à l'enseignant.

On constate, en lisant les cartes I, II et III, que la mise en relation de deux termes plutôt que de deux autres est typique de chaque discours. Ce fait pourrait être relié directement avec la situation vécue par l'enseignant en interaction avec ses élèves. On peut aisément envisager que le groupe-classe ait encouragé l'enseignant à insister sur telle ou telle dyade par le biais de questions, d'interventions multiples.

Il est également probable que l'enseignant insiste sur telle ou telle dyade en raison de l'importance qu'il lui accorde. Ce sont des associations clés pour l'apprentissage du concept d'équilibre chimique.

Relation entre trois termes ou «triade»

Nous appelons triade, une structure dans laquelle trois termes sont reliés entre eux à une ou plusieurs reprises. On trouve, par exemple, la triade suivante dans le discours I : *système - équilibre - température*.

Le tableau 3 présente la proportion de triades mises en évidence après construction du réseau relationnel terminologique de chaque enseignant.

La proportion de chaque triade correspond au nombre de structures triadiques par rapport au nombre de structures dyadiques (tous types confondus). Les structures dyadiques dont il est question peuvent mettre en jeu les mêmes termes.

	Discours I	Discours II	Discours III
Pourcentage des triades	26,7 %	43,5 %	20,3 %

Tableau 3 : **Proportion des structures triadiques**

Le discours II se distingue par une proportion de structures triadiques de loin supérieure à celle des deux autres discours. Pourrait-il s'agir d'une structuration sémantique plus complexe, d'une stratégie pédagogique propre à l'enseignant ? Ceci pourrait être à rapprocher de la densité des structures dyadiques.

Le tableau 4 présente la densité des liens utilisés pour construire les triades mises en évidence au sein de chaque réseau relationnel terminologique.

La densité des triades a été calculée à partir du nombre de liens utilisés pour construire ces structures triadiques par rapport au nombre total de liens énoncés par l'enseignant.

	Discours I	Discours II	Discours III
Densité des liens triadiques	70,9 %	79,3 %	39,3 %

Tableau 4 : **Densité des liens triadiques**

La densité des liens triadiques du troisième corpus est de loin inférieure à celle des deux autres discours. Seules deux triades *système - état d'équilibre - équilibre* et *équilibre - système - constante d'équilibre* ont été identifiées à deux reprises.

Les deux autres discours présentent une densité de liens triadiques quasi similaires.

Nous identifions, tout comme dans le cas des dyades, quatre types de triades :

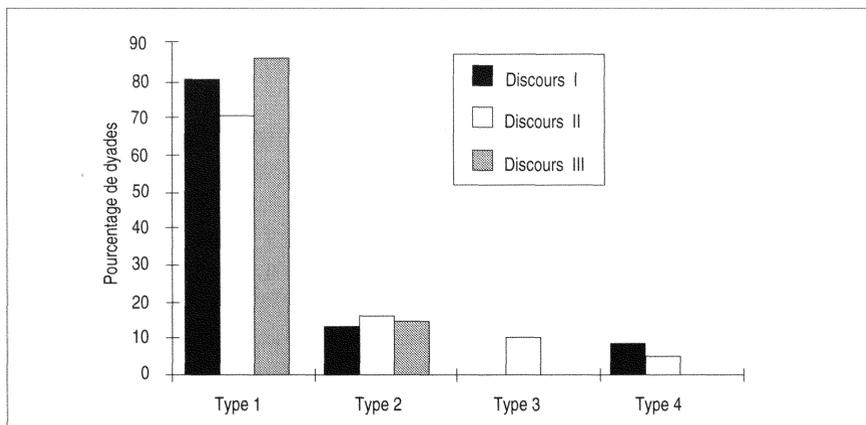
- type 1 : triade dont les termes ont été reliés entre eux à une seule reprise,
- type 2 : triade dont les termes ont été reliés entre eux à deux reprises,
- type 3 : triade dont les termes ont été reliés entre eux à trois reprises,
- type 4 : triade dont les termes ont été reliés entre eux à plus de trois reprises.

La proportion de chaque type de triade dans les trois discours est présentée dans l'histogramme 4.

Les trois discours privilégient le premier type de triade. Chaque enseignant évite donc de répéter simplement les mêmes associations terminologiques.

Les trois corpus présentent une proportion assez proche du second type de triade.

Contrairement aux deux autres discours, les quatre types de triades peuvent être repérés dans le second corpus. Il s'agit, comme les données du tableau 4 le montrent, d'une complexité relationnelle lexicale plus intense. Effectivement, le premier corpus ne présente aucune triade de type 3, et le dernier corpus aucune triade de type 3 et 4.



Histogramme 4 : **Proportion de chaque type de triade**

4. PERSPECTIVES

Les outils décrits dans cette recherche exploratoire ont permis de mettre en évidence des similitudes et des différences entre les discours analysés. Ayant posé un regard critique sur notre travail, des axes de recherche se profilent. Il nous apparaît actuellement indispensable :

– de tenir compte dans les structures triadiques, de la chronologie de l'apparition des liens entre termes. Par exemple, dans la triade *système - équilibre - concentration* (cf. annexe 2, carte 1), le terme *concentration* apparaît peut-être quarante minutes après l'énonciation des deux autres termes... ou peut-être après deux minutes. Il s'agira donc d'identifier les triades qui apparaissent dans un contexte de deux lignes et de tenter de leur attribuer une fonction dans la communication.

En ce qui concerne les triades repérées après construction du réseau, elles ont eu le mérite de préciser la structuration plus ou moins complexe de chaque discours oral des trois enseignants. Même si ces triades n'ont pas été prononcées au même moment, les liens ont été effectués, même indirectement, et l'élève peut les avoir repérés ;

– d'établir une typologie des liens entre les termes. Les liens expriment-ils des relations de cause(s) à effet(s) ou sont-ils de simples appositions... ? Pourra-t-on identifier une spécificité par enseignant, par option ?

– de tenir compte des interventions orales des élèves. Celles-ci sont susceptibles de modifier la structure conceptuelle d'une leçon telle qu'elle a été prévue dans la préparation de l'enseignant. Dans cette perspective,

nous pourrions confronter des cartes conceptuelles hiérarchisées, construites préalablement au cours par l'enseignant, avec des réseaux terminologiques intégrant les interventions des élèves pendant la leçon.

Dans une autre perspective, l'outil d'analyse du discours oral pourra être exploité en formation initiale d'enseignants. Nous constatons, dans le cadre de leçons publiques présentées par le futur enseignant, que celui-ci n'a pas toujours conscience de ce qu'il dit en classe. En appliquant l'outil, ne fût-ce qu'à une seule reprise, il pourra se questionner lui-même à propos de son discours oral, se rendre compte de la quantité de termes qu'il a énoncés, de la proportion de nouveaux termes qu'il a introduits. Il pourra également vérifier s'il a tout défini, s'il a reformulé régulièrement tel ou tel terme. De plus, il aura la possibilité de mettre en évidence la ou les stratégies cognitives qu'il a effectivement déployées durant l'heure de cours. Nous espérons que, de la sorte, le jeune enseignant sera mieux équipé pour aborder sa carrière.

BIBLIOGRAPHIE

- ANGENAULT J. (1991). *La chimie, dictionnaire encyclopédique*. Paris, Dunod.
- ARNAUD P. (1988). *Cours de chimie physique*. Paris, Dunod.
- BARLET R. & PLOUIN D. (1994). L'équation-bilan en chimie au concept intégrateur source de difficultés persistantes. *Aster*, n° 18, pp. 11-26.
- CARRETO J. & VIOVY R. (1994). Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique. *Aster*, n°18, pp. 27-56.
- CULLEN J.F. (1989). Computer simulation of Chemical Equilibrium. *Journal of Chemical Education*, vol. 66, n° 12, pp. 1023-1024.
- DE BUEGER-VANDER BORGH T. & MABILLE A. (1989). The evolution in the meanings given by Belgian secondary schools pupils to biological and chemical terms. *International Journal of Science Education*, vol. 11, n° 3, pp. 347-362.
- DE PONDTP. (1987). Du désordre dans les concepts : la reformulation de la thermodynamique statistique par les étudiants. *Études de Linguistique Appliquée*, n° 68, pp. 40-57.
- DEVELAY M. (1992). *De l'apprentissage à l'enseignement*. Paris, ESF.
- ÉVRARD N. (1992). *Analyse conceptuelle et représentation spatiale du programme de l'enseignement secondaire supérieur de la chimie*. Document inédit, Louvain-la-Neuve.
- FRANCARD M. & PERONNET L. (1989). La transcription de corpus oraux dans une perspective comparative. La démarche du projet plural. In *Actes du colloque «La description des langues naturelles en vue d'applications informatiques»*. Québec, Université Laval, CIRB, Relais, pp. 295-307.
- HACKLING V. & GARNET J. (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*, vol. 7, pp. 422-441.
- HUYNEN A-M. & DELRUE N. (1987). *Chimie 5^e, 1 période/semaine*. Bruxelles, Labor.
- JACOBI D. (1987). *Textes et images de la vulgarisation scientifique*. Berne, Peter Lang.
- KOCOUREK R. (1982). *La langue française de la technique et de la science*. Wiesbaden, Brandletter verlag, La Documentation Française.

- McQUARRIE D.A. & ROCK P.A. (1992). *Chimie Générale*. Bruxelles, De Boeck Université.
- REBOUL O. (1984). *Le langage de l'éducation*. Paris, PUF.
- RICHARD J-F. (1990). *Comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris, Armand Colin.
- RUMELHARD G. (1983). La notion d'équilibre, concept ou métaphore ? *Bulletin de l'Association des Professeurs de Biologie et de Géologie*, n° 3, pp. 541-549.
- ZAPATA A. (1992). Apprendre le langage technique à l'école. In A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Eds), *Actes des IX^e Journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et techniques*. Paris, Université Paris 7, UF de Didactique des disciplines, pp. 319-324.

ANNEXES

Annexe 1 : Liste des termes pages 29-30

Annexe 2 : Réseaux relationnels terminologiques

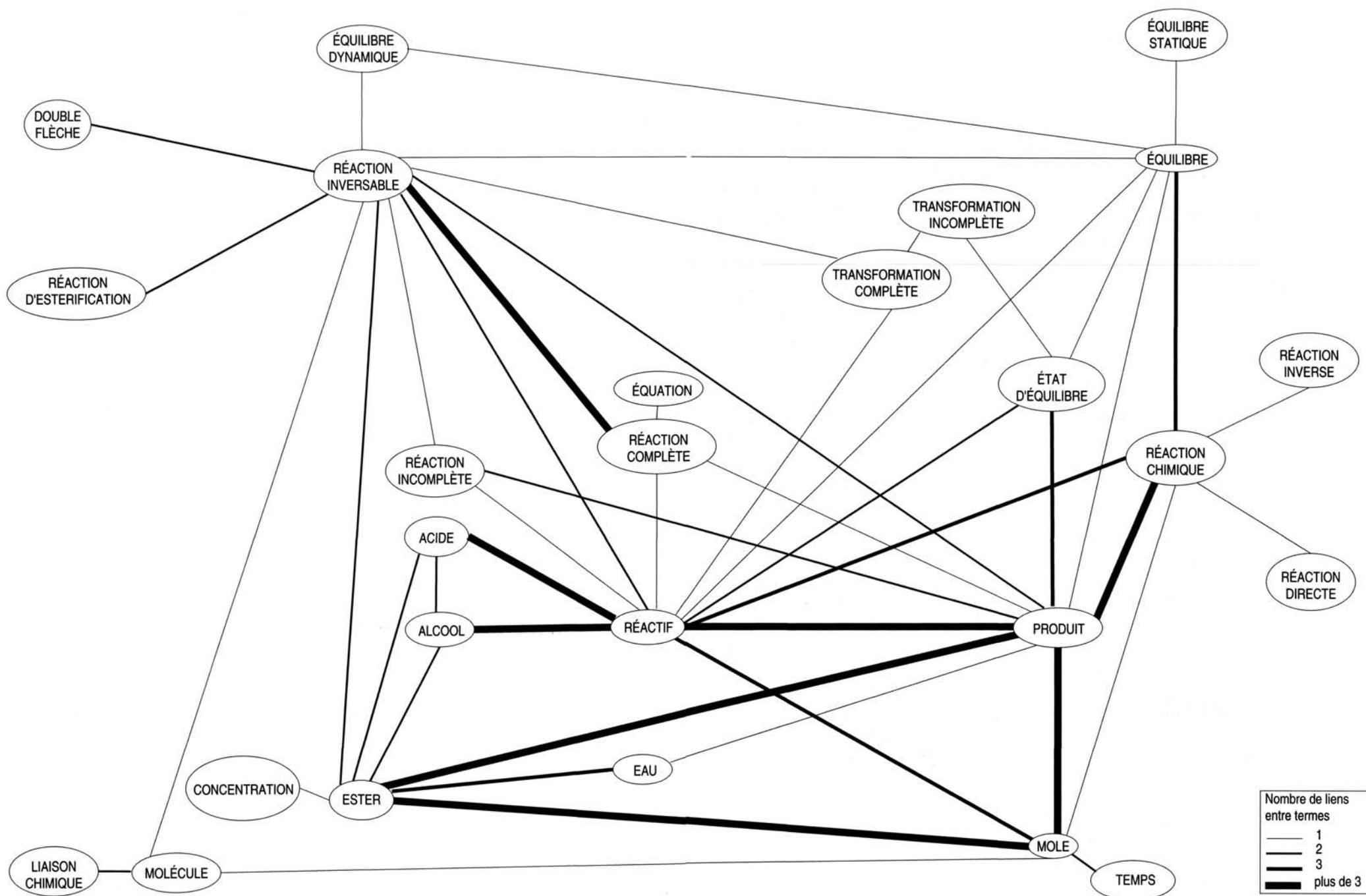
- **Carte I, Discours I** : pages 30-31
- **Carte 11, Discours II** : pages 32-33
- **Carte III, Discours III** : pages 34-35

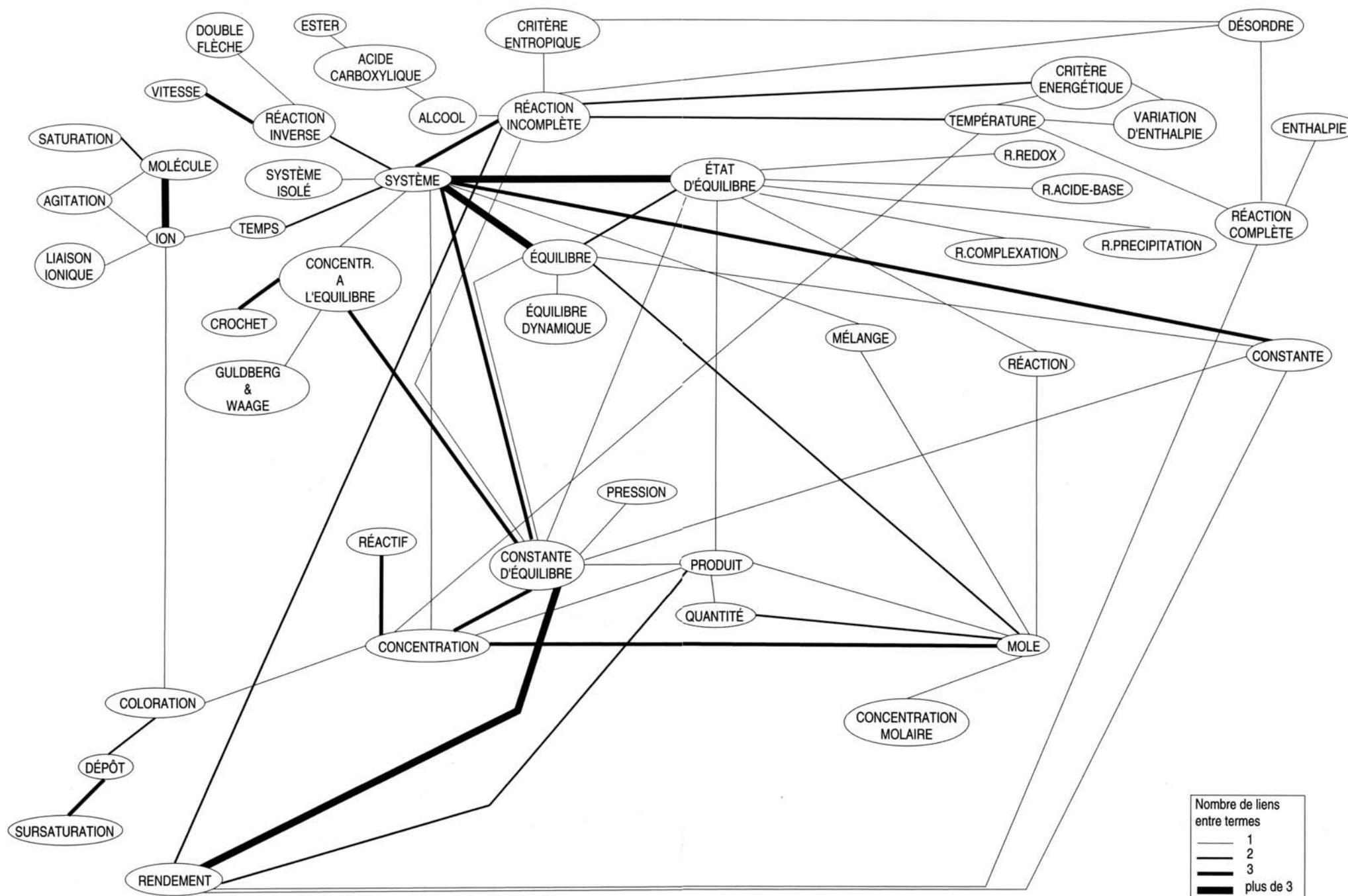
Annexe 1 – Liste des termes

Termes Discours I	fre abs	fre rel	Termes Discours II	fre abs	fre rel	Termes Discours III	fre abs	fre rel
acide	62	46	acide	17	56	agitation	2	1
agitation	3	2	alcool	8	26	catalyseur	5	3
base	22	16	concentration	1	3	coefficient	2	1
catalyseur	5	4	double flèche	3	10	collision	1	0
chaleur	2	1	eau	4	13	coloration	10	6
coefficient	23	17	équation chimique	1	3	concentration	81	47
concentration	115	86	équilibre	9	30	concentration à l'équilibre	126	73
concentration à l'équilibre	28	21	équilibre dynamique	2	7	concentration molaire	2	1
constante d'équilibre	6	4	équilibre statique	1	3	constante	40	23
constante	6	4	ester	33	110	constante d'équilibre	42	24
constante des conc	72	54	état d'équilibre	5	16	critère énergétique	10	6
crochet	2	1	liaison chimique	1	3	critère entropique	11	6
delta G (dG)	39	29	mole	27	90	crochet	3	2
delta H (dH)	42	31	molécule	15	50	delta H	5	3
delta s (dS)	10	7	produit	49	163	dépôt	19	11
désordre	6	4	réactif	35	117	désordre	35	20
double flèche	3	2	réaction chimique	2	7	double flèche	3	2
électrolyse	1	1	réaction complète	16	53	enthalpie	40	23
énergie calorifique	2	1	réaction d'estérification	8	6	équation chimique	6	3
énergie de liaison	6	4	réaction directe	4	13	équilibre	137	80
énergie libre (G)	26	19	réaction exothermique	1	3	équilibre dynamique	1	0
énergie lumineuse	2	1	réaction incomplète	8	26	état d'équilibre	42	24
enthalpie	5	4	réaction inversible	33	110	Guidberg et Waage	5	3
entropie	5	4	réaction inverse	5	16	ion	46	27
équation	35	26	réaction limitée	2	7	Le Chatelier	6	3
équilibre	47	35	réaction partielle	1	3	liaison ionique	39	23
équilibre dynamique	7	5	température	1	3	mélange	1	0
équilibre statique	5	4	temps	8	6	mole	161	94
état d'équilibre	3	2	transformation incomplète	1	3	molécule	81	47
état final	4	3	transformation complète	2	7	pression	5	3
état initial	5	4				produit	357	208
état intermédiaire	2	1				quantité	23	13
état stable (le plus)	5	4				reactif	47	27
facteur désordre	5	4				réaction acide base	1	0
facteur entropique	1	1				réaction chimique	38	22

Annexe 1 – Liste des termes (suite)

Termes Discours I	fre abs	fre rel	Termes Discours II	fre abs	fre rel	Termes Discours III	fre abs	fre rel
gaz	36	28					8	5
Guldberg et Waage	2	1				réaction complète	1	0
ion	3	2				réaction de complexation	1	0
Le Chatelier	3	2				réaction de précipitation	11	6
mélange	10	7				réaction endothermique	18	10
mole	25	19				réaction exothermique	20	12
molécule	28	21				réaction incomplète	5	3
phénomène athermique	4	3				réaction inverse	1	0
phénomène endothermique	2	1				réaction rédox	60	35
phénomène exothermique	2	1				rendement	1	0
(phénomène) isothermique	1	1				réversibilité	5	3
pression	45	34				saturation	2	1
produit	26	19				solvation	9	5
quantité	29	22				sursaturation	102	59
réactif	9	7				système	1	0
réaction chimique	74	55				système isolé	9	5
réaction endothermique	5	4				température	10	6
réaction exothermique	5	4				temps	16	9
réaction inverse	1	1				variation d'enthalpie	4	2
réaction opposée	1	1				vitesse		
réaction réversible	2	1						
réaction spontanée	4	3						
rendement	66	49						
réversibilité	2	1						
système	81	60						
température	89	66						
temps	75	56						
temps d'équilibre	9	67						
travail	3	2						
variation de volume	17	13						
vitesse	46	34						
vitesse directe	1	1						
vitesse inverse	7	5						
volume	15	11						
Total	1340			300			1717	





Comment les enseignants de sciences physiques lisent-ils les intentions didactiques des nouveaux programmes d'optique de classe de quatrième ?

Colette HIRN

Université Paris 7
Laboratoire de Didactique de la Physique
dans l'Enseignement Supérieur
Tour 24 - 2 place Jussieu
75251 Paris cedex 05 case 7021, France.

Résumé

L'étude proposée est une investigation de la lecture que font les enseignants des nouveaux programmes de sciences physiques. Les concepteurs de ces programmes expriment dans les textes officiels des intentions didactiques, convergentes avec des résultats de travaux de recherche. Au-delà du repérage d'écarts entre ces intentions didactiques et ce que lisent les enseignants dans les programmes, cette étude fait apparaître des éléments relatifs aux conceptions des enseignants, en particulier quant au statut de l'expérience dans l'enseignement de l'optique élémentaire.

Mots clés : *conceptions des enseignants, rôle de l'expérience, optique élémentaire, curriculum.*

Abstract

We propose to study how teachers read the new syllabus of physics. In the official texts, the authors of this syllabus express didactic intentions, which take into account the results of research. Beyond the differences between these didactic intentions and what the teachers choose to keep from the syllabus, this study underlines elements related to the teachers' own conceptions, particularly as far as the status of the scientific experiment about the primary notions in optics is concerned.

Key words : *teachers' conceptions, status of scientific experiment, primary notions in optics, curriculum.*

Resumen

El estudio propuesto es una investigación de la lectura que hacen los enseñantes de los nuevos programas de Física. Los autores de estos programas expresan en los textos oficiales intenciones didácticas las cuales son convergentes con resultados de trabajos de investigación. Más allá de las diferencias entre esas intenciones didácticas y lo que leen los enseñantes en los programas, este estudio hace aparecer elementos relativos a las concepciones de los profesores, en particular en cuanto al status de la experiencia en la enseñanza de la óptica elemental.

Palabras claves : *concepciones de los enseñantes, role de la experiencia, optica elemental, curriculum.*

INTRODUCTION

L'étude exposée ici est à situer dans un contexte plus général : un projet de recherche du LDPES (Laboratoire de didactique de la physique dans l'enseignement supérieur, Université Paris 7) portant sur les **transformations et effets d'intentions didactiques, manifestées dans les textes récents définissant les contenus d'enseignement en classe de quatrième.**

Ce projet s'inscrit dans le contexte actuel du système éducatif français : à la suite de la réflexion menée sur les contenus d'enseignement au sein du Conseil National des Programmes, des groupes disciplinaires ont élaboré des contenus d'enseignement. Les textes officiels définissant l'enseignement de la physique en classe de quatrième font une place non négligeable à des intentions directement inspirées de résultats de travaux en didactique (Viennot, 1993a).

Ces intentions relèvent essentiellement de deux préoccupations :

– celle de tenir compte des raisonnements propres aux élèves («conceptions», «raisonnements communs»...) pour élaborer un parcours de construction conceptuelle adapté,

– celle d'une modélisation à la fois minimale et très cohérente pour les phénomènes physiques abordés. Il s'agit, comme le soulignent les auteurs des programmes dans le document officiel, de «*mettre en œuvre des raisonnements rigoureux fondés sur quelques règles simples*» et de «*conduire les élèves à comprendre que la validité des lois, dans leur domaine d'application, n'est pas fluctuante selon les situations rencontrées*».

Elles se manifestent dans un texte qui associe les objectifs d'ensemble du programme d'optique de quatrième, les «contenus» d'enseignement au sens classique du terme (liste de concepts et de lois physiques), les compétences exigibles, les activités supports liées à l'enseignement de ces contenus.

Dans le processus de mise en œuvre des intentions exprimées dans les textes, le rôle du maître apparaît comme central et multiforme. Une première étape dans l'analyse de ce rôle consiste à examiner quelle lecture les enseignants font des textes officiels. C'est l'objet de cette étude ; celle-ci intervient avant même la parution des manuels et la mise en place des formations, de manière à situer une sorte d'état de départ dans le cheminement des maîtres. Le domaine conceptuel concerné est l'optique qui apparaît dans le programme sous le thème «Image et vision».

Dans la mise en place de ce nouveau programme, les thèmes d'étude restent les mêmes qu'auparavant : sources de lumière, loi de propagation rectiligne, lentilles. Mais leur ordre témoigne d'une visée particulière des rédacteurs. Ainsi, la mise en relation de la vision et de la diffusion par les objets y occupe une place centrale, aux deux sens du terme, et non uniquement, comme c'était le cas classiquement, une place relativement mineure au début du programme, comme pour un problème vite réglé.

Plus explicites sont les compétences exigibles et les suggestions d'activités supports. L'appendice fournit des exemples à ce sujet ; on y trouve également des extraits des commentaires officiels qui précisent le bon usage du programme et notamment des activités supports. Lorsque nous évoquons, dans la suite, les intentions didactiques du programme, nous considérons que nous paraphrasons les citations données dans le texte ou en appendice.

La prise de connaissance par les enseignants de ce nouveau programme comporte au moins un risque patent, celui que les enseignants privilégient dans les textes la colonne «contenus», c'est-à-dire la liste des concepts et lois à enseigner. Comment perçoivent-ils alors les intentions

didactiques des rédacteurs ? D'autres éléments sont-ils susceptibles d'intervenir pour marquer la façon dont les enseignants prennent connaissance des textes ? Telle est la question centrale de cette étude.

1. MODE D'INVESTIGATION

L'étude résumée ici met donc en rapport l'analyse de textes officiels (programmes, commentaires et documents d'accompagnement), du point de vue des intentions didactiques formulées, et la lecture qu'en font les enseignants.

Les extraits suivants des textes officiels (BOEN, 1992) indiquent à la fois le noyau dur du programme sur le plan des concepts, le type d'activité intellectuelle à développer chez l'élève, et au-delà, l'initiation entreprise au plan épistémologique :

«Les éléments conceptuels dont l'acquisition est visée sont au nombre de deux :

- sauf accident, la lumière se propage en ligne droite,*
- pour être vu, un objet doit envoyer de la lumière dans l'œil.*

*Le thème est un terrain favorable pour une **activité d'expérimentation raisonnée**, il permet la mise en œuvre de **raisonnements rigoureux fondés sur quelques règles simples**.*

*On attend de cet enseignement qu'il conduise les élèves à comprendre que la **validité des lois**, dans leur domaine d'application, **n'est pas fluctuante selon les situations rencontrées** et qu'il leur donne un début de confiance dans leur propre capacité à **faire des prédictions et à mettre celles-ci à l'épreuve**.»*

Le second terme de cette mise en rapport conduit à rechercher des régularités dans les points de vue exprimés. Ceux-ci ont été recueillis à travers dix entretiens semi-directifs d'environ une heure auprès d'enseignants volontaires de classe de quatrième. Les enseignants représentés sont issus d'établissements très divers : établissement de la région parisienne associant collège et lycée, collèges de villes de province, collèges ruraux.

Le protocole d'entretien, élaboré après des entretiens exploratoires, fait porter le discours de l'enseignant sur ce qui se passera dans la classe, autour de situations expérimentales. C'est donc à travers la manière dont les contenus sont « mis en scène » dans les activités expérimentales que l'on espère atteindre la vision qu'en ont les enseignants. L'analyse complète des entretiens ne sera pas développée ici ; on exploitera la partie des

entretiens portant sur trois activités supports qui sont des situations expérimentales non habituelles, mais liées à des thèmes d'étude classiques en optique élémentaire : diffusion, propagation rectiligne, lentille.

Une première analyse des entretiens, préalablement transcrits et découpés en épisodes, révèle des écarts notables entre ce qui est écrit dans les textes et ce qui est retenu par les enseignants à la lecture de ces textes. On trouvera en appendice ces écarts à propos des activités supports questionnées lors de l'entretien.

Une analyse de contenu portant sur la totalité des propos des enseignants et mettant en évidence les fréquences d'épisodes repérés fait apparaître trois aspects importants qui traversent l'ensemble des réponses. Probablement ces aspects sont-ils moins liés aux contenus particuliers que les premiers écarts soulignés, voire extrêmement généraux. Ces trois aspects sont ceux que nous développerons dans la suite de cet article.

2. LES ENSEIGNANTS DEVANT LES TEXTES

Les éléments saillants qui seront développés ici sont au nombre de trois : la connaissance qu'ont les enseignants des difficultés des élèves, le rôle des «habitudes» et les conceptions des enseignants quant à la place de l'expérience dans l'enseignement de l'optique élémentaire.

2.1. La connaissance des enseignants concernant les difficultés des élèves

La prise en compte des difficultés des élèves, mises en évidence par différents travaux de recherche (Tiberghien, 1983 ; Guesne, 1984 ; Kaminski, 1991), oriente la construction de ce programme. On constate à ce propos que les maîtres interrogés, dont il faut rappeler qu'ils représentent un échantillon motivé puisque volontaire pour l'enquête, manifestent une connaissance au moins partielle de ces points sensibles. En effet, la moitié des entretiens en font état.

À propos du phénomène de vision par exemple, l'intérêt de lier propagation de la lumière et interaction entre la lumière et l'œil est souligné. Les propos des enseignants font état de la non-prise en compte du rôle de l'œil dans la vision, en des termes voisins de ceux des recherches :

«Où ils ont des problèmes [les élèves] à mon avis, c'est pour le chemin suivi entre la source, l'objet éclairé et l'œil.»

Ces difficultés des élèves sont souvent exprimées de manière indirecte par les enseignants :

«On n'avait jamais montré à l'élève que s'il voyait quelque chose, c'est parce qu'un rayon lumineux arrive dans son œil.»

«Il faut, à un moment ou à un autre, expliquer cette vision directe, là, c'est explicite dans les programmes.»

Les difficultés à propos de la couleur, identifiées dans des travaux de recherche (Chauvet, 1994), sont également pointées par les enseignants lorsqu'on évoque l'activité support «éclairage d'écrans colorés au voisinage d'un écran blanc» :

«L'intérêt de cette activité, c'est arriver à faire comprendre que la couleur n'est pas une possession de la matière, mais qu'elle est [aussi] dans la lumière.»

«Les couleurs, c'est pas évident non plus, j'ai remarqué par exemple une tendance à confondre l'addition des couleurs obtenues en envoyant par exemple des faisceaux de couleurs différentes sur un écran et l'addition de peintures.»

Si la connaissance qu'ont les enseignants des difficultés des élèves est un acquis de leur expérience professionnelle, d'autres acquis, concernant plus spécifiquement des modalités d'enseignement et érigés en «habitudes», sont fortement mis en évidence.

2.2. Le rôle des «habitudes»

Le terme *habitude* est celui qui est le plus souvent utilisé par les enseignants pour désigner ce qu'ils font («j'ai l'habitude de» ou «d'habitude je»...). Lors des entretiens, tous les enseignants, même si la question ne les y incite pas, font référence à certains aspects de leur pratique professionnelle. Il ne s'agit pas de déduire de ces propos des indicateurs sur les pratiques des enseignants, mais plutôt d'essayer de repérer comment ces pratiques, fortement ancrées dans l'expérience professionnelle de l'enseignant, influencent la manière dont celui-ci comprend les propositions du programme.

On s'attend à retrouver un certain nombre de résultats de recherches engagées par ailleurs sur la pensée des enseignants, notamment les travaux d'auteurs anglo-saxons (Ynger, 1979) repris par F.-V. Tochon (1989). En particulier, les caractéristiques que nous abordons semblent bien mettre en évidence ce que F.-V. Tochon nomme les «*routines*» des enseignants, le terme *routine* n'étant pas employé ici dans un sens péjoratif, mais désignant plutôt les plans d'action en partie automatisés dont dispose

«l'expert», et qu'il agence en fonction de la situation particulière de pratique professionnelle dans laquelle il se trouve.

Un premier effet est celui **d'association entre un item du programme et un dispositif expérimental classique**, sans prise en compte du contexte de l'item repéré, dans le programme. Ainsi :

– l'expression «*propagation rectiligne*» est automatiquement reliée à une expérience de visualisation du faisceau, soit avec poussière de craie, ou fluorescéine diluée, soit avec une trace observée sur le tableau ou sur une feuille de papier à partir d'une source devant laquelle on place un peigne. Ces dispositifs ne figurent pourtant pas dans les activités supports à ce stade du programme. De plus les commentaires officiels précisent que les «*rayons de lumière matérialisés*» pourront être interprétés, mais à un stade ultérieur : «*L'interprétation implique une synthèse des notions de diffusion, de propagation rectiligne et de réception de lumière par l'œil*» ;

– les mots *image* et *lentille convergente* (qui apparaissent sous le titre «*principe de formation des images en optique géométrique, conditions pour que l'on puisse les voir. Exemple de la lentille mince convergente*») déclenchent chez tous les enseignants interrogés la référence au banc d'optique, au «F lumineux» (écran percé en forme de F derrière lequel on place la source de lumière) et à l'écran sur lequel on voit l'image. Le terme *principe* associé dans le texte du programme à *formation des images* n'est jamais relevé.

L'autre effet important, de l'ordre des habitudes, porte sur **l'organisation séquentielle et sur l'importance respective des concepts**.

En matière d'organisation séquentielle, ce qui domine est un modèle d'assemblage de «*pièces détachées*», selon l'expression même d'un enseignant. Ainsi à propos de l'activité «*éclairage d'écrans colorés au voisinage d'un écran blanc*» : cette activité, centrée sur le fait qu'un objet peut en éclairer un autre, est proposée pour mettre en évidence le phénomène de diffusion grâce à l'effet démonstratif de la couleur ; si un écran blanc devient rose au voisinage d'un carton rouge fortement éclairé, cela suggère que de la lumière rouge est diffusée par ce carton. En fait cette activité est le plus souvent comprise comme une introduction à la notion de couleur (à cause du terme *écrans colorés*).

Les enseignants sont réticents **à utiliser la couleur comme moyen démonstratif pour le phénomène de diffusion, avant d'en faire un objet d'enseignement**. «*Moi, j'aurais trouvé plus simple de faire comprendre d'abord ce qui se passe avec un filtre, puis ensuite, ce qui se passe quand on éclaire en lumière blanche un écran coloré, puis ensuite, cet écran coloré colore un écran blanc en son voisinage.*» Il y a donc une reconstruction de

l'activité à partir de pièces détachées liées aux différentes notions et à leur ordre traditionnel d'entrée en scène.

Quant à l'importance respective des concepts, la vision, pourtant au centre du programme, est minimisée dans tous les entretiens. Les nouveaux programmes proposent, pour aborder le problème de la vision, la formulation suivante : « *condition nécessaire pour la vision : l'entrée de la lumière dans l'œil* ». Celle-ci n'est reprise qu'une seule fois par un enseignant qui juge cette introduction pertinente : « *Avant, on n'insistait pas suffisamment sur le fait que pour la perception, l'organe essentiel, c'est l'œil et comment se propageait la lumière jusqu'à l'œil... on n'insistait pas suffisamment...* »

Cette tendance au gommage de la vision se manifeste aussi sous la forme d'une adhérence très forte à un autre concept, celui de propagation rectiligne. Cette adhérence apparaît à propos de l'activité « prévisions et vérifications de ce que l'on voit à travers une succession d'écrans troués », qui met en jeu à la fois le phénomène de propagation rectiligne et le phénomène de vision ; **il n'y a pas différenciation de ces deux phénomènes** : le terme *voit* n'est pas repéré ou alors tout se passe comme s'il n'impliquait pas l'œil. Les paragraphes 2 (propagation rectiligne de la lumière) et 3 (vision, premiers éléments) du programme apparaissent identiques : « *on va refaire deux fois la même chose* ».

Ainsi, il y a par rapport aux contenus du programme, soit une décomposition des notions à introduire avec des suggestions d'ordre, soit au contraire une concentration de deux notions qui apparaissent distinctes dans le programme, celles de propagation rectiligne de la lumière et de vision. Comment interpréter ces deux effets apparemment opposés ?

On peut faire l'hypothèse que lorsque les enseignants ont, à propos des phénomènes physiques mis à l'étude dans les contenus d'enseignement, un répertoire personnel bien maîtrisé de formulations et de situations expérimentales, alors ils ont tendance à décomposer les contenus à présenter à la classe pour les adapter aux éléments du répertoire, puis à les réarticuler.

En revanche, en ce qui concerne la vision, les enseignants ont des difficultés conceptuelles, repérées par ailleurs (Kaminski, 1991) et confirmées dans ces entretiens. Ils ont alors tendance à traiter à la fois propagation rectiligne et phénomène de vision, comme pour ne pas avoir à « toucher » de près au phénomène de vision. Il n'y a pas de différenciation entre vision et propagation rectiligne.

Mais, s'en tenir à la mise en évidence d'habitudes n'explique pas tout ; celles-ci semblent elles-mêmes ancrées dans une conception particulière du rôle de l'expérience, aussi bien dans l'enseignement que dans l'activité scientifique.

2.3. «Objets» physiques et rôle de l'expérience

En effet, on peut lire dans l'ensemble des entretiens une tendance, parfois très marquée, à **réduire des lois, des phénomènes, des modèles à des objets ou des classifications d'objets.**

Soit ces objets sont matériels (les sources de lumière), mais l'étude qui en est proposée par les maîtres est davantage un classement qu'une mise en relation avec l'environnement (autre objet diffusant ou observateur), soit ces objets n'ont pas d'existence matérielle, mais on les fait exister : deux enseignants sur trois parlent du «*rayon lumineux matérialisé*» en faisant référence aux expériences qu'ils présentent à leurs élèves, dans lesquelles un support diffusant permet de matérialiser la trace d'un faisceau de lumière.

Cette tendance de **réduction des concepts à des objets** apparaît à propos de contenus d'enseignement très divers :

– le phénomène de vision est rapporté à l'œil : «*il y a beaucoup l'œil dans le nouveau programme et cela me paraît compliqué*» ;

– le phénomène de diffusion est rapporté à la distinction entre sources primaires et sources secondaires : «*la diffusion, oui, c'est pour les sources primaires et secondaires, cela avait été fait dans le programme précédent*» ;

– la notion d'ombre est réduite à une partition en zones d'un écran et l'introduction dans le programme de la pénombre pose problème : «*par exemple, les ombres... je pense que ce n'est pas utile de voir le problème de la pénombre. On ne voit pas très bien, c'est difficile à sentir et je ne vois pas pourquoi insister autant en quatrième*». L'intérêt du travail proposé n'apparaît pas, d'autant que la pénombre répond difficilement au souhait de définir des zones avec des limites nettes ;

– l'expression «*principe de formation*», en ce qui concerne les images, n'est jamais relevée ; l'image obtenue sur l'écran constitue à elle seule le phénomène.

Dans cette perspective, l'activité expérimentale est réduite au montage et les expériences sont censées parler d'elles-mêmes :

«*Il faut montrer les choses expérimentalement.*»

«*L'expérience est parlante.*»

Le statut donné au rayon lumineux est d'avantage celui d'un objet que celui d'un modèle permettant des explications ou des prédictions :

«*[À propos de la propagation rectiligne] je pars d'un faisceau de lumière, faisceau dans lequel je projette des gouttes d'eau... Cela me*

paraît plus visuel que les épingles ; les épingles, ils doivent plus imaginer le rayon lumineux qu'ils ne le voient.»

«[En ce qui concerne l'image donnée par une lentille] on essayait de faire trouver aux élèves, avec nos lanternes de tableau, nos pinceaux parallèles, les directions des rayons lumineux au sortir de la lentille, puis on admettait que l'image se formait à l'intersection des rayons lumineux.»

La tendance, très marquée dans les entretiens, à penser en terme d'objets les phénomènes physiques a été mise en évidence par ailleurs (Viennot, 1993b) et concerne aussi d'autres domaines de la physique.

Cette perspective réaliste est fort éloignée de l'idée de modèle. Remarquons à ce propos que les ambitions du programme sont limitées puisqu'on n'aborde pas l'idée de limitation de la validité des lois introduites (Viennot, 1993a). En revanche, à titre de première étape, on souligne le caractère incontournable des lois et on les fait fonctionner à travers des activités de prévision ; or, celles-ci ne sont pas relevées par les enseignants, bien que le terme figure cinq fois dans le programme. Dans ces conditions, **il n'y a donc pas de distinction entre les situations d'observation et les situations d'interprétation : comprendre c'est voir. La manipulation à elle seule révèle le phénomène et son interprétation.**

Les situations décrites par les enseignants (il faudrait aller voir de plus près ce qui se passe dans les classes) ne font jamais état de moments de construction d'objets théoriques (lois, concepts, modèles) autour de moments d'observation d'objets réels. Les caractéristiques mises ici en évidence confirment le choix épistémologique implicite le plus fréquent en physique, celui de l'empirisme (Johsua & Dupin, 1989). Dans cette perspective, ni le statut épistémologique de l'élève, ni le caractère construit du savoir scientifique ne sont considérés (Désautels et al., 1993).

Les écarts entre les conceptions épistémologiques courantes et celles dont témoignent ce projet d'enseignement apparaissent ici, cristallisés autour d'activités prévues pour mettre en cohérence des observations et des lois, première étape sur le chemin de la modélisation concernant le rayon lumineux et la vision. Des écarts de ce type sont notamment mis en évidence par A. Tiberghien et al. (1994), dans une mise en parallèle d'un enseignement usuel et des projets d'enseignement issus de travaux de recherche en didactique. Ils apparaissent d'autant plus cruciaux sur ce nouveau programme d'optique élémentaire que l'on travaille sur les mêmes contenus d'enseignement qu'auparavant (sources, propagation rectiligne, etc.) en utilisant les mêmes modèles (le rayon lumineux).

3. CONCLUSION

Cette première investigation sur la lecture que font les enseignants de textes comportant des intentions didactiques marquées conduit à décrire la situation selon deux facettes disjointes :

– d'une part, les difficultés des élèves, lorsqu'elles sont exprimées par les enseignants, le sont dans les mêmes termes que ceux mentionnés dans les travaux de recherche ;

– d'autre part, pour les enseignants, les contenus d'enseignement sont soit fortement adhérents entre eux, soit adhérents à une activité expérimentale issue d'un répertoire.

Il semble qu'il n'y ait pas de «pont» entre ces deux facettes et il n'apparaît pas concevable, pour les enseignants, que les situations d'enseignement connues d'eux puissent être réorientées pour prendre en compte les difficultés des élèves.

On peut penser que cela est lié à la conception du caractère expérimental décelée dans les entretiens : si comprendre, c'est voir, il n'y a pas dans la situation d'enseignement de place prévue pour des formulations d'hypothèses ou des activités d'interprétation, susceptibles de mettre à jour les points de vue des élèves. On peut attendre que ces points de vue émergent en cours d'enseignement, mais les intentions des enseignants quant à leur prise en compte ne sont pas spontanément explicitées.

Le rôle de leurs habitudes et le statut qu'ils donnent à l'expérience dans l'enseignement laissent prévoir une difficulté chez les enseignants pour modifier leurs démarches d'enseignement, dans le sens des intentions exprimées dans les programmes.

La similarité de surface des contenus apparaît comme un obstacle supplémentaire à la mise en œuvre de nouvelles démarches. Cela rend d'autant plus nécessaire de centrer les formations d'accompagnement des nouveaux programmes sur le type d'activité que l'on souhaite voir développer, plus spécialement autour de l'expérience.

BIBLIOGRAPHIE

- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1992). Classes de quatrième et quatrième technologique. *Bulletin officiel*, n° 31 du 31 juillet 1992, pp. 2086-2112.
- CHAUVET F. (1994). *Construction d'une compréhension de la couleur intégrant sciences, techniques et perception : principes d'élaboration et évaluation d'une séquence d'enseignement*. Thèse de doctorat, Université Paris 7 (LDPES).
- DÉSAUTELS J., LAROCHELLE M., GAGNÉ B. & RUEL F. (1993). La formation à l'enseignement des sciences, le virage épistémologique. *Didaskalia*, n° 1, pp. 49-67.
- FAWAZ A. & VIENNOT L. (1986). Image optique et vision. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 686, pp. 1125-1146.
- GUESNE E. (1984). Children's ideas about light / les conceptions des enfants sur la lumière. In *New Trends in Physic Teaching*, vol. IV. Paris, UNESCO, pp. 179-192.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le débat scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne, Peter Lang.
- KAMINSKI W. (1991). *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement*. Thèse de doctorat, Université Paris 7 (LDPES).
- TIBERGHIE A. (1983). Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens de la notion de lumière chez les élèves de 10 à 16 ans. 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 125-136.
- TIBERGHIE A., ARSAC G. & MÉHEUT M. (1994). Analyse de projets d'enseignement issus de recherches en didactique. In G. Arzac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand & A. Tiberghien, *La transposition didactique à l'épreuve*. Grenoble, La Pensée Sauvage, pp. 105-133.
- TOCHON F.-V. (1989). À quoi pensent les enseignants quand ils planifient leurs cours ? *Revue Française de Pédagogie*, n° 6, pp. 23-33.
- VIENNOT L. (1993a). Recherche en didactique et nouveaux programmes d'enseignement : convergences. *Didaskalia*, n° 3, pp. 119-128.
- VIENNOT L. (1993b). Fundamental patterns in common reasoning : examples in Physics. In *European Research in Science Education, Proceedings of the first Ph.D summerschool*. Utrecht, P.L. Lijnse CDβ Press, pp. 33-47.
- YNGER R.J. (1979). Routines in teacher planning. *Theory into Practise*, n° 18, pp. 163-169.

APPENDICE

Extraits des documents officiels (BOEN, 1992)

Objectifs propres au programme

Le thème «Images et vision» a été choisi pour les raisons suivantes :

- les phénomènes sont liés à l'un des aspects les plus marquants de la perception humaine et de l'environnement,
- c'est un terrain très favorable pour une importante activité d'expérimentation raisonnée,
- il permet la mise en œuvre de raisonnements rigoureux fondés sur quelques règles simples.

En particulier, on attend de cet enseignement :

- qu'il développe des aptitudes à la manipulation, des qualités de soin et de précision, par des constructions graphiques associées aux expériences,
- qu'il favorise la perception de l'espace,
- qu'il conduise les élèves à comprendre que la validité des lois, dans leur domaine d'application, n'est pas fluctuante selon les situations rencontrées,
- qu'il leur donne un début de confiance dans leur propre capacité à faire des prédictions et à mettre celles-ci à l'épreuve.

Mode d'emploi

Contenu :

Cette partie fixe l'articulation d'ensemble sans pour autant imposer un ordre de présentation devant les élèves.

Activités supports :

On donne une liste d'activités qui peuvent jalonner le déroulement de la formation. Cette liste est présentée à titre d'exemples pour illustrer l'esprit du programme.

Il peut arriver que des activités mettent en jeu des notions ne figurant pas en tant que telles au programme. Ces notions n'interviennent alors que dans l'esprit d'une ouverture possible, accessible à peu de frais à partir du contenu stricto sensu du programme. Elles ne figurent donc pas dans la colonne «connaissances exigibles».

Exigences et apprentissages :

Cette colonne indique les savoirs et savoir-faire exigibles ou en cours d'apprentissage. Par là même, elle précise les limites assignées à chaque item du programme et l'esprit dans lequel il est souhaitable de le traiter.

Aspects des écarts entre les textes et la lecture qu'en font les enseignants à propos de trois activités supports.

1. À propos de l'activité support :

«éclairage d'un écran coloré au voisinage d'un écran blanc»

Extraits du texte du programme

	Exigences et apprentissages
<p>1 – Sources de lumière Sources primaires. Première notion de luminosité Diffusion de la lumière : sources secondaires. Exemples de distinction : étoiles et planètes. Vitesse de la lumière. Premières notions sur la couleur : influence de la lumière incidente et de l'objet diffusant sur la couleur de celui-ci.</p> <p>Activités supports : <i>Éclairage d'écrans colorés au voisinage d'un écran blanc.</i> <i>Synthèse additive et soustractive, filtres.</i></p>	<p>On attend que l'élève sache :</p> <ul style="list-style-type: none"> – citer quelques types de sources primaires, – prévoir si un écran diffusant peut en éclairer un autre en fonction des facteurs suivants : <ul style="list-style-type: none"> . localisations spatiales des deux écrans . l'écran diffusant est clair ou sombre – la valeur de la vitesse de la lumière.

Extraits de notre analyse

Spécificité de cette activité dans le contexte du programme	Ce qu'en lisent les enseignants
<p>Elle permet la mise en évidence du phénomène de diffusion en utilisant l'éclairage d'un écran blanc, provoqué par la diffusion de la lumière sur un écran coloré. Dans cette expérience, la couleur est un appui, l'éclairage de l'écran blanc constituant en quelque sorte une preuve de la diffusion, qui ne passe pas (encore) par l'œil.</p>	<p>La compréhension de cette activité dans sa mise en œuvre matérielle et dans l'exploitation qu'on peut en faire, en référence aux contenus de programme qui précèdent (diffusion de la lumière, première notion sur la couleur) et aux compétences (prévoir si un écran diffusant peut en éclairer un autre), est manifeste dans le tiers seulement des entretiens.</p> <p>Cette activité est spontanément reliée à d'autres activités apparemment voisines que l'enseignant mettait en œuvre dans les anciens programmes et qui portent sur d'autres notions :</p> <ul style="list-style-type: none"> – expériences avec des filtres, – caractérisation des sources primaires et secondaires, – caractérisation de différents milieux : transparent, opaque. <p>La prise en compte dans cette expérience de deux notions, diffusion et couleur, apparaît gênante : «<i>Je crois que cela peut amener la confusion que de mélanger diffusion et couleur, parce que le problème de la couleur, c'est plus un problème d'absorption que de diffusion, donc la diffusion, c'est la deuxième étape, les deux problèmes sont distincts.</i>»</p> <p>Pourtant, l'intérêt de cette activité par rapport à ce que les élèves savent est souligné : «<i>C'est une expérience simple qui les marque beaucoup... par rapport à la diffusion, on n'insiste pas sur la diffusion et cela intervient dans la vie de tous les jours, et là, c'est une expérience qui la met en évidence.</i>»</p>

2. À propos de l'activité support :
«prévisions et vérifications sur ce que l'on voit à travers des successions d'écrans troués ou dans l'axe d'alignement d'épingles»

Extraits du texte du programme

	Exigences et apprentissages
<p>3 – Vision, premiers éléments :</p> <p>1 – aspects géométriques :</p> <p>– une condition nécessaire pour la vision : entrée de la lumière dans l'œil.</p> <p><i>Activités supports :</i> <i>Prévisions et vérifications sur ce que l'on voit à travers des successions d'écrans troués et dans l'axe d'alignement d'épingles.</i></p>	<p>On attend que l'élève sache : prévoir ce que l'on verra, en vision directe dans diverses situations, en fonction des localisations des objets, de la source et de l'œil.</p>

Extraits de notre analyse

Spécificité de cette activité dans le contexte du programme	Ce qu'en lisent les enseignants
<p>Il s'agit d'une activité d'expérimentation raisonnée qui s'appuie sur la «loi de propagation rectiligne» précédemment étudiée à partir des ombres (celle-ci fait l'objet du paragraphe 2 du programme) pour mettre en évidence une condition nécessaire pour la vision : l'entrée de la lumière dans l'œil.</p>	<p>Les termes prévisions et vérifications ne sont pas relevés une seule fois.</p> <p>Seuls, les mots successions d'écrans troués et alignement d'épingles sont retenus. Le problème de la vision n'est pas lié à cette expérience dans plus de la moitié des réponses. Cette expérience est comprise comme une preuve de la propagation rectiligne et l'œil «qui fait pourtant partie du montage» est totalement oublié.</p> <p>Le mot vision est très rarement prononcé par rapport au mot œil.</p> <p>Le problème de la vision est perçu par les enseignants comme étant d'abord un problème d'accommodation. Dans la moitié des entretiens, cette activité, après qu'elle ait été élucidée par l'enquêteur, apparaît intéressante par rapport aux conceptions des élèves qui ne lient pas vision et entrée de la lumière dans l'œil.</p> <p>Dans la quasi-totalité des entretiens, l'introduction du rayon lumineux et de la propagation rectiligne doit se faire par «visualisation du faisceau» et la question de l'œil dans ce dispositif n'est jamais posée : elle apparaît comme dérangement quand elle est introduite par l'enquêteur.</p>

3. À propos de l'activité support : «analyse de trajets de pinceaux en vision directe et dessins correspondants à l'échelle réelle permettant de localiser l'image»

Extraits du texte du programme

	Exigences et apprentissages
<p>4 – Principe de formation des images en optique géométrique, conditions pour qu'on puisse les voir.</p> <p>2 – Aspect imageur : Correspondance objet-image (réelle)</p> <p><i>Activités supports :</i> <i>Analyse de trajets de pinceaux en vision directe (pailles, alignement d'épingles) et dessins correspondants à l'échelle réelle permettant de localiser l'image</i></p>	<p>On attend que l'élève sache : analyser la formation de l'image à l'aide de pinceaux lumineux issus d'un point de l'objet. En particulier, montrer expérimentalement que : – tout pinceau issu d'un point de l'objet passe par le point image correspondant.</p>

Extraits de notre analyse

Spécificité de cette activité dans le contexte du programme	Ce qu'en lisent les enseignants
<p>Les localisations d'images se font expérimentalement, en faisant jouer au maximum à l'œil son rôle de détecteur de pinceaux lumineux ; divers tracés rectilignes de lumière associés à un couple objet ponctuel, image ponctuelle, sont dessinés en vraie grandeur, sur une bande de papier servant de support au montage, à partir de visées.</p>	<p>Dans la totalité des entretiens, cette activité n'est pas comprise et les enseignants répondent : «<i>je ne vois pas comment il faut faire</i>» ou «<i>je n'ai jamais fait</i>».</p> <p>Le questionnement révèle de nombreuses difficultés conceptuelles des enseignants.</p> <p>Cette activité, pour tous les enseignants interrogés paraît très différente de l'activité habituelle de localisation d'image puisqu'elle utilise des objets «naturels», la lumière ambiante et l'œil. L'activité proposée par les enseignants dans la classe est décrite de façon quasi identique :</p> <ul style="list-style-type: none"> – mêmes supports expérimentaux, le banc d'optique et le «F lumineux», – même mise en parallèle de l'expérience et de la construction géométrique qui utilise «<i>les trois rayons</i>».

Le frottement cinétique : analyse des raisonnements des étudiants

Helena CALDAS

Université Vitoria
Departamento de Fisica CCE
UFES Universidade Federal do E.S.
29069 Vitoria E.S., Brésil.

Édith SALTIEL

Université Paris 7
Laboratoire de Didactique de la Physique
dans l'Enseignement Supérieur
Tour 24 – 2, place Jussieu
75251 Paris cedex 05 case 7021, France.

Résumé

Le travail présenté ici étudie les modes de raisonnement d'étudiants de différents pays, confrontés à des situations physiques simples de frottement cinétique. La nature des raisonnements rencontrés, en présence de frottement solide sec, diffère profondément de celle que l'on rencontre avec des situations de mécanique habituelle. Les caractéristiques principales de ces raisonnements seront décrites et analysées. Les conséquences d'un tel travail, tant au niveau des perspectives de recherche qu'au niveau pédagogique, seront évoquées.

Mots clés : raisonnements, frottement cinétique, mécanique, enseignement.

Abstract

This paper presents work on ways of reasoning that students from different countries use when confronted with physical situations of sliding friction. The nature of the reasonings encountered in dry solid friction situations differ greatly from that of usual mechanical situations. The principal characteristics of these types of reasonings will be described and analysed. The consequences of this work will be discussed from the research as well as the pedagogical perspective.

Key words : reasonings, sliding friction, mechanics, teaching.

Resumen

El trabajo estudia los modos de razonamiento de estudiantes, de diferentes países, confrontados a situaciones físicas simples de frotamiento cinético. La naturaleza de los razonamientos encontrados, en presencia del frotamiento sólido seco, difiere profundamente de aquella que encontramos en situaciones de la mecánica habitual. Las características principales de estos razonamientos serán descritas y analizadas. Las consecuencias de este trabajo serán discutidas tanto a nivel de las perspectivas de investigación como a nivel pedagógico.

Palabras claves : razonamiento, frotamiento cinético, mecánica, enseñanza.

Les effets du frottement solide sec se manifestent à tout instant dans notre vie quotidienne : c'est grâce au frottement que nous pouvons marcher, rouler en voiture, coudre, travailler à notre bureau sans que ce dernier ne glisse et sans que les livres qui se trouvent dessus ne tombent... Et pourtant dans la plupart des pays l'enseignement général aborde très peu ces phénomènes. Est-ce parce que les lois du frottement solide sec sont des lois phénoménologiques (empiriques) ? En effet, il n'existe pas actuellement de modèle microscopique physique pour ce type de phénomène (Baumberger et al., 1994) : en chaque point d'une région, appelée surface de contact, des forces s'exercent sur le solide étudié mais seule la résultante des forces peut être déterminée à l'aide de lois empiriques. De plus, ces lois diffèrent selon qu'il y a ou non glissement au contact d'une surface par rapport à l'autre, c'est-à-dire selon que le frottement est cinétique ou statique. Nous avons voulu savoir comment les étudiants raisonnent lorsqu'ils sont confrontés à des situations de frottement cinétique, comment le phénomène frottement lui-même est compris et comment les étudiants utilisent, dans des situations de frottement, les lois de Newton : verra-t-on jaillir les mêmes types de raisonnement qu'en dynamique élémentaire, trouvera-t-on une association force-vitesse, comment seront localisées les forces de contact, comment sera appliquée la loi des actions réciproques pour des actions de contact, etc. ?

De façon générale, dans l'enseignement français on parle peu du frottement solide, mais on en parle tout de même : les forces de frottement étaient, jusqu'en 1993, introduites en classe de seconde, comme exemples de forces de contact, puis en première comme exemples de forces dissipatives. Au lycée, aucune distinction n'est faite entre frottement cinétique et frottement statique ; tout comme à l'université, sauf dans des enseignements spécialisés de mécanique du solide. Dans la grande majorité des exemples choisis dans l'enseignement, il s'agit de forces résistantes qui s'opposent au mouvement et qui freinent (Caldas, 1994). L'idée principale transmise par l'enseignement de la physique est cette idée de freinage, de phénomène résistant et non de phénomène « positif », c'est-à-dire d'un phénomène pour lequel la force de frottement peut être à l'origine du mouvement d'un objet. Ainsi, par exemple, le chapitre concernant l'étude de ces phénomènes est intitulé « résistance au mouvement ». Dans ce qui suit, nous nous intéresserons uniquement aux forces de frottement **cinétique**. Les lois phénoménologiques du frottement solide sec qui permettent de connaître la résultante (\vec{f}) des forces de frottement cinétique (ou dynamique) qui s'exerce sur un solide sont les suivantes :

- la norme de cette force est égale à $\mu_c N$ où N est la composante normale de la résultante des forces de contact exercée sur le solide étudié et μ_c , le coefficient de frottement cinétique ;
- le sens de cette force est opposé à celui de la vitesse relative de glissement au contact de l'un des solides par rapport à l'autre.

Dans la plupart des manuels, une force de frottement cinétique est déclarée s'opposer au mouvement, sans préciser le référentiel dans lequel est défini ce mouvement : dans le meilleur des cas, les auteurs parlent en termes de mouvement relatif des surfaces, mais les exemples et les exercices proposés sont tels que le solide étudié se déplace, dans le référentiel étudié, sur une surface fixe ; ainsi mouvement relatif et mouvement du solide dans le référentiel considéré sont identiques (Caldas, 1994).

Une enquête auprès d'étudiants d'horizons divers a été entreprise dans le but de dégager les grandes tendances d'ensemble des raisonnements. L'essentiel des résultats concernant le frottement cinétique sera exposé ici.

1. QUESTIONNAIRES

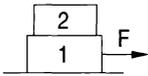
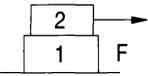
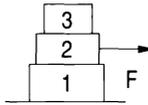
Le frottement étant majoritairement présenté comme un phénomène dissipatif et résistant, donc « négatif », nous avons voulu confronter les élèves à une situation physique pour laquelle la seule force qui permette d'expliquer le mouvement d'un des objets étudiés est la force de frottement, et voir comment ils analysent cette situation.

Trois questionnaires «papier crayon» ont été posés à 442 personnes réparties de la façon suivante :

- 214 étudiants brésiliens, essentiellement de première année d'université,
- 48 espagnols, professeurs de lycée en stage de formation continue,
- 131 français de première et deuxième année d'université,
- et enfin 49 étudiants portugais d'un enseignement pré-universitaire technique.

Au total, des cultures et des formations très différentes. Tous ces étudiants ont, au moment de la passation, étudié les forces de frottement d'un point de vue élémentaire. Les étudiants brésiliens utilisaient comme manuel de référence celui de Resnick et Halliday (1979), les français, celui de Alonso et Finn (1970) ou de Le Bellac (1985), ou tout autre manuel similaire du point de vue du frottement, comme les étudiants portugais ; ceci signifie que ces populations sont assez semblables du point de vue de l'enseignement reçu, ce qui a été vérifié lors du dépouillement des questionnaires.

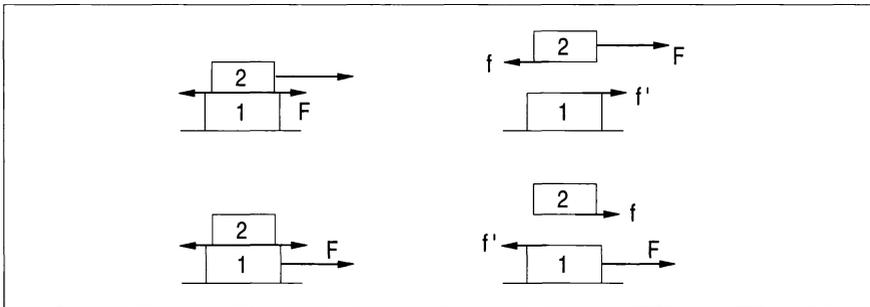
Les situations proposées sont très similaires et assez scolaires, seules les questions posées le sont un peu moins. Ces situations sont schématisées dans l'encadré 1, ainsi que les questions posées (en annexe, se trouve l'énoncé complet de l'un des questionnaires).

Questionnaire A ₁	Questionnaire A ₂	Questionnaire C
		
<p>On exerce une force \vec{F} constante sur l'un des blocs et on constate que les blocs se déplacent l'un par rapport à l'autre. On suppose que le seul coefficient de frottement négligeable dans le problème est celui qui correspond au contact table, bloc qui repose dessus.</p> <p>Trois types de questions :</p> <p>1 - Dessiner sur le schéma toutes les forces qui s'exercent sur chacun des blocs.</p> <p>2 - Pour chaque bloc, il est demandé :</p> <ul style="list-style-type: none">- quelles forces s'exercent sur lui ?- quel est le sens du mouvement de ce bloc par rapport à la table ?- la force de frottement qui s'exerce sur lui s'oppose-t-elle ou non au mouvement de ce bloc par rapport à la table ? <p>3 - On augmente le frottement entre deux blocs ; y a-t-il modification du mouvement par rapport à la table de chacun de ces deux blocs ?</p>		

Encadré 1 : **Énoncé des questionnaires**

Dans toute la suite, pour éviter toute ambiguïté de langage, la composante tangentielle de toute force de contact (ici, il s'agit de forces horizontales) sera appelée force de frottement ; le bloc sur lequel l'expérimentateur exerce la force constante \vec{F} , le bloc moteur, et tous les autres, les blocs passifs¹. À une interface de contact correspondent ainsi deux forces de frottement \vec{f} et \vec{f}' qui, d'après la loi des actions réciproques, sont telles que $\vec{f} = -\vec{f}'$, chacune s'exerçant sur un bloc différent.

Pour bien mettre en évidence le fait que ces forces s'exercent sur des objets différents, tout en étant localisées au niveau de la surface de contact, nous avons inscrit sur les figures de l'encadré 2 le schéma habituel et des schémas « éclatés », c'est-à-dire des schémas sur lesquels les objets en contact sont artificiellement séparés. De plus, pour ne pas surcharger les figures, nous n'avons dessiné que les seules forces horizontales. Ainsi, le sens de la force de frottement s'exerçant sur le bloc moteur est opposé à celui de la force \vec{F} , et opposé à celui du sens du mouvement de ce bloc par rapport à la table. Le sens de la force de frottement s'exerçant sur le bloc passif est en revanche le même que celui du mouvement de ce bloc par rapport à la table.



Encadré 2 : **Bilan des forces horizontales**

La résultante des forces de frottement, contenue dans le plan tangent à la surface de contact, s'oppose au mouvement relatif de glissement au contact d'un solide par rapport à l'autre. Par la suite, nous appellerons mouvement relatif, le mouvement relatif de glissement des deux blocs en leurs points de contact, et mouvement effectif, le mouvement d'un bloc par rapport à la table.

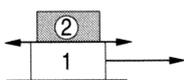
1 Ainsi, le bloc moteur est, dans la situation du questionnaire A₁, le bloc n° 1 et, dans les situations des questionnaires A₂ et C, le bloc n° 2. Les blocs passifs sont le bloc 2 pour le questionnaire A₁, le bloc 1 pour le questionnaire A₂ et les blocs 1 et 3 pour le questionnaire C.

2. RÉSULTATS

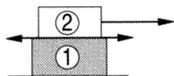
2.1. Schémas de forces

La majorité des étudiants (et ceci quel que soit le pays d'origine) ne dessine qu'une seule force de frottement (**63,5 %**), force que nous appellerons **force solitaire**. 79 % de ces forces solitaires sont en sens opposé à \vec{F} , contre 19 % dans le même sens que \vec{F} .

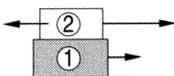
Une minorité (31,5 %) dessine deux forces de frottement, c'est-à-dire les deux forces \vec{f} et \vec{f}' , forces que nous appellerons «**mariées**» pour bien indiquer qu'elles obéissent à la troisième loi de Newton et qu'il existe donc une relation entre elles. Très peu d'étudiants ayant dessiné des forces mariées (10 % environ) déclarent que la force de frottement agissant sur le bloc passif a un rôle moteur pour ce bloc. Lorsque c'est le cas, les justifications sont claires, comme le montrent ces quelques citations² :



«La force de frottement ne s'oppose pas au mouvement de (2). Cette force **produira le mouvement** du bloc, car, sur le bloc (2), on a $\Sigma F_x = f_2 = m_2 a_2$.»



«Le bloc de masse m_1 , se déplace vers la droite dans le sens de la force de frottement de (2) sur (1). La force de frottement ne s'oppose pas, au contraire, **c'est la responsable du mouvement.**»



«La force de frottement sur le bloc (1), c'est exactement **la force qui lui imprime le mouvement**; elle ne s'oppose donc pas au mouvement. Si cette force n'existait pas, le bloc (2) se déplacerait librement sur m_1 , et m_1 , resterait immobile.»

Deux questions se posent à ce niveau :

– que représente pour les étudiants la force unique dessinée ? A-t-elle été construite à partir de \vec{F} , comme force qui s'oppose à \vec{F} ? A-t-elle été construite pour expliquer le mouvement d'un des blocs ? Dans ce cas, sur quel(s) objet(s) agit-elle ? Un seul, les deux ?

– que représentent les deux forces dessinées lorsqu'une d'entre elles n'est pas déclarée être la responsable du mouvement du bloc passif ?

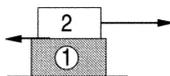
² Pour ne pas surcharger les figures, nous n'avons jamais dessiné le support sur lequel reposent les deux blocs. Pour que le lecteur n'ait pas à se reporter en permanence à l'énoncé du questionnaire, nous avons systématiquement hachuré, sur le schéma qui accompagne chaque citation, le bloc sur lequel porte la question.

2.2. Effet dessous-dessus (effet DD)

L'ensemble des résultats obtenus s'explique si on admet que, pour les étudiants, la résultante unique dessinée des forces de contact n'agit que sur **l'un** des objets en contact, **celui qui se trouve au-dessus de l'interface**, ce que nous avons appelé effet dessous-dessus (effet DD).

Cet effet est très bien explicité par les étudiants lorsqu'on leur demande si la modification du frottement entre deux blocs change ou non quelque chose dans le mouvement, par rapport à la table, de chacun des deux blocs (question 3).

56,5 % des étudiants déclarent que la force de frottement **n'agit pas** sur le bloc **du dessous**, comme l'illustre cette citation :



«Le mouvement de (1) ne changera pas car le frottement de ce bloc avec le sol ne change pas. Seul le mouvement de (2) sera modifié puisque l'augmentation du frottement avec (1) va provoquer une plus grande difficulté par rapport au déplacement de (2).»

Pour cet étudiant, la force de frottement solitaire n'agit que sur le bloc 2, c'est-à-dire celui qui se trouve au-dessus de l'interface de contact, interface où il existe un coefficient de frottement. En revanche, pour que le mouvement du bloc inférieur soit modifié, il faudrait, toujours pour cet étudiant, qu'il y ait frottement entre ce bloc et le sol, c'est-à-dire à l'interface qui se trouve en dessous de lui.

Avec le questionnaire des trois blocs, la question porte sur une modification du frottement entre les blocs 2 et 3. On trouve également des réponses où cette modification ne peut pas modifier le mouvement de (2) car :

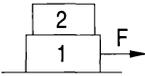
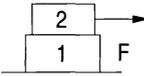
«Pour modifier le mouvement de (2), on devrait augmenter le frottement entre (1) et (2), donc seul le mouvement de (3) sera modifié.»

«Non, le mouvement de (2) ne sera pas modifié si on augmente le frottement entre (2) et (3) parce que le frottement n'agit pas sur m_2 mais il agit sur m_3 .»

«Le mouvement de (2) ne sera pas modifié parce que \vec{F} est constante et ne dépend pas des forces situées au-dessus de m_2 .»

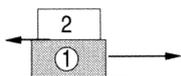
La comparaison des résultats et des justifications obtenus à la question portant sur le mouvement du bloc moteur dans chacun des questionnaires A_1 et A_2 montre bien l'existence de cet effet (encadré 3). En effet, 97,5 % des étudiants répondent que la force de frottement s'oppose au mouvement effectif (par rapport à la table) du bloc moteur lorsque ce dernier est le bloc supérieur (2) (questionnaire A_2), alors que seulement 46,5 % donnent ce

type de réponse lorsque le bloc moteur est le bloc inférieur (1) (questionnaire A₁).

	Questionnaire A ₁	Questionnaire A ₂
		
force de frottement s'oppose au mouvement du bloc moteur	46,5%	97,5%

Encadré 3 : Sens de la force de frottement et du mouvement du bloc moteur

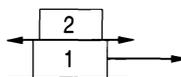
Les justifications qui accompagnent les réponses « \vec{f} ne s'oppose pas au mouvement du bloc » (53,5 % des réponses) sont très explicites. Citons-en une, à titre d'illustration :



« Pas du tout, étant donné qu'il n'existe pas de frottement sous le bloc m_1 , celui-ci est donc libre de tout mouvement (frottement $\text{sol}/m_1 = 0$). La force de frottement qui existe sur m_1 ne joue aucun rôle quant au mouvement de celui-ci. »

Cette citation est très explicite : la force de frottement solitaire n'a d'effet que sur l'un des solides en contact, celui qui se trouve **au-dessus** de l'interface de contact.

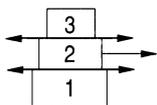
On rencontre cet effet chez bon nombre d'étudiants qui ont dessiné deux forces de frottement, c'est-à-dire des forces mariées, comme l'indique cette citation :



« Le mouvement de (2) changera parce que la force qui interfère [intervient] dans son mouvement va augmenter. Le mouvement de (1) ne changera pas parce que, malgré l'augmentation de la force de frottement sur ce bloc, **cette force ne conditionne pas son mouvement** (forces symétriques). »

Cet étudiant reconnaît à la fois l'existence d'une force de frottement sur le bloc moteur et son absence d'effet sur ce même bloc, car ce bloc se trouve en dessous de l'interface de contact où il y a frottement : c'est un autre aspect de l'effet DD.

Nous trouvons également des étudiants qui dessinent deux forces à une interface (forces mariées) ; mais ces deux forces agissent sur le même objet, celui qui se trouve au-dessus de l'interface, comme l'indique cette citation d'un étudiant qui a répondu au questionnaire des trois blocs :

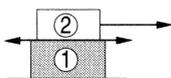


«Le bloc (3) peut rester immobile si $\vec{F} = \vec{f}_{23}$ car sur m_3 on a \vec{f}_{23} qui s'oppose au mouvement et \vec{f}_{32} qui l'entraîne vers l'avant.»

Apparemment, les deux forces dessinées à l'interface entre les blocs 2 et 3 ne concernent que le bloc 3, c'est-à-dire le bloc qui se trouve au-dessus de l'interface de contact.

L'existence de cet effet permet de rendre compte d'une grande partie des schémas de forces. En effet, la majorité des forces dessinées sont solitaires et localisées à l'interface (une force de frottement unique par interface). Quand par hasard cette force unique est localisée sur l'un des blocs, c'est toujours sur le bloc qui se trouve au-dessus de l'interface (19 % des forces de frottement solitaires), jamais sur le bloc du dessous. Dans le même ordre d'idées, nous constatons que toutes les composantes normales des forces de contact solitaires (87 % des forces dessinées) sont dirigées du bas vers le haut et jamais dans l'autre sens : il s'agit sans doute du même type de phénomène.

Une autre manifestation de cet effet se rencontre lorsque les étudiants, ayant dessiné des forces mariées, veulent expliquer le mouvement par rapport à la table du bloc passif, ici le bloc 1 :



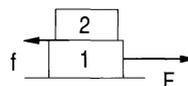
«Le bloc (1) se déplace dans le même sens que m_2 parce que le frottement sol/ $m_1 = 0$. Ce mouvement se produit à cause **des** frottements qui **tendent à unir** les blocs.»

Pour cet étudiant, deux arguments sont mentionnés : l'absence de frottement entre le bloc 1 et la table (effet DD) et une liaison entre les deux blocs, ce qui va nous amener à parler d'un autre résultat : l'effet d'entraînement.

2.3. Mouvement du bloc passif : effet d'entraînement

La majorité des étudiants trace, pour une interface donnée, une force unique de frottement qui n'agit que sur le bloc du dessus et qui est de sens contraire à la force \vec{F} , force exercée par l'expérimentateur. Aucun étudiant ne met en doute le résultat indiqué dans le questionnaire, à savoir «les deux blocs se déplacent l'un par rapport à l'autre». De plus, la quasi-unanimité des étudiants déclare que le bloc passif se déplace, par rapport à la table, dans le même sens que celui du bloc moteur. Les étudiants, selon le type de questionnaire, se trouvent confrontés à des difficultés de nature légèrement différente.

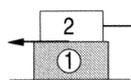
En effet, les schémas que l'on trouve avec le questionnaire A₁ sont, dans leur majorité, du type de celui indiqué sur la figure ci-contre. À cause de l'effet DD, la force dessinée n'agit que sur le bloc du dessus (bloc 2). Donc la seule force exercée sur (2), pour les étudiants, est une force de sens contraire à celui du mouvement (par rapport à la table) du bloc.



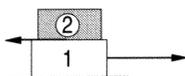
Comment expliquent-ils alors le mouvement de ce bloc (initialement au repos) vers la droite (mouvement parfaitement accepté par l'ensemble des étudiants), alors qu'il n'est soumis qu'à une seule force, qui se trouve être de sens contraire à celui du mouvement ?

Avec le questionnaire A₂, la force \vec{F} s'exerce sur le bloc supérieur et la force de frottement solitaire n'agit, pour les étudiants (effet DD), que sur ce bloc. Au total, aucune force n'est appliquée sur le bloc passif : comment, là encore, expliquent-ils le mouvement de ce bloc (initialement au repos) vers la droite, alors qu'aucune force ne s'exerce sur lui ?

Un élément de réponse à ces deux questions est donné par ces justifications :

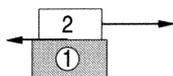


«Il est étrange de considérer que m_1 bouge par rapport à la table sauf si la masse m_2 entraîne m_1 dans son sens et donc la force de frottement s'oppose au mouvement.»

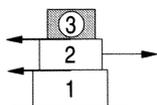


«Oui, la force de frottement empêche que le bloc m_2 se déplace en sens contraire de \vec{F} et par conséquent la masse m_2 a une tendance à suivre le mouvement de m_1 , à cause du frottement.»

C'est donc le frottement, et non une force de frottement s'exerçant sur le bloc, qui est responsable de sa tendance à suivre le mouvement du bloc moteur. On pourrait penser que les étudiants s'imaginent que les deux blocs sont entièrement solidaires. Il n'en est rien, comme le montrent ces citations :



*«Le sens de déplacement de (1) est aussi vers la droite quand on tire le bloc (2), **ce bloc amène le bloc (1) avec lui à cause du frottement entre les deux blocs.** Le bloc (1) aura une **vitesse plus petite que le bloc (2)** parce qu'il a une masse plus grande et parce qu'il n'y a pas de force qui agit directement sur lui.»*



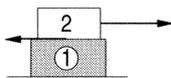
*«Le bloc (3) se déplace car il existe **des frottements entre** les blocs (2) et (3) ; m_2 bouge et **entraîne** nécessairement m_3 (ces frottements les rendent en partie solidaires).»*

Un exercice numérique, correspondant à la situation du questionnaire A₁, a été donné à 21 étudiants de première année de DEUG scientifique

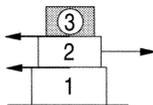
(première année d'université en France) ; dans cet exercice sont données les valeurs numériques des masses de chacun des deux blocs, de la force exercée par l'expérimentateur, ainsi que celle de «la» force de frottement. Les étudiants doivent calculer l'accélération de chacun des blocs et préciser le sens de déplacement du bloc passif par rapport à la table. Quatorze étudiants seulement vont jusqu'au bout et **tous** calculent des accélérations différentes pour les deux blocs, tracent une force solitaire localisée à l'interface et dirigée en sens contraire de \vec{F} . Sur ces quatorze étudiants, deux déclarent (alors que la question n'était pas posée) : «*le bloc (2) se déplace vers la droite par rapport à la table*», et donnent pour valeur de l'accélération du bloc passif (bloc 2) l'expression « $a_2 = \frac{f}{m_2}$ ».

D'après les réponses fournies, tout se passe comme si l'existence d'un frottement entre les blocs suffisait à expliquer l'entraînement du bloc passif par le bloc moteur sans que ne s'exerce sur lui une force de frottement dans le sens du mouvement. Les blocs sont déclarés «être liés», «unis», «rester accrochés», «adhérer»...

Certains étudiants (qui représentent à peine un quart de ceux qui répondent que le bloc passif se déplace vers la droite et qui ont dessiné une force de frottement en sens contraire), sans doute gênés par l'absence de force dans le sens du mouvement, transfèrent la force exercée par l'expérimentateur, le frottement fonctionnant alors comme «un pont de transmission» de cette force :



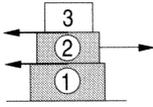
«À cause du frottement entre les blocs, le mouvement de m_1 sera le même que celui de la force \vec{F} sur m_2 . S'il existait un frottement entre m_1 et la table, le frottement serait de sens contraire au mouvement de m_1 . Le bloc m_1 se déplace seulement à cause du frottement avec (2) (parce que les surfaces adhèrent les unes aux autres) **puisque le frottement fonctionne comme un pont de transmission**. On ne peut pas oublier que m_1 se déplacera librement sur la surface sur laquelle il repose tout en accompagnant donc le sens de la force \vec{F} sur (2).»



«Le bloc (3) se déplace vers la droite car le frottement entre m_2 et m_3 va transférer la force \vec{F} sur le bloc (3).»

Nous trouvons le même type de phénomène avec le questionnaire numérique : quelques étudiants trouvent que l'accélération du bloc 2, différente de celle du bloc 1, vaut : $a_2 = \frac{F-f}{m_2}$.

Notons enfin que cette explication en terme d'entraînement peut coexister sans problème avec l'effet DD, comme le montre cette citation :



Q2 : «Le bloc (1) se déplace par rapport à la table parce qu'il est entraîné par le déplacement du bloc (2) où s'applique la force \vec{F} , à cause **des frottements entre** (1) et (2).» (effet d'entraînement)

Q4 : «Si on augmente les frottements entre les blocs (2) et (3), seul le mouvement de (3) sera modifié. Le mouvement du bloc (2) reste inchangé parce que ce bloc est seulement soumis à la force \vec{F} et aux frottements entre (1) et (2) qui sont les mêmes.» (effet DD)

2.4. Sens de «la» force de frottement

La majorité des forces dessinées sont des forces solitaires et de sens opposé à celui du sens du mouvement du bloc considéré. Très peu d'étudiants acceptent l'idée qu'une force de frottement puisse être motrice, la majorité d'entre eux pensant qu'elle s'oppose toujours au mouvement (il s'agit bien sûr du mouvement effectif du bloc concerné, c'est-à-dire du mouvement par rapport à la table).

Pour beaucoup, il n'y a aucun doute : ils écrivent, en effet, que «*la force de frottement s'oppose au mouvement du bloc **par définition***», ou encore que «*la force de frottement s'oppose au mouvement de (2) puisqu'elle est toujours contraire à la force qui tire ou qui pousse un corps vu que cette force est une **force de résistance***».

Cependant l'effet DD et l'effet d'entraînement sont suffisamment forts pour que les étudiants, pour le questionnaire A₁ et certaines questions du questionnaire C, déclarent que la force de frottement sur le bloc inférieur soit n'existe pas, soit, si elle existe, n'a aucun effet.

3. MODÈLE ÉTUDIANT

À partir de l'ensemble des résultats, il est possible de donner une description unificatrice du modèle étudiant :

Le phénomène de frottement de glissement entre deux solides est représenté par UNE résultante unique, localisée en général à l'interface des deux solides, qui a UN sens bien défini (opposé au mouvement effectif du solide étudié) et UNE orientation de l'action (toujours du dessous vers le dessus).

*Le frottement fonctionne comme s'il existait, entre les solides en contact, un «lien» qui assure une certaine «adhérence» entre les surfaces des solides en contact. Cette «adhérence» a **deux fonctions** : d'un côté, elle **freine** le mouvement des solides et, de l'autre, elle permet au solide «passif» d'être **entraîné** par le solide «moteur» sans qu'il ne s'exerce explicitement sur lui une force dans le sens du mouvement.*

4. CONSÉQUENCES

Les résultats et le modèle décrits ici appellent quelques commentaires, tant au niveau de la recherche qu'au niveau de l'enseignement.

4.1. Conséquences au niveau de la recherche

On retrouve ici des difficultés, bien décrites par ailleurs, sur les changements de référentiels (McDermott, 1984 ; Saltiel, 1980). En effet, le sens de la force de frottement est connu à partir du moment où l'on connaît le mouvement relatif des deux blocs en leurs points de contact. Or des études ont montré que les étudiants ne définissent pas les mouvements des solides dans des référentiels puisqu'ils ne considèrent que des mouvements « vrais », « réels », c'est-à-dire des mouvements auxquels on peut trouver une cause dynamique (dans le cas des situations étudiées, les mouvements effectifs ou encore les mouvements des blocs par rapport à la table) ; les mouvements relatifs étant, lorsqu'ils sont reconnus exister, considérés comme des mouvements apparents, voire des illusions d'optique. Donc, il n'y a rien d'étonnant à ce que le mouvement relatif d'un bloc par rapport à l'autre ne soit pas pris en compte et que toute force de frottement s'oppose au mouvement vrai ou effectif du solide étudié et non à un mouvement relatif qui, disent les étudiants, est « une illusion » puisque non « défini physiquement ».

Un résultat surprenant : les raisonnements observés sont *a priori* incompatibles avec ceux qui ont été mis en évidence par différents chercheurs, en particulier ceux du LDPES (Viennot, 1979 ; Rozier, 1988) lors de situations de dynamique élémentaire. En effet, les étudiants expliquent ici le mouvement d'un objet (initialement au repos) sans qu'aucune force dans le sens du mouvement de l'objet ne s'exerce explicitement sur lui. Rappelons qu'en dynamique, les étudiants considèrent qu'« un mouvement dans un sens implique une force dans le même sens », ce raisonnement apparaissant surtout lorsqu'il est possible, dans la situation physique proposée, de se représenter les mouvements, ou encore lorsque les mouvements présentés semblent être incompatibles avec les forces en jeu.

Ici, nous nous trouvons dans des situations où la seule force reconnue s'exercer sur l'objet étudié est soit en sens contraire du mouvement du dit objet, soit inexistante. Les étudiants doivent concilier LA propriété d'une force de frottement qui, pour eux, s'oppose toujours au mouvement, avec une explication qui permette de rendre compte du mouvement de l'objet. Nous sommes donc dans une autre catégorie de situations et de questions qui amènent à des raisonnements spécifiques. La différence essentielle entre les situations de dynamique et celles étudiées ici est l'existence d'un frottement et par suite d'un support sur lequel se déplace l'objet étudié.

Ce rôle du support a été mentionné par Ogborn (1993), qui pense qu'il existe deux caractéristiques essentielles du mouvement, à savoir «*l'effort*» et «*le support*», le support pouvant intervenir comme cause de non-mouvement mais aussi comme cause de mouvement. Par ailleurs, Law (1990), en étudiant les idées des élèves sur les causes du mouvement, rencontre fréquemment une structure de base qui «*comprend deux objets, le couple agent-patient : l'un fournit une substance qui assure la médiation de la cause (force) et l'autre qui en subit l'influence, ce qui entraîne son mouvement*».

Il est clair que l'existence d'un frottement amène les étudiants à le traiter comme un lien ou une substance qui assure la médiation de la cause du mouvement et qui permet à l'objet étudié d'être entraîné. Il paraît souhaitable de voir si d'autres situations d'entraînement sont analysées de la même façon par les étudiants, mais ceci est un autre travail.

4.2. Conséquences pour l'enseignement

À la lecture de ces résultats, tout enseignant se doit d'être vigilant vis-à-vis de ces problèmes. Il apparaît crucial de dire et d'expliquer qu'une force de frottement solide peut être aussi bien motrice que résistante, et de ne pas laisser entendre implicitement qu'une force de frottement ne permet jamais la propulsion. Mais ceci ne suffit pas : nous avons constaté que la loi des actions réciproques n'est pas vraiment appliquée, ce qui n'est pas une grande surprise, compte tenu des résultats déjà observés (Ménigaux, 1986 ; Viennot, 1989). Mais il est surprenant de constater que lorsque deux forces sont dessinées (apparemment bonne application de la loi des actions réciproques), ces deux forces agissent sur le même objet !

Concernant l'enseignement, L. Viennot préconise l'utilisation de schémas éclatés (c'est-à-dire de schémas où les objets en contact sont dessinés séparément afin que les forces en jeu soient appliquées sur le bon objet). L'avantage de ce type de schéma est clair : les étudiants sont en effet obligés de localiser chaque force sur un seul objet et d'associer, à toute force, son vis-à-vis qui, lui, se trouve localisé sur un autre objet (soit celui avec lequel il est en contact, soit celui avec lequel il est en interaction à distance). Ce dernier point paraît important car nous avons constaté que les étudiants brésiliens, à qui les enseignants ont introduit les schémas éclatés, mais sans les associer systématiquement à l'application de la loi des actions réciproques, et sans accompagner cette construction d'une analyse qualitative de la situation étudiée, ont répondu aux questionnaires, pour lesquels les schémas étaient éclatés, comme leurs collègues français et portugais.

Il ressort de ceci qu'il est important, semble-t-il, de bien indiquer sur quel objet agit chaque force, de faire une analyse physique de la situation et d'insister sur la loi des actions réciproques en traçant toujours des forces mariées, c'est-à-dire en cherchant systématiquement le partenaire ou le vis-à-vis de chaque force solitaire. Ceci suppose que les promoteurs de programmes fixent des objectifs pédagogiques clairs par rapport aux difficultés soulevées ici.

Un mot enfin sur l'aspect «changements de référentiels». En France, les promoteurs de programmes ont l'habitude de dire (et d'écrire) qu'il «*faut faire sentir aux étudiants la nécessité de se placer dans un référentiel*». En fait, cette nécessité est souvent comprise comme une obligation, voire un «dada» d'enseignant, sans qu'aucune expérience ou contre-expérience puisse permettre de saisir cette nécessité. Il se trouve qu'ici, la force de frottement cinétique est de sens opposé à celui d'un mouvement relatif, et que cette force a une réalité physique assez forte puisque, dans les exemples étudiés, c'est elle et elle seule qui permet de rendre compte du mouvement, dans un référentiel donné, de l'objet. Nous voudrions plaider en faveur de l'introduction des forces de frottement solide en étudiant dans différentes situations le sens de cette force, ce qui devrait aider à prendre conscience de la nécessité de savoir dans quel référentiel on raisonne.

5. CONCLUSION

Cette étude sur les modes de raisonnement montre qu'il existe encore des domaines de la physique pour lesquels nous ne connaissons pas très bien les façons dont les étudiants raisonnent. Sur ce thème, il reste encore beaucoup à faire : interroger des élèves plus jeunes n'ayant encore reçu aucun enseignement de physique et voir si on retrouve des germes de ces raisonnements, étudier l'aspect historique de la question, avoir plus d'informations sur l'effet dessous-dessus, chercher s'il existe d'autres situations physiques que celles étudiées ici pour lesquelles la cause du mouvement d'un objet n'est pas dynamique. En particulier, il s'agit de voir si de tels raisonnements se rencontrent uniquement avec des situations physiques de frottement, ou si on en trouve aussi dans des situations où interviennent des forces de liaison.

Les raisonnements décrits ici sont largement partagés par une population très variée : c'est, nous semble-t-il, un argument pour que soient prises en compte dans l'enseignement toutes ces difficultés. Par ailleurs, l'analyse de manuels réalisée à l'occasion de cette étude (Caldas, 1994) montre que leurs auteurs ne prêtent guère attention à ces raisonnements et bien souvent participent à renforcer leur existence. Espérons que ce type de travail enrichira la réflexion que mènent tous les pays sur les objectifs de l'enseignement.

BIBLIOGRAPHIE

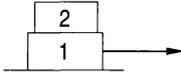
- ALONSO M. & FINN E.J. (1970). *Physique générale, Tome 1*. Montréal, Éditions du Renouveau Pédagogique.
- BAUMBERGER T., RONSIN O., HESLOT F. & PERRIN B. (1994). Dynamique du frottement solide : un système modèle. *Bulletin de la Société Française de Physique*, n° 94, pp. 3-6.
- BAUMBERGER T., HESLOT F. & PERRIN B. (1994). Crossover from creep to inertial motion in friction dynamics. *Nature*, vol. 367, pp. 544-546.
- CALDAS H. (1994). *Le frottement solide sec : le frottement de glissement et de non glissement. Étude des difficultés des étudiants et analyse de manuels*. Thèse, Université Paris 7.
- LAWN N. (1990). *Eliciting and understanding commonsens reasoning about motion*. PhD Thesis, University of London.
- LE BELLAC M. (1985). *Introduction à la mécanique*. Paris, Belin.
- McDERMOTT L.C. (1984). Research on conceptuel understanding in mechanics. *Physics Today*, n° 37, pp. 24-32.
- MÉNIGAUX J. (1986). La schématisation des interactions en classe de Troisième. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 683, pp. 761-778.
- OGBORN J. (1993). Approches théorique et empirique de la causalité. *Didaskalia*, n° 1, pp. 29-47.
- OGBORN J. & GUTTERIEZ R. (1992). A causal framework for analysing alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, vol. 14, n° 2, pp. 201-220.
- RESNICK R. & HALLIDAY D. (1979). *Mécanique Physique 1*. Ottawa, Éditions du Renouveau Pédagogique.
- ROZIER S. (1988). *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire*. Thèse, Université Paris 7.
- SALTIEL É. & MALGRANGE J.-L. (1980). Spontaneous ways of reasoning in elementary mechanics. *European Journal of Physics*, vol. 1, pp. 73-80.
- VIENNOT L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris, Hermann.
- VIENNOT L. (1989). Bilan des forces et loi des actions réciproques. Analyse des difficultés des élèves et les enjeux didactiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 951-969.

REMERCIEMENTS

Nous voudrions remercier B. Perrin pour la lecture attentive et critique de cet article ainsi que tous les collègues qui ont accepté de passer des questionnaires.

ANNEXE

Questionnaire A₁



Un bloc de masse m_2 repose sur un bloc de masse m_1 , le tout reposant sur une table horizontale. On exerce une force F constante sur l'un des blocs et on constate que les blocs se déplacent l'un par rapport à l'autre. Il existe un frottement entre les deux blocs. Le coefficient de frottement qui correspond au contact table, bloc qui repose dessus est supposé négligeable.

Questions :

- 1 – Dessiner sur le schéma les forces auxquelles sont soumis les deux blocs.
- 2 – La force de frottement sur le bloc de masse m_1 s'oppose-t-elle ou non au mouvement de ce bloc ? Justifiez votre réponse.
- 3 – La force de frottement sur le bloc de masse m_2 s'oppose-t-elle ou non au mouvement de ce bloc ? Justifiez votre réponse.
- 4 – On augmente le coefficient de frottement entre m_1 et m_2 . Cela va-t-il changer le mouvement du bloc de masse m_2 , celui du bloc de masse m_1 ? Justifiez votre réponse.

La transposition didactique, pivot d'une analyse de situation professionnelle utilisée comme situation d'enseignement

Jacqueline FORESTIER

Équipe interdisciplinaire EVL et COAST
École Vétérinaire de Lyon
1, avenue Bourgelat
69280 Marcy l'Étoile, France.

Andrée TIBERGHEN

CNRS-IRPEACS, Équipe COAST
École Normale Supérieure de Lyon
46, allée d'Italie
69364 Lyon cedex 07, France.

Philippe SABATIER

Département de Zootechnie, Économie
de l'élevage et Bioinformatique
École Vétérinaire de Lyon
69280 Marcy l'Étoile, France.

Résumé

Cet article présente l'analyse d'une innovation en vue de sa possible insertion dans le système éducatif. Cette innovation, menée dans la formation agricole au niveau BTS, comporte l'introduction d'un système expert d'aide au diagnostic des maladies du porcelet, construit par et pour des professionnels et dont l'utilisation nécessite la visite d'un élevage sur motif d'appel. Ce nouvel enseignement

nécessite la mise en œuvre par l'enseignant de savoirs théorique et pratique pluridisciplinaires avec en toile de fond la référence à une pratique professionnelle. Si notre expérience a montré la faisabilité de l'innovation, notre analyse, menée dans le cadre théorique de l'écologie des savoirs élaboré à partir des travaux sur la transposition didactique, a montré deux difficultés majeures pour l'insertion de cette innovation dans le système éducatif : d'une part l'interdisciplinarité, d'autre part une modification du contrat didactique.

Mots clés : *formation professionnelle, innovation, écopathologie, écologie des savoirs.*

Abstract

This paper presents an analysis of an innovation in agricultural training focussing on its possible insertion in the educational system. This innovation is at the «BTS» level, and deals with the introduction of an expert system to help in diagnosing illness in piglets ; it has been built by and for professionals and its use needs visiting the breeding grounds. In this innovation, the teacher must make use of interdisciplinary theoretical and practical knowledge and should choose one amongst several professional practices as a reference. Our experiment shows the feasibility of this innovation but our analysis, based on the theoretical framework of the «ecology of knowledge» built from work on didactical transposition, shows two major difficulties in inserting this innovation in the curriculum : in one hand, its interdisciplinarity nature, in the other hand, a modification of the didactic contract.

Key words : *professional training, innovation, ecopathology, ecology of knowledge.*

Resumen

Este artículo presenta el análisis de una innovación en vista de su posible inserción dentro del sistema educativo. Esta innovación, llevada a efecto en la formación agrícola a nivel «BTS», comporta la introducción de un sistema experto de ayuda al diagnóstico de las enfermedades del lechón. El es construido por y para los profesionales y su utilización necesita la visita a una ganadería con motivo de llamada. Esta nueva enseñanza necesita la puesta en marcha por parte del profesor de saberes teóricos y prácticos pluridisciplinarios y debería seleccionar una práctica profesional como referencia. Si nuestra experiencia ha mostrado la factibilidad de la innovación, nuestro análisis, realizado dentro del marco teórico de la ecología de saberes construido a partir de los trabajos sobre la transposición didáctica, ha mostrado dos dificultades mayores de la inserción de esta innovación, de una parte la interdisciplinaridad, por otra parte, una modificación del contrato didáctico.

Palabras claves : *formación profesional, innovación, ecopatología, ecología de saberes.*

Cet article présente une recherche menée sur une innovation. Pourquoi ce double niveau ? Actuellement, après plusieurs dizaines d'années d'innovations, on s'aperçoit que nombre d'entre elles «meurent». Or viser l'amélioration de l'enseignement ne se limite pas à construire de nouveaux contenus et méthodes d'enseignement ; il s'agit également de permettre à des nouveautés d'être reprises par une majorité des acteurs du système d'enseignement ou de formation concerné. C'est un aspect crucial du transfert des résultats de recherche (Lijnse, 1994). Le travail présenté ici concerne cette question : la possible pérennisation d'une innovation dans l'enseignement agricole.

Dans cet article, nous présenterons tout d'abord l'innovation puis le cadre théorique de la recherche que nous avons choisi pour étudier cette innovation, une analyse *a priori* et les résultats.

L'innovation se traduisant par une démarche d'enseignement, nous l'appellerons innovation, ou démarche innovante, ou encore démarche d'enseignement, suivant le contexte.

1. PRÉSENTATION DE L'INNOVATION

L'innovation a consisté à introduire une activité de résolution de problème de type professionnel, en incluant l'usage d'un outil informatique professionnel (système expert), dans la formation initiale de techniciens supérieurs spécialisés en élevage (BTS-PA¹). Il s'agit d'un système expert d'aide au diagnostic des maladies du porcelet ; cet outil a été construit dans une unité de recherche de l'enseignement supérieur (EVL-UBI²) en collaboration avec l'INRA³, dans le but de faciliter les activités de mobilisation et d'échange des savoirs face aux «cas» sur le terrain.

1.1. Contexte

Le contexte dans lequel nous avons fait notre proposition d'innovation était marqué par les aspects suivants.

Dans cette formation, instituée dès 1971, l'enseignement de la santé animale était devenu progressivement inexistant et ce domaine de connaissances restait non évalué au niveau de l'examen. De ce fait, le contenu de l'enseignement ne prenait pas en compte les pratiques

-
- 1 Brevet de Technicien Supérieur en Production Animale
 - 2 École Vétérinaire de Lyon - Unité Bioinformatique
 - 3 Institut National de la Recherche Agronomique

professionnelles de terrain (80 % des troubles d'élevage étant pourtant pris en charge précisément par des techniciens-conseillers).

Enfin, au-delà de cette situation de fait, cette innovation s'est trouvée liée conjoncturellement mais secondairement à la rénovation de la formation des techniciens supérieurs en production animale (BTS-PA), ce qui ne pouvait laisser indifférents les enseignants.

La commission officielle de rénovation des programmes⁴ en BTS-PA créée en 1990-91 par le Ministère de l'Agriculture comprenait, outre des institutionnels, des représentants professionnels et scientifiques. Elle a élaboré, dans ses premiers travaux, le référentiel des métiers de techniciens en élevage (officiellement paru en 1993), avant de s'intéresser au contenu des nouveaux programmes de BTS-PA.

En ce qui concerne l'innovation elle-même, l'inspection pédagogique de zootechnie a apporté sa caution à l'expérimentation, en proposant des lycées agricoles et en désignant des enseignants susceptibles de travailler avec nous. L'inspection pédagogique a aussi entériné les savoirs écopathologiques en jeu comme savoirs à enseigner. De plus, elle est intervenue constamment en interface entre l'enseignement pratiqué et les instances décisionnelles qui proposent les rénovations des formations dans le système éducatif agricole.

Nous avons exclu de faire nous-mêmes des démonstrations de faisabilité dans des classes d'emprunt ou d'imposer une leçon modèle. Nous avons voulu donner aux enseignants le statut de partenaires, et non d'exécutants.

1.2. Contenu

La démarche innovante proposée se situe entre activité scolaire et activité de stage. Elle mobilise une situation professionnelle comme situation d'enseignement, à savoir une visite d'élevage intensif faite sur motif sanitaire (énoncé par l'éleveur généralement) pour trouver des solutions à des troubles en élevage de porcelets. Ainsi il s'agit d'aborder des problèmes réels en milieu professionnel, sur le temps d'enseignement.

Cette innovation propose trois types d'activités : visite d'élevage sur un motif sanitaire d'appel et conduite d'un raisonnement hypothétique, consultation (par minitel) du système expert sur un motif sanitaire donné, échange et communication des savoirs en situation professionnelle. Au-

4 Cette commission est composée de : membres de l'INRA, INSERM, syndicats, DGAL, DGER, Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur, formateurs, écoles d'ingénieurs et vétérinaires, firmes-service, instituts.

dela, les enseignants restent maîtres de l'organisation et de la conduite de leur démarche d'enseignement.

Nos activités essentielles ont donc consisté à proposer un accompagnement pour les enseignants volontaires : mise à disposition d'un contenu manipulable en l'arrimant aux savoirs disciplinaires et en l'incluant dans une démarche structurée avec des outils comme le système expert, organisation de journées de formation ou de réflexion, assistance téléphonique pour usage sur minitel du serveur, sans oublier les contacts avec les décideurs institutionnels en vue d'obtenir leur adhésion, et avec les professionnels pour comprendre les problèmes de terrain.

Voici quelques renseignements concernant l'expérimentation, qui s'est déroulée sur deux années scolaires (1991-92, 1992-93).

Nature	Nombre
Lycées agricoles	5
Types de formation	3 (BTA ⁵ ; BTS-PA ; BTS-ACSE ⁶)
Enseignants volontaires	9 (8 zootechniciens, 1 vétérinaire)
Nombre de classes	5
Nombre d'élèves	75

D'autres enseignants faisant partie des équipes pédagogiques ont participé à certaines réunions dans les établissements, en particulier des enseignants de biologie et d'économie, mais leur collaboration suivie n'a pas été possible.

Sur les conseils des inspecteurs pédagogiques, l'innovation a été proposée dans le cursus BTS ; certains enseignants, qui formaient aussi en BTA, ont choisi de l'élargir à cette formation.

Notons que les techniciens qui interviennent en élevage ont soit un niveau de formation de type Baccalauréat (BTA), soit un niveau de type Bac+2 (BTS).

1.3. Perspectives

L'outil, conçu pour des professionnels de terrain en tant que système expert d'aide au diagnostic, a été introduit dans une démarche d'enseignement en formation initiale avec trois perspectives.

5 Brevet de Technicien Agricole (niveau équivalent du Baccalauréat)

6 Brevet de Technicien Supérieur Analyse et Conduite des Systèmes d'Exploitation

– Aborder autrement la relation école-profession ; en effet, une relation école-profession n'est possible que sur la base du partenariat, avec la maîtrise commune d'une «culture d'entreprise». Celle-ci est «*plus qu'un ensemble de savoirs mais un rapport singulier au monde*» (Charlot & Weber, 1992) ; la transmission des connaissances disciplinaires organisées en système discursif ne peut suffire. Le *Rapport 1993 du Plan sur l'Éducation et la Formation* a énoncé un objectif à atteindre : «*mieux assurer la liaison entre apprentissages formels et apprentissage technique*» (Foucault et al., 1993). Mais cette coopération, comme nous le verrons, impose des **adaptations réciproques**, en particulier une adaptation des pratiques des enseignants vis-à-vis des jeunes.

– Introduire une activité de résolution de problème à partir d'une situation de terrain avec mobilisation de savoirs théoriques et de pratiques professionnelles ; en effet, le diagnostic multifactoriel en élevage intensif s'élabore dans une situation de résolution de problème. Il renvoie à des savoirs écopathologiques qui sont à la fois des savoirs scientifiques, essentiellement d'ordre biologique, et des savoirs techniques (Marzin, 1994). Dans cette démarche innovante, nous proposons à des novices une activité diagnostique sur le terrain, à compléter par la consultation du système expert sur les troubles du porcelet. Cette consultation nécessite à la fois de comprendre la situation particulière grâce aux données recueillies, et de se confronter avec le raisonnement de l'expert, transcrit dans la machine : ce va-et-vient doit permettre de construire un savoir à partir des pratiques professionnelles et de réactiver des connaissances ou de chercher à les compléter. Il s'agit ici d'une préparation à cette nécessaire «trituration» des savoirs sur le terrain, en liaison avec les pratiques professionnelles et les points de vue selon lesquels les problèmes sont étudiés.

– Pratiquer autrement la communication des savoirs en intégrant outil et partenaires. Ce système expert d'aide au diagnostic impose, en première question, le choix d'un motif dit d'appel, qui correspond à l'énoncé d'un problème (diarrhée, hétérogénéité des poids, mortalité, troubles respiratoires). Ce choix canalise le raisonnement de la machine en vue de l'objectivation de ce motif. L'outil procède par questionnements successifs qui s'autodéfinissent en fonction des réponses fournies. L'utilisateur est donc confronté au raisonnement structuré d'un expert. Les résultats affichés valident ou non le motif d'appel, renvoient à des facteurs de désordre existant dans l'élevage étudié et pouvant faire l'objet d'une amélioration éventuelle.

Conçu par des professionnels, pour des professionnels, il a été validé par des professionnels sur des cas en élevage mais il ne conserve sa validité que par son usage sur le terrain, ce qui explique les relations tissées avec la profession. Ce dernier point le différencie des outils informatiques généralement utilisés dans l'enseignement.

2. CADRE THÉORIQUE ET PROBLÉMATIQUE DE LA RECHERCHE

Nous sommes partis de l'hypothèse générale que **les savoirs, leur fonctionnement et les rapports que les professeurs, élèves, professionnels ont avec ces savoirs, dépendent des situations** dans lesquelles ils sont en œuvre. Cette hypothèse se situe dans l'approche théorique de l'écologie des savoirs construite à partir des travaux sur la transposition didactique (Chevallard, 1991).

Cette métaphore de l'écologie amène à considérer que cette innovation, avec une ouverture sur une situation professionnelle, va introduire des modifications sur l'ensemble du système d'enseignement, y compris les savoirs en jeu. Ainsi d'une part la sous-population des acteurs directs (élèves, administratifs, enseignants, parents, agents techniques et de service) et d'autre part celle des acteurs de proximité (sociétés savantes, organisations professionnelles ou autres) forment différents groupes liés par de nombreux types d'interrelations (compétition, coopération, neutralisme, amensalisme) (Duvigneaud, 1980). Chaque individu d'une sous-population occupe une « niche écologique » ; de nombreuses régulations et procédures d'auto-organisation permettent à chacun de cohabiter tout en défendant son « territoire », ce qui maintient le système dans un certain état d'équilibre et en assure la pérennité. Ceci nous conduit à prendre en considération les modifications des liens entre les acteurs du système éducatif du fait de l'innovation, liens qui vont influencer le fonctionnement des savoirs et inversement.

2.1. Modifications de l'écologie du système éducatif

La modification des liens entre les différents acteurs peut s'envisager principalement de deux points de vue, l'un relatif à l'environnement immédiat de l'activité d'enseignement, et l'autre relatif aux acteurs plus éloignés.

2.1.1. Liens entre acteurs directement impliqués dans l'activité d'enseignement

Dans la démarche innovante, les savoirs en jeu sont essentiellement des savoirs écopathologiques utilisés dans les situations d'élevage intensif, dont ceux introduits dans la base de connaissances du système expert. Dans les situations d'élevage que peut traiter le système expert, des professionnels interviennent, en particulier l'éleveur qui est celui ayant le plus de connaissances sur son élevage (histoire, résultats, documents, suivi quotidien, interventions, amélioration).

La situation d'enseignement en jeu dans la démarche devient donc différente de la plupart de celles de l'enseignement «traditionnel». **La nature même du savoir à enseigner et le contrat didactique sont modifiés.** Le savoir à enseigner n'est plus décontextualisé et officialisé (Chevallard, 1991), mais comme nous l'avons vu, il est fortement lié à la situation particulière de l'élevage étudié. L'enseignant, dans ce cas, n'est plus celui qui «sait» le plus ; un changement de modèle, en particulier une nouvelle répartition des rôles entre enseignant, éleveur, élèves est prévisible.

Aller dans un élevage extérieur au lycée suppose, pour l'enseignant, la création de nouveaux liens avec les autres enseignants, car les savoirs écopathologiques sont interdisciplinaires, mais aussi avec les acteurs de l'exploitation annexée qui a mission d'enseignement, de recherche appliquée, de développement agricole. Une caution administrative paraît nécessaire pour la mise en œuvre de cette activité (emploi du temps, transport, usage du minitel...). Du fait qu'il s'agit d'une innovation, objet de recherche, qui inclut l'usage d'un outil conçu par des organismes scientifiques, des liens plus étroits entre chercheurs et acteurs de l'enseignement sont générés. Nous avons déjà cité le rôle des inspecteurs pédagogiques.

2.1.2. Liens dans un système éducatif élargi

Cette innovation, du fait qu'elle met en jeu un outil de professionnel conçu par des organismes scientifiques, crée des liens nouveaux entre le système éducatif et les organismes professionnels et scientifiques. Il y aura de nouvelles régulations entre les acteurs ; nous considérons en particulier (voir tableau 1) :

- les liens nouveaux avec les professionnels,
- l'ouverture d'un nouveau canal de communication entre enseignants et décideurs du système éducatif, en particulier la commission des programmes pour les propositions d'actions de rénovation, par l'intermédiaire du groupe de recherche,
- les liens entre enseignement et recherche agronomique (mise à proximité de savoirs fondamentaux, transposition à l'enseignement).

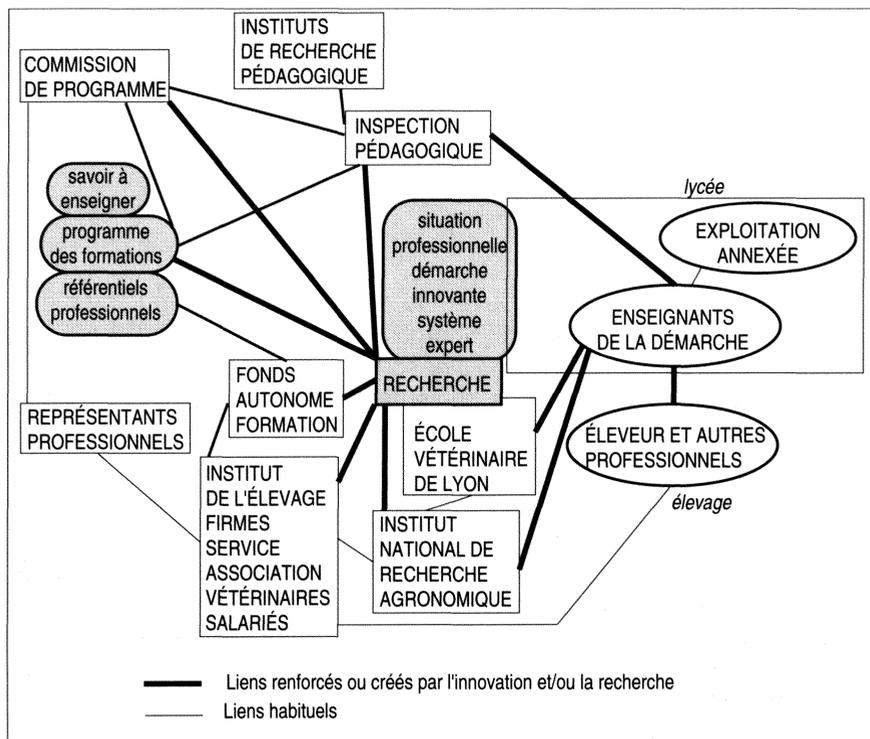


Tableau 1 : Une possible écologie du système scolaire élargi dans le cadre de la recherche

2.2. Choix de la « niche » étudiée : l'enseignant et la situation d'enseignement

La création ou la modification de certains liens peuvent remettre en cause l'équilibre du système éducatif (tableau 1). Il n'était bien sûr pas possible d'étudier l'ensemble de ces perturbations, nous avons dû faire un choix. Contrairement à l'étude directe d'une innovation, où très souvent l'objet de recherche est l'évolution des connaissances des élèves en relation avec le contenu et/ou la méthode d'enseignement, notre cadre théorique centré sur « l'écologie » du système nous amène à sélectionner une « niche » pour laquelle les liens avec les autres sont *a priori* assez profondément modifiés. C'est le cas de la niche « enseignants de la démarche ». Nous avons donc centré notre étude sur des points-clés du fonctionnement des savoirs associés aux activités de l'enseignant. Ces points, du fait de notre cadre théorique, sont associés à la pérennité de l'innovation, il s'agit :

- de la légitimation des savoirs et de l'activité de l'enseignant,
- du fonctionnement des savoirs dans la démarche innovante et dans les outils qui y sont associés (système expert),
- de la gestion, par l'enseignant, de la situation d'enseignement.

3. MÉTHODOLOGIE POUR LA RECHERCHE

En didactique, nous n'avons trouvé que peu de points d'appui dans des travaux de recherche antérieurs (Tiberghien et al., 1994) pour l'étude des réactions écologiques du système d'enseignement face à une innovation. C'est pour cela que nous avons choisi la méthode de l'analyse *a priori* fortement inspirée de celle proposée par des sociologues (Crozier & Friedberg, 1977) et reprise ensuite par des didacticiens (Brousseau, 1986 ; Artigues, 1990 ; Johsua, 1993). Pour présenter cette analyse, nous nous référons directement à Crozier & Friedberg :

«Obligée de reconnaître et d'assumer la contingence irréductible du phénomène qu'elle cherche à étudier, l'analyse stratégique [analyse a priori] ne peut qu'adopter une démarche hypothético-inductive par laquelle elle constitue et cerne son objet d'études par étapes successives à travers l'observation, la comparaison et l'interprétation des multiples processus d'interaction et d'échange qui composent la toile de fond de la vie à l'intérieur du système d'action qu'elle cherche à analyser... (p. 393)

Il n'y a pas de one best way, ni, à plus forte raison, une rationalité extérieure au champ qu'il [le chercheur] puisse reprendre à son compte comme allant de soi. Car il s'agit pour lui non pas d'évaluer, voire de critiquer, les pratiques observées, mais de les comprendre. Si aberrants, contradictoires et dépourvus de sens qu'ils lui paraissent de prime abord, il sait – c'est là le postulat heuristique de base qui commande toute sa démarche – que tous les phénomènes qu'il observe ont un sens et correspondent à une rationalité à partir du moment où ils existent... (p. 395)

C'est en découvrant cette signification «subjective» des comportements des acteurs qu'il [le chercheur] réussira à mettre en évidence des éléments souvent clefs, et nullement évidents au départ, de la structuration «objective» du champ... (pp. 395-396)

Les critères nécessaires à cette discrimination dans l'analyse, c'est le chercheur lui-même qui se les donne consciemment à travers ce qu'on pourrait appeler un raisonnement sur les écarts. Le principe en est simple. Il consiste pour lui à se servir à tout moment, et de façon plus ou moins formalisée selon les phases de sa recherche, des données

descriptives dont il dispose sur son champ pour formuler une série d'hypothèses sur ce qui devrait se passer, si tout se passait «normalement», c'est-à-dire conformément à la logique et à la «rationalité» qu'il a suivies pour élaborer ses hypothèses. En confrontant ensuite celles-ci à la réalité des pratiques telles qu'il peut les observer, il découvrira toute une série d'anomalies ou d'écarts, c'est-à-dire des conduites et processus qui ne semblent pas obéir aux normes rationnelles qu'il s'est lui-même données à travers ces hypothèses.» (p. 396)

Ce choix méthodologique implique de récolter des données très variées dans les lieux et dans le temps, de façon à comprendre le fonctionnement des acteurs et des institutions (voir tableau 2). Par exemple, la recherche s'étend à d'autres lieux que ceux du système éducatif (inspection, autres services ministériels) et d'autres institutions, par exemple organismes scientifiques ou institutions professionnelles. Les données recueillies ont été utilisées pour vérifier les hypothèses de l'analyse *a priori* et révéler les éventuels écarts. De ce fait, nous avons d'emblée pris, dans les données recueillies, les éléments relatifs à ces hypothèses.

Nous nous sommes éloignés de la méthode classique en didactique qui consiste à prendre les données par étapes, avant, pendant et en fin d'expérimentation. Dans ce travail, nous ne prétendons pas avoir mené une exploitation systématique de l'ensemble des données recueillies.

Points-clés de l'étude	Données recueillies
Légitimation des savoirs et de l'activité de l'enseignant	texte des programmes enquête préalable sur les pratiques entretiens avec personnalités institutionnelles discussions avec personnels d'entreprises questionnaires enseignants entretiens avec enseignants
Fonctionnement des savoirs dans la démarche innovante et dans les outils associés	questionnaires enseignants et élèves entreprises et référentiels professionnels traces informatiques
Gestion de la situation d'enseignement	questionnaires enseignants questionnaires élèves entretiens avec enseignants et autres partenaires, observation de stage
Pérennisation et institutionnalisation de la démarche	enquête préalable entretiens divers discussions avec personnels d'entreprises entretiens divers dont institutionnels

Tableau 2 : Points-clés de la recherche en relation avec les données recueillies

4. ANALYSE A PRIORI

Cette analyse vise à comprendre comment l'innovation peut être «digérée» par le système d'enseignement pour aboutir à une forme «régurgitée» permettant une pérennisation.

Nous nous sommes centrés sur les processus de manipulation des savoirs en jeu dans la pratique de terrain et l'intégration de ces savoirs aux savoirs disciplinaires. La conceptualisation de la pratique professionnelle mise en œuvre dans l'élevage constitue l'aspect de la transposition des savoirs que nous avons particulièrement étudié (Martinand, 1986 ; Develay, 1992). Les deux activités fondamentales de la démarche (visite d'élevage et consultation du système expert) nécessitent de mettre en œuvre différents types de savoirs et les **relations** entre eux. En ce qui concerne les savoirs disciplinaires sous-jacents aux savoirs écopathologiques, nous les avons trouvés inscrits dans la littérature scientifique, technique et scolaire, en vigueur dans des formations niveau Bac ou niveau Bac+2 (biologie, chimie, physique, zootechnie, phytotechnie et gestion technico-économique). De plus, la caution des inspecteurs nous a amenés à considérer que les savoirs liés à la démarche figuraient dans le «texte du savoir à enseigner». Cette démarche nécessite également de prendre en considération plusieurs points de vue correspondant à diverses pratiques professionnelles : éleveur, techniciens bâtiment, aliment, insémination artificielle, groupement, vétérinaire.

Dans cette analyse *a priori*, nous avons posé, par des conjectures, les éléments marquants de l'analyse de la situation à partir des points-clés choisis. Nous en présentons quatre à titre d'exemple et de manière très succincte ; elles sont développées en détail par ailleurs (Forestier, 1993).

4.1. Légitimation des savoirs dans l'activité de l'enseignant

En ce qui concerne la pérennisation d'une innovation, un point essentiel qui apparaît en prenant appui sur le concept de transposition didactique est celui de la légitimation des savoirs. Ce point est délicat ici car il s'agit d'un enseignement professionnel, pour lequel les sociétés savantes ne jouent pas le même rôle que dans l'enseignement général. Plusieurs types de savoirs sont à légitimer :

- les savoirs écopathologiques (savoirs issus de la recherche et des pratiques de terrain) par rapport au savoir à enseigner,
- les savoirs interdisciplinaires face aux disciplines scolaires,

– les savoirs des intervenants en élevage (l'éleveur par exemple) face au savoir de l'enseignant.

De plus, au-delà de cette légitimation, il y a aussi celle de l'activité de l'enseignant confronté à une situation professionnelle.

À partir de cette analyse, nous proposons la conjecture C1 suivante.

C1 – À condition d'aboutir à une légitimation des savoirs et de trouver un fonctionnement possible de ces savoirs dans la démarche, l'enseignant peut concevoir de gérer une visite d'élevage à partir d'un motif sanitaire, mettant en jeu des savoirs liés étroitement à un contexte et à des pratiques professionnels, ce qui est différent de la manipulation des savoirs dans la classe.

Nous considérons que la légitimation des savoirs pour l'enseignant relève de deux niveaux, les corps constitués (institutions savantes, professionnelles, d'enseignement) et les professionnels de terrain. L'intégration officielle de ces savoirs dans les programmes relatifs aux filières de production, nous semblait en fait acquise (Chevallard, 1991) ; par contre, une légitimation par la profession pour les savoirs mobilisés, et surtout pour l'activité même d'enseignement sur le terrain à propos des troubles d'élevage, nous paraissait indispensable, mais pas acquise d'emblée.

4.2. Fonctionnement des savoirs dans la démarche innovante et dans les outils

La mobilisation d'une situation professionnelle comme situation d'enseignement suppose que l'enseignant «sorte» des savoirs spécifiques à sa discipline, accepte une contextualisation et une imbrication interdisciplinaire des savoirs, et procède à une articulation des savoirs théoriques avec des pratiques de terrain.

Un travail de longue haleine, mettant en jeu toute l'équipe, a permis de disposer d'une analyse approfondie des savoirs et des savoir-faire liés aux pratiques professionnelles en jeu dans l'innovation⁷ (Marzin, 1993 ; Sabatier, 1990). De plus, l'analyse de contenu à laquelle nous nous sommes astreints, à partir de la base de connaissances du système expert, nous a permis d'aborder les rapports au savoir dans l'enseignement. Ainsi, il apparaît que les problèmes associés aux cas possibles à partir des motifs d'appel admettent plusieurs types de solutions (par exemple, médicament pour le porcelet, meilleure ventilation des bâtiments, ou amélioration de la

7 Un vétérinaire-conseil de groupements, T. Segreto, a participé à la constitution du système expert et à sa validation.

lactation de la truie) et que les concepts mobilisés appartiennent à diverses disciplines.

À partir de là, nous avons donc construit la conjecture C2 sur l'interdisciplinarité des savoirs mobilisés dans la résolution de problèmes sanitaires.

C2 – L'interdisciplinarité, qui est sous-jacente à la démarche, peut devenir réalité dans l'enseignement à condition qu'un travail de «dissection d'un cas» soit effectué entre enseignants de disciplines différentes.

En effet, comme concepteurs de l'innovation, nous avons considéré l'interdisciplinarité comme fondatrice, avec son corollaire, la nécessité d'un changement de contrat didactique.

4.3. Gestion de la situation d'enseignement

Le type d'activité proposé dans notre démarche d'innovation remet en cause un des fondements de l'organisation des savoirs dans le système d'enseignement, caractérisé par une séquentialisation de l'accès aux savoirs avec répartition inter et intra-disciplinaire des concepts et une chronologie assez stricte.

Ainsi, l'enseignant qui aborde le «concret» dans des situations professionnelles prend, dans ce cadre, un autre profil. Il devient un médiateur entre le monde du travail et le monde scolaire, entre savoirs et pratiques. Autrement dit, il se transforme en organisateur, voire en gestionnaire, puisqu'il doit donner une structure (partenaires et lieu), un contenu (thème, points de vue abordés, intervenants), une durée, un financement et une suite éventuelle à cette démarche. Mais il doit aussi devenir tuteur puisqu'il doit favoriser le déroulement et l'intégration de la démarche à l'ensemble de la formation (préparation, exploitation, ancrage des concepts mobilisés, évaluation), **sans être véritablement celui qui sait dans ce domaine**. Ce changement de rôle ne peut se faire sans répercussion sur l'ensemble du système d'enseignement.

De plus, l'enseignant, s'il conduit la visite, peut s'identifier à un vétérinaire-biologiste, à un zootechnicien-technicien de différentes spécialités (insémination, bâtiments, alimentation), à un économiste, en fonction de la discipline enseignée, de ses activités passées, de ce qu'il peut considérer comme le plus important pour les élèves. S'il donne de l'autonomie à l'élève dans sa quête de données, il peut proposer à celui-ci de fonctionner comme éleveur ou comme différents techniciens. Ces prises de rôles sont liées à des mobilisations de pratiques et de savoirs différents,

ce qui renvoie à des choix de pratiques sociales de référence (Martinand, 1986) et à une gestion explicite, ainsi qu'à la révision du contrat didactique avec son extension, la possibilité de dévolution d'une partie du problème aux différents partenaires (Brousseau, 1986).

Nous avons donc posé la conjecture C3 :

C3 – La mise en œuvre de la visite d'élevage sur un motif sanitaire suppose de la part de l'enseignant le choix d'une pratique sociale de référence. Ce choix peut rester du domaine de l'implicite, mais de lui dépendent la conduite de la séquence, les consignes données aux élèves, les savoirs en jeu, donc les attentes des différents partenaires.

4.4. Pérennisation et institutionnalisation de la démarche

De notre travail sur l'écologie du système éducatif à partir des points-clés que nous nous sommes donnés à étudier, il apparaît que plusieurs conditions sont nécessaires à la pérennisation de l'innovation :

– proposition de nouvelles structurations des savoirs mobilisés pour qu'ils soient gérables face aux contraintes de la situation professionnelle étudiée et à celles du système d'enseignement ouvert sur la profession (nouveau modèle) ;

– convergence du nouveau modèle didactique proposé (Hadjji, 1991) avec les orientations de l'enseignement retenues par les décideurs, en particulier par un rapprochement incontestable des nouveaux objets d'enseignement avec les référentiels des métiers ;

– intégration d'un changement de rôle dans la pratique de l'enseignant (voir précédemment). L'autorisation que l'enseignant peut s'accorder ne dépend pas uniquement de lui-même. Elle requiert aussi l'assentiment de certains partenaires de l'établissement, les autres enseignants de la filière, les élèves, l'administration locale mais aussi les parents et les autorités de tutelle, en particulier les inspecteurs. Ceci montre bien la liaison innovation-écologie du système éducatif ;

– modalités de maintien de relations plus suivies entre profession et système d'enseignement.

Dans cette perspective nous proposons la conjecture C4 :

C4 – L'ancrage de la démarche dans la pratique de l'enseignant nécessite des changements importants en ce qui concerne les points d'appui pour les savoirs, mais aussi les modalités d'enseignement et le contrat didactique.

5. LES DONNÉES RECUEILLIES

Les données recueillies sont présentées dans le tableau 3.

Nature	Nombre
Questionnaires enseignants	8
Questionnaires élèves	58
Enquête préalable pratiques enseignantes	20
Entretiens enseignants	6
Entretien éleveur (lieu de démarche)	1
Entretien responsable exploitation lycée	1
Entretiens institutionnels	2
Réunions bilans	4
Réunions équipe d'entreprise	5
Réunions professionnels	3
Réunions inspecteurs	4
Dossiers spontanés donnés par enseignants sur démarche	4

Tableau 3 : **Données recueillies**

Nous précisons ici l'architecture des questionnaires dans la mesure où elle est le résultat du travail d'analyse *a priori*.

Le questionnaire «pour l'enseignant» (voir annexe) comportait essentiellement des questions ouvertes. Les cinq premières questions portaient sur l'insertion de la démarche dans la progression, les objectifs poursuivis, les étapes, les consignes ; les quatre suivantes sur l'activité d'observation effectuée par les élèves au cours de la démarche : objet de l'observation et pratique, usages et intérêt de l'observation effectuée, obstacles rencontrés, intérêt de la visite d'élevage. Puis douze questions concernaient l'activité d'enseignement en situation de terrain et avec le système expert : le problème sanitaire et son énoncé, les activités des élèves dans la démarche, résolution de problème et visite d'atelier, diagnostic d'élevage, rôle du système expert dans cette activité, compatibilité du système expert et de la démarche de l'enseignant, gestion des savoirs face au système expert, suite envisagée pour la démarche, modifications à effectuer pour les suivantes.

Le questionnaire «pour l'élève ou l'étudiant» était divisé en deux parties. La première concernait la visite d'atelier, et comportait sept questions, qui avaient pour thème le parcours, les indicateurs retenus, l'objectif de la visite, les difficultés à observer, l'énoncé d'un diagnostic. La deuxième partie, en huit questions, interrogeait sur la consultation du système expert, ses modalités, son motif, le vécu des questions du système expert, les indices non demandés, les résultats, les connaissances à acquérir, l'intérêt suscité.

Ces deux questionnaires permettaient d'avoir des points de vue croisés.

La plupart des réunions ont donné lieu à des comptes rendus, certaines à des enregistrements et transcriptions écrites comme les entretiens individuels.

Rappelons que nous avons choisi une méthode d'analyse de cas et donc qualitative, centrée, selon notre problématique, sur les enseignants. Notre analyse *a posteriori* et les écarts sont construits à partir de **l'ensemble des données** et non pas seulement des questionnaires (tableau 3) ; de ce fait, pour chaque proposition, nous précisons l'origine des données permettant de l'établir et le nombre d'enseignants concernés.

6. ANALYSE A POSTERIORI

L'analyse *a posteriori* des données a été réalisée à partir des conjectures émises dans l'analyse *a priori* et en référence aux points-clés élaborés dans le cadre théorique.

6.1. Quelques résultats

6.1.1. *Légitimation des savoirs et de l'activité de l'enseignant*

Les questionnaires révèlent une absence de préoccupation des enseignants vis-à-vis de la justification des savoirs à enseigner ; ainsi, les programmes ne sont pas évoqués. Les entretiens ont permis de faire émerger un certain nombre d'éléments d'explication :

- habitude à changer de programme dans l'enseignement agricole, latitude acquise de fait par l'enseignant à se détacher des programmes ;
- reconnaissance de l'expérimentation par les autorités de tutelle ;
- caution apportée par l'École Vétérinaire de Lyon et par l'INRA ;
- nécessité d'utiliser ces savoirs pour l'activité de terrain.

Des questionnaires et entretiens, il apparaît que, face aux réticences exprimées à tous les niveaux par les professionnels vétérinaires (services vétérinaires, association professionnelle de vétérinaires, enseignants de l'EVL), les enseignants ont :

- pris des contacts avec les services vétérinaires départementaux, directement ou par l'intermédiaire de leur chef administratif (deux enseignants) ;
- recherché des collaborations avec des représentants des groupements de producteurs (trois enseignants) ;
- choisi de visiter l'élevage des présidents du groupement porcin local (deux enseignants).

En ce qui concerne la légitimation de l'activité de l'enseignant par l'équipe pédagogique à laquelle il appartient, notre observation et les entretiens montrent que :

- les trois enseignants qui n'ont pu s'impliquer dans la démarche ou se sont arrêtés au bout d'un an n'enseignaient pas la pathologie générale ou n'intervenaient plus dans la filière porcine ;
- il n'y a pas eu d'intervention d'enseignants de biologie même pour ceux sollicités car, dans le système scolaire agricole, l'élevage est le fief du zootechnicien, et la biologie dont relèvent pourtant les savoirs écopathologiques est plutôt du domaine de l'enseignement général.

6.1.2. Fonctionnement des savoirs

En ce qui concerne le choix d'une pratique sociale de référence, notre observation et les entretiens montrent que :

- deux enseignants ont choisi de jouer le rôle de vétérinaire ;
- cinq se sont placés dans le cadre d'une démarche de technicien-conseil ;
- deux n'ont pas fait de choix de pratique de référence pour eux-mêmes mais, en déléguant la conduite de la démarche à des professionnels, ont fait des choix pour leurs élèves.

Le choix est lié pour partie à la formation de l'enseignant et à sa pratique du milieu agricole.

En ce qui concerne l'insertion de la démarche dans la progression pédagogique, les choix de l'enseignant ont été dictés par un certain nombre d'interrogations ; nous en reprendrons deux portant sur :

– la durée à accorder à la démarche : de 6 à 7 heures pour deux enseignants, de 12 à 22 heures pour quatre enseignants ;

– la finalité à accorder à la démarche, application ou construction d'un raisonnement. Selon la finalité choisie, l'insertion de cette démarche dans l'enseignement habituel du professeur a eu lieu à des moments différents de l'enseignement. Ainsi, pour deux enseignants, il s'agit d'une application et donc cette démarche est introduite en fin d'enseignement ; pour un autre enseignant, la finalité porte sur la construction d'un raisonnement, dans ce cas la démarche conduit à un enseignement par résolution de problèmes servant d'introduction à toute la pathologie. Pour un autre enseignant, la visite sert à introduire la démarche, puis une ou deux autres visites et des consultations du système expert espacées dans la formation permettent des allers et retours sur la conduite d'un raisonnement en situation sanitaire. Enfin, pour deux enseignants, la démarche sert à explorer les acquis d'un stage en élevage porcin avec la construction d'un questionnaire *a priori* par les élèves, qui affineront leur raisonnement, après visite, par la confrontation avec le système expert.

En ce qui concerne la mise en situation de résolution de problèmes, deux modes ont été choisis :

– la découverte d'élevage sur le thème du sanitaire (deux enseignants) ;
– l'analyse d'un problème sanitaire : a) par l'enseignant dans trois situations (trois enseignants) ; b) par les élèves (deux enseignants) ; c) par des professionnels (deux enseignants).

D'autres choix sont intervenus, concernant en particulier la place à accorder à l'outil.

6.2. Vérification des hypothèses et écarts

Du point de vue de la légitimation des savoirs et de l'activité de l'enseignant, nos résultats montrent que la légitimation des savoirs à enseigner n'a pas déterminé de préoccupation forte de la part des enseignants. Aussi nous concluons de la manière suivante.

R1 – La légitimation des savoirs à mobiliser peut être considérée comme acquise de fait par les enseignants et suffisante pour leur direction administrative, dans la mesure où des niveaux hiérarchiques identifiables (inspection, École Vétérinaire, INRA...) ont apporté leur caution.

Par contre, les résultats indiquent que **pour l'enseignant il a été nécessaire de rechercher une légitimation de son activité diagnostique auprès des professionnels locaux.**

Nos résultats montrent un aspect **plus inattendu pour nous, la recherche de légitimation effectuée par l'enseignant auprès de l'équipe pédagogique** à laquelle il appartient (nous n'avions prévu qu'un travail sur le fonctionnement des savoirs interdisciplinaires dans l'équipe). Pour interpréter ce phénomène, nous avons utilisé la notion de «territoire».

Au sein du système éducatif et même de l'équipe pédagogique existent des territoires professionnels très liés aux savoirs disciplinaires. Leurs limites, le plus souvent diffuses, se manifestent comme de vraies frontières dans des cas particuliers (par exemple une nouvelle répartition des cours entre enseignants de même discipline ou de disciplines connexes en fonction des formations ou de certaines polyvalences). Cette contrainte des frontières s'est très fortement imposée, et la démarche innovante n'a pu être mise en œuvre qu'en préservant l'ordre établi, la stabilité du système pédagogique. Ceci nous a permis de comprendre :

– pourquoi, dans certains établissements, des enseignants intéressés n'ont pu s'impliquer ou se sont arrêtés au bout d'un an. Pourtant les transferts méthodologiques en santé animale entre diverses productions (porcine, ovine, bovine), comme les ont pratiqués certains enseignants, sont possibles et intéressants ;

– pourquoi aucun enseignant de biologie n'a pu prendre une part active dans la démarche elle-même alors que les savoirs écopathologiques sont au moins pour moitié issus de disciplines biologiques. Toutefois, dans un établissement, un de ces enseignants a fait une brève introduction théorique sur la nature des défenses immunitaires dans un organisme.

Ainsi, régler ce problème de territoires disciplinaires et d'activité de l'enseignant au sein de l'établissement a joué un rôle déterminant dans l'adhésion de l'enseignant à la démarche.

Nous avons identifié cette sorte de renoncement à une forme d'application de la règle valable en dynamique des populations dans les systèmes écologiques, celle de «l'évitement des conflits». Ce qui nous a conduits à formuler la conclusion R2.

R2 – Un enseignant s'autorise une démarche innovante à condition de rester dans son champ des connaissances à transmettre et dans le territoire qu'il occupe dans l'établissement.

Nous interprétons ainsi cet écart par rapport à la conjecture C2 : **l'interdisciplinarité a été évacuée.**

L'innovation s'est insérée dans un enseignement disciplinaire, la zootechnie, avec la participation de huit zootechniciens (rappelons que l'expérimentation en lycée a reçu la caution des inspecteurs de zootechnie,

qu'il en a été de même pour les savoirs écopathologiques). La seule pratique interdisciplinaire citée comme envisageable par les enseignants est celle d'un travail possible entre enseignants d'économie et zootechniciens. Bien que les savoirs en jeu soient, en partie mais sans ambiguïté, des savoirs biologiques, aucun enseignant de biologie n'a participé véritablement à la démarche. L'activité de résolution de problème n'a pas été inductrice d'ouverture vers d'autres disciplines.

Les enseignants ont lié étroitement le problème du fonctionnement des savoirs à celui de la gestion de la situation d'enseignement comme le résume la conclusion R3.

R3 – Le choix des pratiques de référence par l'enseignant semble être lié à sa discipline de rattachement, à l'enseignement dispensé ou à son passé professionnel. Il entraîne des différences dans les contenus identifiés, le contrat didactique établi, les tâches et productions à réaliser, la conduite des séquences d'enseignement proposées par les enseignants.

La construction de la démarche en termes de progression pédagogique, d'objectifs, de définition de contrat, de consignes, de production par les élèves a été en général très sommairement réalisée. Par exemple, deux enseignants zootechniciens ont fait fonctionner leurs élèves dans le registre technicien-conseil en élevage : ils leur ont demandé de réinvestir les compétences acquises précédemment en filière porcine, à l'occasion d'un stage en exploitation, et de gérer l'élaboration d'un questionnaire de visite, la conduite de la prise de données, l'énoncé d'un diagnostic même partiel. Ceci renvoie bien à un problème d'autonomie, donc de contrat.

Ainsi, l'activité de résolution de problème sur le terrain n'a pas été simple pour les enseignants. Nous avons été conduits à proposer la conclusion R4.

R4 – La visite de type « découverte » est un passage obligé pour l'enseignant lors de la mise en place de la démarche. Lorsque l'enseignant a une certaine maîtrise des deux activités (visite et système expert), l'utilisation de l'élevage comme situation-problème devient praticable. Le système expert joue un rôle très important dans cette évolution vers la prise en charge d'une activité de résolution de problème.

Cette confrontation entre conjecture et résultat nous conduit à l'interprétation suivante : **il n'y a pas eu d'explicitation de la modification du contrat didactique nécessaire à la construction de la démarche dans la gestion de la situation d'enseignement.** La place accordée à l'éleveur comme à l'outil l'a été de **manière tacite**, l'enseignant n'a pas défini son changement de rôle (même au cours des entretiens). La nécessité

d'un positionnement clair de l'enseignant dans la démarche comme acteur enseignant, comme accompagnateur, comme observateur, ou encore comme professionnel de terrain ne figure pas comme une contrainte à gérer.

La démarche a modifié les rapports aux savoirs des enseignants (regain d'intérêt pour l'observation sur le terrain, et une liaison renforcée entre pratiques et savoirs disciplinaires, pour six enseignants), avec des interrogations sur l'importance des savoirs théoriques et des savoirs pratiques, le changement d'insertion dans la progression (d'abord conclusion d'un cursus pour la première année puis amorce du même cursus la deuxième année), la liaison savoirs zootechniques-savoirs écopathologiques, l'intérêt de l'activité diagnostique, la confrontation aux savoirs de l'outil. Mais les enseignants restent porteurs, par formation et institutionnalisation, d'un savoir disciplinaire. Pour eux, se pose donc une sorte de dilemme, car **l'accès aux savoirs interdisciplinaires peut difficilement se faire sans une prise d'autonomie par l'élève.**

Enfin, la pérennisation de la démarche s'est avérée une préoccupation forte des enseignants, d'où la conclusion R5.

R5 – L'investissement en temps est important car la gestion des contraintes s'avère difficile. Aussi l'ancrage à long terme de ces pratiques ne se fera, aux dires des enseignants, que si au-delà de la satisfaction personnelle vite estompée, une certaine institutionnalisation s'effectue.

Dans l'analyse *a priori*, nous avons lié l'innovation à un changement des pratiques d'enseignement, tout en soupçonnant qu'un arrimage plus solide dans l'institution serait indispensable à la pérennisation. En fait, ce fut une véritable exigence de la part des enseignants. Ceci n'a pas été sans entraîner des déséquilibres dans l'écologie du système éducatif, en particulier la création du nouveau canal de communication pour les enseignants (cf. tableau 1).

7. CONCLUSION

Notre étude, placée dans le cadre théorique de l'écologie des savoirs, montre que ceux-ci sont en étroite liaison avec un fonctionnement «territorial». Certains savoirs ont ainsi été difficilement accessibles et non opérationnels (savoirs biologiques), ou au contraire incontournables et d'office légitimés (savoirs zootechniques, savoirs vétérinaires). L'existence de ces territoires liés aux savoirs, concernant les acteurs directs du système scolaire, donnent de la stabilité au système lui-même, mais ils nuisent à une

évolution vers d'autres prises de rôles pour l'enseignant, ainsi que vers une manipulation plus équilibrée entre les disciplines des savoirs abstraits et des savoirs associés aux pratiques.

Ainsi, l'écologie du système éducatif, étudiée dans sa dynamique, face à l'introduction de nouveaux types de savoirs liés à des démarches hors école, avec une ouverture à des partenaires extérieurs, montre, en première approximation, son extraordinaire capacité à rester stable.

Ce travail met aussi l'accent sur la difficulté à trouver des régulations permettant de concevoir de nouvelles pratiques pour l'enseignant, en particulier l'acceptation du savoir de l'autre, la création d'espaces permettant l'établissement de liens forts entre théorie et pratique, un fonctionnement basé sur des savoirs interdisciplinaires, avec l'indispensable mise en place de nouveaux types de contrat didactique. Nous pensons que seuls des liens plus soutenus avec différents types de structures, en particulier la profession au sens large, peuvent aider à cette évolution.

Ainsi, nous avons fait la preuve de la faisabilité de la démarche innovante en formation de technicien en élevage, mais nous avons aussi mis en évidence certaines des conditions à satisfaire pour qu'elle puisse être étendue : pertinence de l'innovation, convergence avec les souhaits des décideurs et les référentiels des métiers. L'étude des modalités de fonctionnement des savoirs en jeu nous a permis de montrer certains points d'achoppement de son intégration du fait même de l'organisation du système scolaire : enfermement dans les savoirs disciplinaires, difficultés à envisager d'autres rôles pour l'enseignant, rapport enseignement-examen.

Il est apparu que les enseignants ont des difficultés à générer un nouveau type de contrat entre les différents acteurs de la démarche. Cependant il ne semble pas que ce nouveau type de contrat puisse mettre en danger la cohérence du système d'enseignement même si, de prime abord, il y a déstabilisation. De même que la guérison n'est pas le retour à un équilibre antérieur mais la création d'un nouvel équilibre, la capacité à innover et à changer permet de tester l'état d'équilibre du système scolaire. Par contre, les liens tissés par un élargissement du système éducatif en vue d'une meilleure compréhension réciproque de la relation école-profession, liens générateurs de dynamisme, nous semblent difficiles à maintenir dans le cadre d'un fonctionnement isolé d'un établissement, en abandonnant la gestion de ce problème à la seule initiative des enseignants. Des barrières existent. Elles ne pourront être levées que si une évolution conjointe est effectuée en vue d'une meilleure compréhension des modalités d'apprentissage des savoirs scolaires et professionnels et d'acceptations réciproques de cultures par des confrontations suivies.

BIBLIOGRAPHIE

- ARSAC G., DEVELAY M. & TIBERGHIEU A. (1989). *La transposition didactique en mathématiques, en physique, en biologie*. Lyon, IREM et LIRDIS.
- ARTIGUES M. (1990). L'ingénierie didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 9, n° 3, pp. 281-308.
- ASTOLFI J.-P. & DEVELAY M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris, PUF.
- BROUSSEAU G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique. *Recherches en didactique des Mathématiques*, vol. 7, n° 2, pp. 33-115. Grenoble, La Pensée Sauvage.
- CHARLOT B. & WEBER A. (1990). *Enseignement technique et formation des enseignants. Colloque National*. Lyon, CRDP.
- CHEVALLARD Y. (1991). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, La Pensée Sauvage.
- CROZIER M. & FRIEDBERG E. (1977). *L'acteur et le système*. Paris, Seuil.
- DEVELAY M. (1992). *De l'apprentissage à l'enseignement*. Paris, ESF.
- DUPIN J.-J. & JOHSUA S. (1989). *Expérimentations d'approches hypothético-déductives de la physique en classe de seconde : conditions et évaluation. Volume 1 : Enseignement de l'électrocinétique*. Rapport de recherche. Marseille, Groupe de Recherche en Didactique de la Physique.
- DUVIGNEAUD P. (1980). *La synthèse écologique*. Paris, Doin.
- FOUCAULT (de) J.-B., MABIT R. & PRADERIE M. (1993). *Éducation et formation, les choix de la réussite. Commissariat général du plan*. Paris, La Découverte et La Documentation Française.
- HADJI C. (1991). *Innover pour réussir, des acteurs parlent aux acteurs*. Paris, ESF.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- LIJNSE P.L. (1994). La recherche-développement : une voie vers une «structure didactique» de la physique empiriquement fondée. *Didaskalia*, n° 3, pp. 93-108.
- MARTINAND J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne, Peter Lang.
- MARZIN P. (1993). *Approche didactique de la communication des savoirs dans une situation de conseil vétérinaire. Analyse des conceptions dans le dialogue*. Thèse, Université Lyon 1.
- MARZIN P. (1994). Analyse de conceptions d'élèves concernant des pratiques sanitaires. *Didaskalia*, n° 4, pp. 39-55.
- SABATIER P. (1990). *Problématique de conception d'un outil informatique : conseil et apprentissage en élevage*. Mémoire de DEA, Lyon, INSA.
- TIBERGHIEU A., ARSAC G. & MÉHEUT M. (1994). Analyse de projets d'enseignement issus de recherches en didactique. In G. Arzac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand & A. Tiberghien (Eds), *La transposition didactique à l'épreuve*. Grenoble, La Pensée Sauvage, pp. 105-133.
- VISINET-FORESTIER J. (1993). *Étude didactique d'une innovation liée à l'utilisation d'un système expert d'aide au diagnostic en formation initiale et continue dans l'enseignement agricole*. Thèse, Université Lyon 1.

ANNEXE

Questionnaire pour l'enseignant (condensé)

Établissement :

Nom de l'enseignant :

Discipline enseignée :

Cycle de formation :

Classe :

Séquence : date : lieu : durée : nombre d'élèves présents :

1. Cette séquence est-elle
 - pour vous : la première mise en œuvre ou une répétition ?
 - pour les élèves : un nouvel exercice ou une répétition ?
2. Comment s'insère cette séquence dans votre enseignement (objectifs déjà atteints, thèmes déjà abordés) ?
3. Formulez les objectifs pédagogiques retenus pour cette séquence d'enseignement.
4. Quelles sont les principales étapes de la séquence (procédures, activités, minutage, production des élèves) ?
5. Quelles consignes précises avez-vous données aux élèves, en préalable à la séquence (sur visite d'élevage ou sur système expert ou autres) ?

S'il y a eu pratique de l'observation par les élèves

6. Sur quoi porte l'observation et comment est-elle pratiquée par l'élève ?
7. À quoi doit-elle servir (remplir un questionnaire, faire un compte rendu, établir une fiche pour la gestion de l'élevage, renseigner le système expert) ?
8. Quels obstacles majeurs rencontrent les élèves dans cette activité ?
9. L'atelier d'élevage constitue-t-il un bon lieu d'apprentissage de l'observation ? En quoi ?

À propos de la démarche de résolution de problème

10. Quand et par qui le problème a-t-il été posé ?
11. Y a-t-il eu évolution de la nature du problème posé (depuis le motif d'appel jusqu'à l'énoncé de la solution) ? Pour quelles raisons ?
12. Au cours de cette démarche, quelles activités ont été pratiquées par les élèves ?
13. La visite d'atelier d'élevage permet-elle une bonne approche de l'activité de résolution de problème ?
14. Sous quelle forme la solution du problème est-elle présentée ? Y a-t-il eu diagnostic ? Précisez.
15. L'usage du système expert favorise-t-il le questionnement des élèves ? Quels types de questions avez-vous retenus ?
16. Ce système expert est-il globalement bien accepté comme outil par les élèves ?

17. Comment les élèves gèrent-ils le raisonnement par hypothèses (prise en compte de toutes les hypothèses, élimination, hiérarchisation, recherche des facteurs de risques...) ?
18. Vous êtes-vous senti en décalage entre votre propre démarche et celle proposée par le système expert ? Si oui, pouvez-vous préciser ?
19. Dans cette séquence d'enseignement, avez-vous été amené à introduire des normes, à préciser des méthodes de mesures, à renvoyer à des connaissances de cours ? Lesquelles ? À quel moment ?
20. Quel prolongement voyez-vous à cette séquence ?
21. Quelle modification apporterez-vous à cette séquence pour une autre fois ?

Les enseignants peuvent-ils utiliser l'évaluation pour améliorer l'apprentissage ?

Paul BLACK

School of Education
King's College London
Cornwall House Annex
Waterloo Road
London SE1 8WA, United Kingdom.

(Traduit par Maurice Chastrette)

Résumé

De nombreux problèmes ont empêché le développement de l'évaluation formative, conçue comme moyen pour améliorer l'apprentissage. En premier lieu, la compétition entre les fonctions d'évaluation et de contrôle conduit souvent à une prédominance d'une évaluation sommative faite par contrôle externe ; cette prédominance peut ruiner les efforts faits par les professeurs pour améliorer l'apprentissage. D'autre part, il est difficile de mettre en œuvre des méthodes satisfaisantes et pratiques pour rassembler l'information provenant en «feedback» de tous les élèves d'une classe type. On peut également penser qu'une amélioration de ce feedback mettrait à jour un si grand nombre de besoins chez les élèves que de nouvelles méthodes d'enseignement seraient nécessaires pour y faire face. Développer l'autocontrôle constitue probablement une part essentielle de toute stratégie destinée à améliorer l'évaluation formative. Seule une réforme systémique peut permettre d'affronter tous ces problèmes, réforme selon laquelle les méthodes pouvant conduire aux différents objectifs de l'évaluation seraient conçues de façon qu'elles se renforcent mutuellement.

Mots clés : *contrôle et apprentissage, évaluation formative, évaluation sommative, feedback des élèves, réforme systémique.*

Abstract

The development of formative assessment so that it can make its full contribution to improved learning has been inhibited by several problems. One problem is the tension between the different functions of assessment and testing, which often leads to dominance by summative assessment in the form of external testing. This dominance can damage the efforts of teachers to improve learning. Another problem is the difficulty of developing adequate and practicable methods of collecting feedback information from all pupils in a typical classroom. It is also argued that better feedback would expose such a wide range of pupil needs that new teaching methods would have to be implemented in order to meet them. It is suggested that developing self assessment by pupils may be an essential part of any strategy for improving formative assessment. These various problems can only be tackled by a systemic approach to reform in which methods for achieving the various purposes of assessment are designed in such a way that they support one another.

Key words : testing and learning, formative assessment, summative assessment, pupils' feedback, systemic reform.

Resumen

El desarrollo de la evaluación formativa en vista de contribuir al mejoramiento del aprendizaje ha sido inhibido por diferentes problemas. Uno de ellos es la tensión entre las funciones de evaluación y de control, que conduce frecuentemente a un predominio de la evaluación sumativa bajo la forma de control externo. Este predominio puede constituirse en un obstáculo a los esfuerzos de los profesores para mejorar la enseñanza. Otro problema es la dificultad de desarrollar métodos adecuados para recolectar informaciones en «feedback» provenientes de todos los alumnos de una clase tipo. En este artículo se discute igualmente el hecho que mejorando el feedback, uno haría emerger una tal cantidad de necesidades de los alumnos que sería necesario implementar nuevos métodos de enseñanza para satisfacerlas. Se sugiere que una autoevaluación por parte de los alumnos puede tener un lugar esencial en toda estrategia destinada a mejorar la evaluación formativa. Estos diferentes problemas no pueden ser afrontados que por una reforma sistémica, en la cual los métodos para lograr los diferentes objetivos de la evaluación sean concebidos de manera que se refuercen mutuamente.

Palabras claves : control y aprendizaje, evaluación formativa, evaluación sumativa, feedback de los alumnos, reforma sistémica.

L'IMPORTANCE DE L'ÉVALUATION FORMATIVE

«Promouvoir l'apprentissage est le principal but de l'école. L'évaluation se trouve au cœur de ce processus. En effet, elle peut fournir un cadre dans lequel les objectifs pédagogiques peuvent être fixés, et les progrès des élèves enregistrés et exprimés. Elle peut fournir une base pour la planification des étapes suivantes de l'enseignement, en réponse aux besoins des élèves. En facilitant le dialogue entre enseignants, elle peut améliorer leur qualification professionnelle et aider l'école à renforcer l'ensemble de l'apprentissage au long du curriculum.» (DES, 1987)

Le message que cet article veut apporter est qu'une bonne évaluation formative peut constituer un outil puissant pour améliorer la qualité de l'apprentissage, alors qu'elle est en général sérieusement sous-développée à l'école. Il existe donc d'immenses possibilités d'amélioration ; cependant pour les saisir il ne suffit pas d'apporter de modestes compléments aux travaux existants.

Une caractéristique particulière de l'évaluation formative est que l'information liée à l'évaluation est utilisée à la fois par l'enseignant et par les élèves, dans le but de modifier leur travail et de le rendre plus efficace. Amasser de l'information est sans grand intérêt si l'on ne peut pas s'en servir dans l'action, et, puisque l'information liée à l'évaluation ne manquera pas de révéler l'hétérogénéité des besoins de la classe concernant l'apprentissage, l'action qui sera nécessaire devra comporter, sous une forme quelconque, un enseignement différencié. Ce point a été nettement souligné par Perrenoud (1991) dont la phrase : *«il y a en chacun de nous le désir de ne pas connaître les choses sur lesquelles on n'a aucune prise»*, implique en outre que la conscience de notre incapacité à agir en fonction d'une information peut être une raison de ne pas rassembler cette information.

Si l'on veut que l'éducation réalise pleinement les bénéfices potentiels de l'évaluation par les professeurs, alors il faut faire avec eux un important travail pour mettre en place une évaluation formative efficace dans les programmes d'enseignement. Un tel travail implique nécessairement des programmes à long terme pour modifier les perceptions et les rôles des enseignants aussi bien que des élèves, en insistant particulièrement sur le développement chez les élèves de la prise de conscience de la situation et de leur responsabilité dans l'auto-évaluation.

ÉVALUATION FORMATIVE ET SOMMATIVE

Un des obstacles principaux au développement de l'évaluation formative est qu'elle ne remplit que l'une des trois fonctions de l'évaluation, c'est-à-dire :

- l'assistance directe à l'apprentissage,
- la certification de chaque élève individuellement,
- la responsabilité des institutions et des enseignants par rapport à la société (Black, 1993a ; Haney, 1991).

La deuxième et la troisième de ces fonctions influencent toutes les deux la première. La fonction de responsabilité sociale peut affecter le statut et l'emploi des enseignants, tandis que la fonction de certification influe sur les chances de leurs élèves dans la vie. Bien que la fonction de responsabilité sociale ne nécessite pas de données sur les individus, elle est souvent remplie dans la pratique en utilisant des données de certification, obtenues à partir de l'évaluation de l'ensemble des étudiants. La plus grande partie des travaux d'évaluation, que ce soit dans la pratique ou dans la recherche-développement, a été consacrée aux fonctions de certification et de responsabilité sociale, aux dépens de la fonction formative.

Le contrôle externe peut prédominer dans le travail en classe, et ainsi déformer l'enseignement à un point tel que les conditions d'une bonne évaluation formative ne sont pas remplies. Les enseignants croient que préparer les élèves à un test spécifique, en se concentrant étroitement sur ses exigences et sur ses méthodes, va augmenter leurs succès. Les effets nuisibles sur l'enseignement d'un contrôle externe étroit sont bien connus : l'apprentissage se calque sur le contrôle en se centrant sur les aspects qui sont facilement testés, et par suite le niveau du travail en classe baisse, les élèves doivent travailler à un rythme trop rapide pour un apprentissage efficace, les méthodes créatives et innovantes, de même que certains contenus thématiques, sont abandonnés (cf. Black, 1993a). Ces tendances démotivent de nombreux élèves, en récompensant ceux qui travaillent dans le cadre limité des démarches qui permettent de réussir les tests.

Dans ce contexte, il n'est pas surprenant que beaucoup de professeurs considèrent l'évaluation avec suspicion et aversion. Il est difficile de trouver des exemples d'utilisation de l'évaluation formative comme composante forte d'un programme d'apprentissage efficace. L'image générale qui émerge des études faites sur les pratiques est celle d'une évaluation négligée. Ceci a été bien décrit pour l'enseignement scientifique en Australie (Butler et al., 1980), en Écosse (Black H., 1986), en Angleterre (Hodson, 1986) et aux États-Unis (Rudman, 1987). Dans leur revue des pratiques d'évaluation des professeurs de sciences aux États-Unis, Raizen et al.

(1989) expliquent la pauvreté de l'évaluation en classe principalement par le fait que l'évaluation est négligée dans la formation des professeurs.

Une revue des pratiques à l'école primaire en France (Grisay, 1991) examine les critères de passage dans la classe supérieure. La conclusion est que les critères utilisés sont «*virtuellement invalides selon les standards externes*» et que les examens de fin d'année sont «*encombrés de questions sélectives tendant à mesurer la maîtrise du sujet comme s'il s'agissait de morceaux de connaissance atomisée*». On a également constaté que, au sein d'une même école, des professeurs poursuivaient des objectifs différents, de sorte que les élèves entraient dans la classe supérieure avec des formations très différentes.

Ainsi, les résultats des études sur l'état actuel des pratiques d'évaluation des professeurs montrent qu'il est nécessaire d'investir de façon très importante dans la formation continue pour bien établir l'évaluation formative. Les changements ne se font pas facilement. Des essais de renforcement de l'évaluation formative dans le curriculum national du Royaume-Uni n'ont eu qu'un succès limité ; ceci est dû en partie au fait que les professeurs interprétaient leur rôle d'évaluateurs uniquement en termes d'évaluation sommative, de sorte que les nouvelles exigences concernant l'évaluation étaient perçues par les professeurs comme une incitation à réaliser leurs propres tests sommatifs (Harlen & Qualter, 1991 ; Scott, 1991). Selon Butler et Beasley (1987), le passage d'une certification externe à une certification propre à l'école, en 1972 au Queensland, a eu peu d'effet sur les pratiques scolaires. Ce n'est qu'après un changement conduit par l'État en 1985, consistant à passer d'une approche sommative à étalonnage normatif à une approche formative centrée sur les critères, que les pratiques ont commencé lentement à changer. Un fait caractéristique du rapport de Butler et Beasley est que les professeurs ont trouvé particulièrement difficile de s'adapter à l'utilisation des résultats sous forme de feedback. Torrance (1986) fait une remarque analogue en ce qui concerne les professeurs en Grande-Bretagne.

Crooks (1988) présente une revue de l'impact sur les élèves des pratiques d'évaluation en classe, revue fondée sur plus de trois cents sources et couvrant de nombreux pays. Il note le contraste entre les nombreux effets positifs d'une bonne évaluation, et le fait que l'évaluation en classe encourage souvent un apprentissage superficiel et par cœur, ainsi qu'une importance exagérée accordée à la notation. Une telle pratique conduit certains élèves à attribuer leurs échecs à leurs faibles capacités, ce qui diminue leur confiance en eux et leur motivation.

Les essais de renforcement de l'évaluation par les professeurs peuvent entraîner une controverse sur les relations entre les fonctions formative et sommative. Alors que l'évaluation formative doit être conduite avec comme objectif principal le feedback vers le processus d'enseignement, elle peut

aussi produire des informations qu'on peut utiliser dans un but sommatif. Ceci peut aider à protéger l'évaluation formative de l'influence écrasante des contrôles externes «à enjeux élevés» (Raizen et al., 1989). Cependant, il peut exister, pour un professeur, une tension entre les rôles de conseiller et de juge ; certains soutiennent que les mêmes outils et méthodes d'évaluation ne peuvent pas remplir deux fonctions différentes, et que l'évaluation ne peut être renforcée qu'à condition de séparer ces fonctions (Harlen et al., 1992). Cependant, ces auteurs ne prennent pas en compte la nécessité d'empêcher le processus sommatif d'envahir le champ du travail de formation (Resnick & Resnick, 1992 ; Black, 1993b).

Là où elles prédominent, les pratiques sommatives peuvent induire en erreur, car les tests externes constituent un mauvais modèle pour l'évaluation formative, et ceci pour les raisons suivantes.

– Dans les tests sommatifs la recherche d'un résultat global unique implique qu'on doit additionner d'une manière arbitraire des données tout à fait disparates (par exemple obtenues sur la partie théorique et sur les travaux pratiques) ; cela ne doit pas être le rôle de l'évaluation formative, qui s'intéresse à la nature des besoins d'apprentissage de chaque élève pris individuellement.

– Le travail sommatif doit insister sur des standards d'uniformité et de validité qui ne sont pas nécessaires dans le travail formatif, qui entravent la liberté et empêchent d'accorder de l'attention aux besoins individuels que demande le travail formatif. En particulier les pratiques formatives n'ont pas à être «justes»; leur priorité est l'identification des besoins de chacun des élèves, ce qui implique des traitements différenciés pour des élèves différents.

– Un travail à but sommatif peut exiger la collecte de documents justificatifs adéquats pour les résultats, ce qui augmente la charge de travail, tandis que le travail formatif demande d'agir à partir des données plutôt que de les stocker.

ÉVALUATION ET APPRENTISSAGE

Le principe clé que l'on veut souligner ici est que l'évaluation formative doit être intimement liée aux processus d'enseignement et d'apprentissage. Ce point a été clairement exposé par Linn (1989) :

«La construction de tests pour la prise de décisions éducatives dans la classe exige une intégration des tests et de l'enseignement. Elle exige aussi une conception claire du curriculum, des objectifs et des méthodes d'enseignement. Elle demande enfin une théorie de

l'enseignement et de l'apprentissage ainsi qu'une bien meilleure compréhension des processus cognitifs des apprenants.»

Cette nécessité pour les évaluations de servir de base à un enseignement dirigé vers l'amélioration de la pensée a été explorée par Resnick et Resnick (1992). Les tests composés de questions courtes «atomisées» semblent conforter des hypothèses sur l'apprentissage que la psychologie actuelle a abandonnées. Brown et al. (1992) soutiennent cette position en s'appuyant sur des résultats qui montrent que l'amélioration des méthodes diminue la corrélation entre les résultats et les mesures initiales du QI des élèves. Citons par exemple l'hypothèse fautive qu'on peut enseigner une capacité complexe en la décomposant en parties enseignées et évaluées séparément. On peut citer également l'hypothèse fautive selon laquelle une idée commune à plusieurs situations peut être enseignée plus économiquement en la présentant dans toute son abstraction, pour qu'elle puisse être utilisée ensuite dans de nombreuses situations.

Si le feedback apporté par des évaluations fréquentes doit améliorer l'apprentissage, alors il doit en refléter les buts importants. Berryman (1990) remarque que le commerce et l'industrie accordent la priorité à l'autonomie, à la capacité de travailler en groupe et à résoudre des conflits, ainsi qu'au développement de capacités intellectuelles d'ordre élevé. Newmann et Archbald (1992) soutiennent que «*la réussite universitaire authentique*» demande une compréhension en profondeur, et des capacités d'intégration, de collaboration et d'échanges approfondis. La prise en compte de tels buts est pratiquement inexistante dans la plupart des tests externes ou standardisés.

Si l'information provenant de l'évaluation doit avoir un sens par rapport aux objectifs d'apprentissage du curriculum, alors elle doit être de type critique. Le développement de tests critiques s'est révélé très compliqué. Le plus souvent, la difficulté provient du fait que si les critères sont généraux et vagues, leur valeur formative risque d'être perdue, alors que s'ils sont trop spécifiques, les professeurs vont se noyer dans leur multiplicité, tandis que l'enseignement sera fragmenté de telle sorte que les aspects holistiques et relationnels seront perdus (Popham, 1987).

Si l'évaluation doit guider l'apprentissage pendant le déroulement d'un programme, alors elle doit refléter les critères qui sont formulés dans une séquence d'apprentissage. En principe, ceci peut constituer un guide très précieux pour suivre les progrès d'un individu et localiser les obstacles à son apprentissage. Cependant, on ne peut le réaliser sans une connaissance réellement fondée des séquences d'apprentissage des élèves (Simon et al., 1994). Des tentatives peu rigoureuses conduisent à des critères flous et inopérants, comme «*comprendre parfaitement*» suivi de «*comprendre plus parfaitement*».

VALIDITÉ ET FIABILITÉ

Les tests externes sous forme écrite bénéficient de la part du public d'une confiance plus grande qu'ils ne devraient. Les limites de leur validité et de leur fiabilité ne sont pas bien appréciées. Toute tentative d'amélioration de la qualité d'un mode d'évaluation doit s'appuyer sur un concept général de validité qui soit convaincant. La première phrase de la revue de Messick (1989) donne une définition qui fait autorité :

«La validité est un jugement évaluatif intégré sur le degré de confirmation, par des données expérimentales et des considérations théoriques, de la justesse et de l'opportunité de conclusions et d'actions fondées sur les résultats d'examens ou d'autres tests d'évaluation.»

Le domaine de ces *conclusions* et de ces *actions* a été étendu lors d'études récentes. Par exemple, Moss (1992) affirme que l'utilisation qu'on en fera et l'effet de reflux sur l'enseignement sont deux aspects à prendre en compte dans l'estimation de la validité. Ainsi, si une méthode d'évaluation paraissait renforcer des styles d'enseignement qui ne sont pas en accord avec les objectifs de l'éducation, sa validité pourrait être mise en doute sur cette seule base. Plus une activité d'évaluation se rapproche de l'activité réelle pour laquelle ses résultats doivent être considérés comme pertinents, plus elle a de chances de satisfaire au critère de validité. Vue sous cet angle, l'évaluation faite en classe a de meilleures chances de succès que les tests écrits formels et en temps limité.

La fiabilité des évaluations en classe est par nature difficile à explorer par suite de l'absence de toute mesure indépendante des acquisitions «réelles» des élèves. Hoge et Coladarci (1989) proposent une revue exhaustive de la littérature concernant les jugements portés par les professeurs sur les résultats scolaires. Ils concluent que les appréciations internes peuvent avoir une validité supérieure à celle des tests psychologiques standard correspondants.

La fiabilité limitée des tests formels n'est pas prise en compte et, dans beaucoup de systèmes nationaux, n'est pas mesurée. La cohérence interne est évidemment prisée, mais pour des raisons diverses, les élèves ont dans l'ensemble de moins bons résultats aux tests formels, comme le démontre la revue de Nuttall (1987). Pour un certain nombre de tests en science, Gauld (1980) constate que les élèves se trompent souvent sur la question posée, paraissent incompetents à cause d'une seule erreur dans un processus complexe, ne réussissent pas à utiliser ce qu'ils savent parce qu'ils le croient sans relation avec la question, et peuvent obtenir des notes trop basses parce que le correcteur n'a pas compris le raisonnement conduisant à une réponse inattendue.

En tout état de cause, pour l'évaluation formative, les critères de validité et de fiabilité doivent être reformulés. La validité de l'évaluation formative doit être appréciée en relation avec son efficacité dans l'amélioration de l'enseignement.

AMÉLIORATION DE L'ÉVALUATION FORMATIVE LES BESOINS DES ENSEIGNANTS

La technologie de collecte des données sur les progrès des élèves commence seulement à se développer. La plupart des enseignants ont toujours utilisé de manière informelle une grande variété de sources, mais ceci peut induire en erreur. Très souvent par exemple, un enseignant utilise, en dialoguant avec la classe, les réponses de quelques élèves seulement, pour se rassurer sur le déroulement du plan de travail. Il est nécessaire d'affiner les pratiques pour obtenir des résultats plus complets. Les livres de Fairbrother et al. (1993, 1995) donnent des exemples de fiches de travail pour l'auto-évaluation, qui formulent des objectifs d'apprentissage pour le travail en classe ; pour chacun de ces objectifs, l'élève doit consigner si, selon lui, il l'a atteint ou non. Ces fiches donnent au professeur l'information critériée essentielle pour l'évaluation formative. De plus, parce qu'elles fournissent de manière systématique des informations écrites, elles déchargent le professeur d'avoir à noter et enregistrer les résultats à partir des seules observations éphémères des événements de la classe. L'observation par les enseignants peut être irremplaçable : certains ont trouvé étonnamment utile de suspendre pour un temps leurs interventions pédagogiques actives – en expliquant bien à la classe ce qu'ils font et pourquoi – et de se concentrer uniquement sur l'observation et l'écoute d'un petit nombre d'élèves (cf. Cavendish et al., 1990 ; Connor, 1991).

Cependant, l'enjeu ici dépasse largement la collecte de données sur les «erreurs». Comme l'a montré Bonniol (1991), l'enseignant a besoin d'en comprendre les causes, ce qui mettrait à l'épreuve le meilleur expert en apprentissage. De plus, l'évaluation formative ne peut pas être simplement ajoutée aux schémas de travail existants ; elle doit être incorporée dans ces schémas, ne serait-ce que parce que son utilisation pour le guidage des élèves, selon les besoins de chacun, ne peut avoir lieu que si l'enseignement est organisé de façon suffisamment souple. C'est l'aspect le plus exigeant du travail formatif.

Une manière «macroscopique» et à long terme de traiter les besoins différents est de répartir les élèves dans différentes classes, en fonction de leurs performances antérieures. C'est une solution brutale qui ne peut pas répondre à des besoins variés et à court terme. Des réponses plus fines peuvent être apportées par l'organisation des cours en modules. Pendant

les deux tiers de la durée du module on emploie des méthodes d'évaluation informelle et continue, puis une évaluation plus formelle est utilisée pour déterminer le travail d'apprentissage différencié qui se fera dans le dernier tiers ; ceux qui ont maîtrisé les idées essentielles poursuivent par un travail d'extension, tandis que ceux qui ont trouvé des difficultés particulières travaillent sur un matériel destiné à les aider à franchir ces obstacles. Ainsi certains réussiront dans un domaine plus étendu que d'autres, mais on peut espérer que tous auront compris le minimum nécessaire pour donner un sens à leur travail ultérieur (cf. Black H., 1993 ; Hunt, 1993). Il existe d'autres approches moins formelles et plus souples, comportant des occasions de révisions ou de reprises pour ceux qui en ont besoin.

Ce dernier point, et beaucoup d'autres, sont en relation avec la plus ou moins grande souplesse des programmes d'enseignement. Là où un travail ouvert, travail expérimental ou projet avec des recherches bibliographiques, trouve place dans l'enseignement scientifique, une attention particulière à la sélection et à la définition des tâches peut permettre une bonne différenciation fondée sur l'ajustement de la tâche aux possibilités et aux progrès de l'élève. Cependant il apparaît que ce sont les meilleurs élèves qui bénéficient d'un cadre ouvert et souple. Ceux dont les progrès sont plus lents manquent de la confiance et de la vision claire de leurs besoins qui sont indispensables pour être autonomes et efficaces. Ainsi, pour eux, un cadre plus rigide peut être nécessaire dans un travail ouvert.

L'utilisation efficace du feedback de l'évaluation exige de l'enseignant qu'il exerce son jugement, et puisse conduire son programme d'enseignement avec la confiance et la souplesse qui ne peuvent venir que de l'appropriation de ce programme. Ainsi il semble que, idéalement, tout schéma permettant d'incorporer de bonnes occasions d'évaluation formative doit être construit par les professeurs eux-mêmes pour leurs besoins propres. Le besoin d'une formation continue approfondie pour soutenir cet aspect de l'enseignement est illustré par le rapport de Torrie (1989) sur un travail en formation continue avec un groupe d'enseignants australiens. Ceux-ci ont produit puis dégraissé une longue liste constituée de leurs propres critères de performances, et les ont ensuite inscrits dans une grille de progression d'apprentissages. Puis la liste a été encore affinée lorsqu'ils ont essayé de produire les exercices d'évaluation correspondants. Les enseignants en ont tiré, outre une plus grande confiance dans leur enseignement, l'opinion que leur travail d'évaluation antérieur avait été médiocre car ils n'avaient pas vraiment évalué les objectifs de leur enseignement. Des conclusions semblables ont été présentées dans une revue des développements dans plusieurs états australiens par Withers (1987). Par ailleurs, pour assurer une cohérence dans l'aide aux élèves, les enseignants doivent mettre en commun leurs informations et leurs pratiques d'évaluation. L'échange de travaux d'élèves est valable en soi comme base

pour établir une collaboration entre les responsables. Stage (1990), Baird et al. (1991) et Wood (1991) décrivent tous l'utilisation d'une «réflexion collective» dans la formation des enseignants.

Incorporer l'évaluation formative dans leur enseignement engage les enseignants bien au-delà de l'acquisition des compétences strictement nécessaires ; elle implique aussi de profonds changements dans leur rôle (Tobin et al., 1988). En particulier, puisque beaucoup d'élèves peuvent avoir pris l'habitude d'en faire juste assez pour s'en tirer, ou bien ont cessé de croire qu'ils pourraient être compétents, le contrat entre l'enseignant et l'élève doit être reformulé. Transférer plus de responsabilités aux élèves est une manière de réduire le poids de la tâche ; il existe d'autres raisons plus importantes d'effectuer ce transfert, qui vont être discutées ci-dessous.

AMÉLIORATION DE L'ÉVALUATION FORMATIVE LES BESOINS DES ÉLÈVES

Dans leurs revues sur les principes de l'évaluation formative, Perrenoud (1991) et Bonniol (1991) insistent sur le fait que le développement de ce type d'évaluation implique des modifications du rôle des enseignants aussi bien que des élèves. Les élèves doivent comprendre le cadre de référence de l'enseignant et le modèle d'apprentissage qui donne du sens aux critères qui sont reflétés dans l'évaluation. C'est sur cette compréhension que peut s'établir la confiance des élèves en leurs facultés, liée à l'assurance qu'on pourra faire quelque chose pour leurs difficultés.

Un manque de compréhension entre élèves et enseignants peut affaiblir toute évaluation informelle – comme l'illustre un article de Perrin (1991) sur l'étude d'élèves de l'école primaire dans le canton de Genève : ces élèves croyaient que les évaluations étaient faites au profit de l'école et de leurs parents, et non pas au leur. Les élèves faibles pensaient que le but était de les faire travailler plus. Comme l'évaluation n'était pas mise à profit pour leur dire comment travailler autrement, ils la voyaient comme une source de tension qui les rendait anxieux. Suite à ces constatations, le canton de Genève a décidé de réduire les tests sommatifs et d'augmenter le rôle formatif de l'évaluation. La charge de travail donnée aux élèves par de fréquents contrôles sommatifs peut ne pas être perçue de cette manière s'il existe un feedback et des occasions d'améliorer leurs performances, comme l'a montré l'étude d'Iredale (1990) sur l'attitude des élèves envers un mode d'évaluation avec notation, en sciences.

Les élèves ne peuvent prendre une part effective dans leur propre évaluation que dans le cadre d'un programme à long terme, conçu pour les aider à atteindre et maintenir une vue globale des objectifs de leur

apprentissage, ainsi qu'à appliquer les critères d'évaluation à leurs propres progrès. Les élèves n'arriveront à cette vue globale que si ceci est explicitement enseigné. Les rapports de Baird et Mitchell (1986), Baird et Northfield (1992) et Fairbrother et al. (1993, 1995) montrent qu'un tel enseignement demande du temps avant d'aboutir à des succès. Il comporte la traduction des objectifs du curriculum dans un langage que tous les élèves peuvent comprendre, et ce jusqu'à un niveau de détail qui les aide à faire le lien entre ces objectifs et leurs efforts d'apprentissage. D'autre part, les cibles doivent pouvoir être atteintes à court terme, et être raisonnablement modestes par rapport aux chances de succès de l'apprenant.

La capacité de jugement des élèves sur leur propre travail est d'une importance capitale dans l'apprentissage. Tobin et al. (1988), Labudde et al. (1988) ont tous insisté sur le rôle clé de l'auto-évaluation. Zessoules et Gardner (1991), en décrivant le Harvard Project Zero, soulignent que l'auto-évaluation pendant l'apprentissage est une composante cruciale pour le développement de la compréhension de sujets complexes, appuyée sur des habitudes mentales de réflexion intellectuelle ; c'est pourquoi leur projet vise à réaliser des conditions permettant de s'assurer que les élèves sont actifs et réfléchis au cours de l'auto-évaluation. D'autres ont soutenu que la méta-cognition – par quoi ils entendent prise de conscience et autonomie quant à la nature des tâches d'apprentissage – est essentielle pour que les élèves progressent dans l'apprentissage des concepts (cf. Brown, 1987 ; White & Gunstone, 1989).

Il est clair que c'est grâce à l'implication des élèves que les enseignants pourront plus facilement mener à bien un programme d'évaluation formative. Cependant, cette implication change aussi bien le rôle de l'élève comme apprenant que la nature des relations entre l'enseignant et l'élève, en faisant porter à ce dernier une plus grande part de responsabilité dans l'apprentissage. Ainsi l'amélioration de l'évaluation formative peut conduire à des changements très significatifs – changements qui devraient aider puissamment au développement personnel des élèves, et qui devraient faire partie de tout programme visant à en faire des apprenants plus efficaces.

CONCLUSIONS

Si les enseignants sont disposés à tenter des améliorations, un organisme de formation peut fournir un forum en terrain neutre où ils pourront recevoir les conseils et les idées que peut offrir la littérature, et échanger des expériences avec d'autres personnes travaillant avec les mêmes objectifs. Les thèmes abordés dans cet article pourraient fournir un cadre pour bâtir

en partie un tel programme. Cependant, ce qui est essentiel est le travail fait par les enseignants pour mettre en place des changements dans leurs propres classes, accompagné de réunions régulières de suivi où les succès comme les échecs pourront être rapportés et comparés.

L'ensemble de la littérature de recherche est couvert dans les livres de Wood (1991) et Gipps (1994) et, plus particulièrement pour les sciences, dans la revue de Black (1993b). On peut trouver des conseils généraux sur les activités pratiques en classe dans les nombreux articles cités, en particulier ceux de Baird et Northfield (1992) et Fairbrother et al. (1995). Parmi les nombreux livres généraux sur l'évaluation parus récemment, ceux d'Airasian (1991) et de Stiggins (1994) sont particulièrement centrés sur l'évaluation formative.

Dans leurs responsabilités concernant l'évaluation, les enseignants doivent concilier les besoins d'apprentissage de leurs élèves, dont la satisfaction doit être leur souci premier, avec l'obligation d'obtenir de bons résultats aux tests nationaux réglementaires, ainsi qu'avec le respect du cadre des règlements de l'école et les attentes des parents. Ces exigences sont souvent contradictoires. S'ils veulent être en position de réaliser les changements radicaux qui sont réclamés dans cet article, les enseignants auront besoin de travailler ensemble pour s'épauler face à ces pressions, et de faire appel à l'aide et à la compréhension qui pourront être offertes par ceux qui sont à l'extérieur de l'école.

Finalement, l'analyse de l'influence du contexte systémique des tests et de l'évaluation sur les pratiques des enseignants montre qu'une action au niveau du public et du politique est essentielle, afin d'établir et soutenir à la fois les contextes systémiques et l'approbation du public qui sont nécessaires pour la survie de telles innovations.

BIBLIOGRAPHIE

- AIRASIAN P.W. (1991). *Classroom Assessment*. New York, McGraw Hill.
- BAIRD J.R. & MITCHELL I.J. (Eds) (1986). *Improving the quality of teaching and learning. An Australian case study - the PEEL project*. Melbourne, Monash University.
- BAIRD J.R. & NORTHFIELD J.R. (Eds) (1992). *Learning from the PEEL Experience*. Melbourne, Monash University.
- BAIRD J.R., FENSHAM P.J., GUNSTONE R.F. & WHITE R.T. (1991). The importance of reflection in improving science teaching and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 28, n° 2, pp. 163-182.
- BERRYMAN S.E. (1990). Sending clear signals to schools and labour markets. In J.L. Schwartz & K.L. Viator (Eds), *The Prices of Secrecy : the Social, Intellectual and Psychological Costs of Secrecy*. Cambridge Massachussets, ETC Harvard Graduate School of Education, pp. 35-45.

- BLACK H. (1986). Assessment for learning. In D.L. Nuttall (Ed.), *Assessing Educational Achievement*. London, Falmer Press, pp. 7-18.
- BLACK H. (1993). Assessment : A Scottish Model. In R. Fairbrother, P.J. Black & P. Gill (Eds), *TAPAS : Teacher Assessment of Pupils : Active Support*. King's Education Papers n°3. London, Centre for Educational Studies King's College, pp. 91-94.
- BLACK P.J. (1993a). Formative and Summative Assessment by Teachers. *Studies in Science Education*, n° 21, pp. 49-97.
- BLACK P.J. (1993b). Assessment policy and public confidence : Comments on the BERA Policy Task Group's article «Assessment and the improvement of education». *The Curriculum Journal*, vol. 4, n° 3, pp. 421-427.
- BONNIOL J.-J. (1991). The mechanisms regulating the learning process of pupils : contribution to a theory of formative assessment. In P. Weston (Ed.), *Assessment of Pupils Achievement : Motivation and School Success*. Amsterdam, Swets and Zeitlinger, pp. 119-137.
- BROWN A. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation and other more mysterious mechanisms. In F.E. Weinert & R.H. Kluwe, *Metacognition, Motivation and Understanding*. Hillsdale NJ, Lawrence Erlbaum, pp. 65-116.
- BROWN A.L., CAMPIONE J.C., WEBBER L.S. & Mc GILLY K. (1992). Interactive Learning Environments : A New Look at Assessment and Instruction. In B.R. Gifford & M.C. O'Connor (Eds), *Changing Assessments : Alternative Views of Aptitude, Achievement and Instruction*. Boston USA & Dordrecht Netherlands, Kluwer, pp. 121-211.
- BUTLER J.E., BEASLEY W.F., BUCKLEY D. & ENDEAN L. (1980). Pupil task involvement in secondary classrooms. *Research in Science Education*, n° 10, pp. 93-106.
- BUTLER J.E. & BEASLEY W.F. (1987). The impact of assessment changes on the science curriculum. *Research in Science Education*, n° 17, pp. 236-243.
- CAVENDISH S., GALTON M., HARGREAVES L. & HARLEN W. (1990). *Observing Activities*. London, Paul Chapman.
- CONNOR C. (1991). *Assessment and Testing in the Primary School*. London, Falmer Press.
- CROOKS T.J. (1988). The impact of classroom evaluation practices on students. *Review of Educational Research*, vol. 58 , n° 4, pp. 438-481.
- DES (1987). *National curriculum : Task Group on Assessment and Testing : A Report*. London, Department of Education and Science & Welsh Office.
- FAIRBROTHER R.W., BLACK P.J. & GILL P. (Eds) (1993). *TAPAS : Teacher Assessment of Pupils : Active support for Teachers*. King's Education Papers n° 3. London, Centre for Educational Studies King's College.
- FAIRBROTHER R.W., BLACK P.J. & GILL P. (Eds) (1995). *Teachers Assessing Pupils : Lessons from Science Classrooms*. Hatfield, Association for Science Education.
- GAULD C.F. (1980). Subject oriented test construction. *Research in Science Education*, n° 10, pp. 77-82.
- GIPPS C.V. (1994). *Beyond Testing : Towards a Theory of Educational Assessment*. London, Falmer Press.
- GRISAY A. (1991). Improving assessment in primary schools : «APER» research reduces failure rates. In P. Weston (Ed.), *Assessment of Pupils Achievement : Motivation and School Success*. Amsterdam, Swets & Zeitlinger, pp. 103-118.
- HANEY W. (1991). We Must Take Care : Fitting Assessments to Functions. In V. Perrone (Ed.), *Expanding Student Assessment*. Alexandria, Virginia, Association for Supervision and Curriculum Development, pp. 42-163.
- HARLEN W. & QUALTER A. (1991). Issues in SAT development and the practice of teacher assessment. *Cambridge Journal of Education*, vol. 21, n° 2, pp. 141-152.

- HARLEN W., GIPPS C., BROADFOOT P. & NUTTALL D. (1992). Assessment and the improvement of education. *The Curriculum Journal*, vol. 3, n° 3, pp. 215-230.
- HODSON D. (1986). The role of assessment in the «Curriculum Cycle» : a survey of science department practice. *Research in Science and Technological Education*, vol. 4, n° 1, pp. 7-17.
- HOGUE R.D. & COLADARCI T. (1989). Teacher-based judgments of academic achievement : a review of literature. *Review of Educational Research*, vol. 59, n° 3, pp. 297-313.
- HUNT A. (1993). *Pathways through Science Nuffield Modular Course*. Longmans, Harlow UK.
- IREDALE C. (1990). Pupils' attitudes towards GASP (Graded Assessments in Science Project). *School Science Review*, vol. 72, n° 258, pp. 133-137.
- LABUDDE P., REIF F. & QUINN L. (1988). Facilitation of scientific concept learning by interpretation procedures and diagnosis. *International Journal of Science Education*, vol. 10, n° 1, pp. 81-98.
- LINN R.L. (1989). Current Perspectives and Future Directions. In R.L. Linn (Ed.), *Educational Measurement (3rd Edition)*. London, Collier Macmillan, pp. 1-10.
- MESSICK S. (1989). Validity. In R.L. Linn (Ed.), *Educational Measurement (3rd Edition)*. London, Collier Macmillan, pp. 12-103.
- MOSS P.A. (1992). Shifting conceptions of validity in educational measurement : implications for performance assessment. *Review of Educational Research*, vol. 62, n° 3, pp. 229-258.
- NEWMANN F.M. & ARCHBALD D.A. (1992). The Nature of Authentic Academic Achievement. In Berlak et al. (Eds.), *Toward a New Science of Educational Testing and Assessment*. Albany, State University of New York Press, pp. 71-83.
- NUTTALL D.L. (1987). The validity of assessments. *European Journal of Psychology of Education*, vol. II, n° 2, pp. 109-118.
- PERRENOUD P. (1991). Towards a pragmatic approach to formative evaluation. In P. Weston (Ed.), *Assessment of Pupils Achievement : Motivation and School Success*. Amsterdam, Swets & Zeitlinger, pp. 79-101.
- PERRIN M. (1991). Summative evaluation and pupil motivation. In P. Weston (Ed.), *Assessment of Pupils Achievement : Motivation and School Success*. Amsterdam, Swets & Zeitlinger, pp. 169-173.
- POPHAM W.J. (1987). Two-plus decades of educational research. *International Journal of Educational Research*, vol. 11, n° 1, pp. 31-41.
- RAIZEN S.A., BARON J.B., CHAMPAGNE A.B., HAERTEL E., MULLIS I.V.S. & OAKES J. (1989). *Assessment in Elementary School Science Education*. Washington, National Centre for Improving Science Education.
- RESNICK L.B. & RESNICK D.P. (1992). Assessing the Thinking Curriculum : New Tools for Educational Reform. In B.R. Gifford & M.C. O'Connor (Eds), *Changing Assessments : Alternative Views of Aptitude, Achievement and Instruction*. Boston et Dordrecht, Kluwer, pp. 37-75.
- RUDMAN H.C. (1987). Testing and teaching : two sides of the same coin ? *Studies in Educational Evaluation*, n° 13, pp. 73-90.
- SCOTT D. (1991). Issues and themes : coursework and coursework assessment in the GCSE. *Research Papers in Education*, vol. 6, n° 1, pp. 3-19.
- SIMON S., BLACK P.J., BROWN M. & BLONDEL E. (1994). Progression in Understanding the Equilibrium of Forces. *Research Papers in Education*, vol. 9, n° 2, pp. 249-280.
- STAGE E.K. (1990). The Psychological Costs of Secrecy and the Promise of Openness : the Impact on the Teacher. In J.L. Schwartz & K.L. Viator (Eds), *The Prices of Secrecy : the Social, Intellectual and Psychological Costs of Secrecy*. Cambridge, Massachusetts, ETC Harvard Graduate School of Education, pp. 93-98.

- STIGGINS R.J. (1994). *Student-Centered Classroom Assessment*. New York, Merrill Macmillan.
- TOBIN K., CAPIE W. & BETTENCOURT A. (1988). Active teaching for higher cognitive learning in science. *International Journal of Science Education*, vol. 10, n° 1, pp. 17-27.
- TOBIN K., ESPINET M., BYRD S.E. & ADAMS A. (1988). Perspectives of effective science learning. *Science Education*, vol. 72, n° 4, pp. 433-451.
- TORRANCE H. (1986). Expanding school based assessment : issues, problems and future possibilities. *Research Papers in Education*, vol. 1, n° 2, pp. 48-59.
- TORRIE I. (1989). Developing achievement based assessment using grade related criteria. *Research in Science Education*, n° 19, pp. 286-290.
- WHITE R.T. & GUNSTONE R.F. (1989). Meta-learning and conceptual change. *International Journal of Science Education*, vol. 11, pp. 577-586.
- WITHERS G. (1987). From marking strategy to assessment procedure : a review of recent Australian practices. *Studies in Educational Evaluation*, n° 13, pp. 7-19.
- WOOD R. (1991). *Assessment and Testing : a Survey of Research*. Cambridge, Cambridge University Press.
- ZESSOULES R. & GARDNER H. (1991). Authentic Assessment : Beyond the Buzzword and Into the Classroom. In V. Perrone (Ed.), *Expanding Student Assessment*. Alexandria, Virginia, Association for Supervision and Curriculum Development, pp. 47-71.

Note sur l'individualisation de la formation

Yves CHEVALLARD

IUFM d'Aix-Marseille
32, rue Eugène Cas
13248 Marseille, France

Résumé

Cet article, qui se réfère pour l'essentiel à la formation initiale des professeurs, s'attaque à l'un des principes les mieux acceptés de la pédagogie contemporaine : l'adaptation de la formation aux différences individuelles. L'argument central est que le changement personnel ne peut se réaliser que dans le cadre d'un processus «tribal», par lequel les membres de la «tribu» – du groupe de pairs – s'aident mutuellement à accepter le changement induit par la formation comme une évolution positive. Par opposition avec le concept, facile et quelque peu usé, d'individualisation de la formation, on défend ici la nécessité de penser en termes d'«espèces» plutôt que d'«individus» – changement qui ouvre sur une large gamme de problèmes théoriques et empiriques encore non résolus en recherche en éducation.

Mots clés : individu, institution, personne, tribalité, formation spécifiée.

Abstract

This paper, which refers mainly to preservice teacher training, tackles one chief tenet of present-day pedagogy : that of adapting training to individual differences. The main argument centres on the empirical observation that personal change cannot be but a «tribal» process, in which the members of the «tribe» – the group of peers – help each other to accept the change induced by training as a positive move. In contradistinction to the overused, easy concept of individualised training, we advocate the necessity of thinking in terms of «species» rather than «individuals»,

a change which opens up, both empirically and theoretically, a whole gamut of problems as yet unsolved in the field of education.

Key words : *individual, institution, person, tribality, specified formation.*

Resumen

Este artículo, que se refiere por lo esencial a la formación inicial de profesores, aborda uno de los más aceptados principios de la pedagogía contemporánea : la adaptación de la formación a las diferencias individuales. El argumento central es que el cambio personal no puede realizarse sino en el cuadro de un proceso «tribal», en el cual los miembros de la «tribu» – del grupo de pares – se ayudan mutuamente para aceptar el cambio inducido por la formación como una evolución positiva. Por oposición con el concepto, fácil y un poco gastado, de individualización de la formación, defendemos aquí la necesidad de pensar en términos de «especies» mas que de «individuos», cambio que abre sobre una larga gama de problemas teóricos y empíricos aún no resueltos en la investigación educativa.

Palabras claves : *individuo, institución, persona, tribalidad, formación especificada.*

1. LA FORMATION, LA RECHERCHE ET LE SYSTÈME

1.1. Dans ce qui suit, on se réfère pour l'essentiel (quoique de manière non exclusive, comme on le verra) à la **formation initiale des enseignants**¹, et cela pour mettre en question ce qui semble être devenu aujourd'hui, dans ce domaine, une évidence idéologique quasi indiscutable : l'objectif de parvenir à une **individualisation de la formation**². Mais avant d'entamer le débat sur ce point, il convient de mieux situer et, en pratique, de relativiser, le rôle de la formation des enseignants dans le développement des systèmes d'enseignement. Il est en effet nécessaire, au double plan épistémologique et politique, de rappeler que le thème de la formation ne saurait être considéré indépendamment de deux autres grands thèmes : celui de la **recherche** (en éducation et en formation), et celui du **système** (d'éducation et de formation). Pour mettre en évidence la **dépendance** entre ces trois dimensions du problème général de l'éducation, j'utiliserai un petit apologue qui ne concerne pas l'éducation, mais la **santé**.

1 Rappelons que, en France, la formation initiale des enseignants est désormais confiée aux Instituts Universitaires de Formation des Maîtres (IUFM) ouverts à la rentrée 1991 à raison d'un par académie.

2 Cette Note est issue d'une communication orale faite le 2 septembre 1994 dans le cadre des *Journées de formation des formateurs* organisées par l'IUFM d'Aix-Marseille sur le thème *Individualisation de la formation et différenciation de la formation dans les groupes de formation professionnelle* (Digne, 2 & 3 septembre 1994).

1.2. Soit, vers 1900, deux médecins, l'un bien formé, l'autre moins bien formé, au chevet d'un patient souffrant d'appendicite. Pour l'essentiel ces deux médecins **ne se distinguent pas l'un de l'autre**. Nous sommes en 1900, et, sauf exception, le malade va mourir. La formation de ces médecins, bonne ou mauvaise, ne peut rien contre le fait que **la médecine** – et non la **formation** à l'exercice de la médecine – est, à l'époque, impuissante devant une appendicite. Voilà qui permet d'isoler un premier facteur, au-delà de la formation : la **recherche médicale**, les progrès de la connaissance en matière de santé. Soit, ensuite, deux médecins **d'aujourd'hui**, le premier «bien formé», et le second moins bien formé, au chevet d'un patient atteint d'appendicite. À nouveau, **ils ne se distinguent pas**. Leur formation médicale les conduit en principe, minimalement, à diagnostiquer une appendicite, et tous deux prennent la même décision : envoyer le patient à l'hôpital, où il sera soigné et **guéri** (sauf exception). Voilà donc un second facteur : le **système de santé** lui-même.

1.3. L'histoire peut continuer. Une heure plus tard, voici nos deux médecins face à un malade du sida. Aujourd'hui, pour l'essentiel, ils ne se distingueront pas davantage. Et nous attendons tous le moment – dans cinq ans, vingt ans, cent ans ? – où ils continueront de ne pas se distinguer, **mais autrement**. À nouveau, la question de la recherche surgit. La leçon est claire : **la formation des enseignants n'est qu'un élément du problème politique de la formation**. Les deux autres éléments – la recherche en éducation et en formation, d'une part, le système d'éducation et de formation, d'autre part – **sont au moins aussi importants**. Il y a là une évidence que, pourtant, l'archaïsme épistémologique et culturel du secteur de l'enseignement – à le comparer au secteur de la santé – tend à nous masquer. On verra plus loin en quoi ces deux éléments sont au cœur de la question plus particulière de «l'individualisation de la formation».

2. LA VIE DU SYSTÈME : LES MOTS D'ORDRE PÉDAGOGIQUES

2.1. La vie des systèmes d'éducation, et les politiques d'éducation elles-mêmes, se déclinent en **mots d'ordre**. Telle est l'une des facettes de **l'archaïsme** mentionné plus haut. La noosphère – la sphère où l'on «pense» ce que pourrait être ou ce que devrait être l'enseignement de demain – en est toute bruisante : il y eut, ou il y a, l'école active, l'école centrée sur l'enfant, l'informatique pour tous, le travail autonome, la pédagogie par objectifs, la pédagogie différenciée, l'évaluation sommative et formative, l'enseignement stratégique – j'en passe. Cette litanie appelle une unique remarque. Les «novations» que ces mots d'ordre prétendent susciter, en général **n'en sont pas**. Il y a un temps cyclique de ces doctrines

pédagogiques réduites à une formule plus ou moins bien frappée. Les premières décennies du XIX^e siècle, ainsi, avaient apporté d'Allemagne des consignes qui, mises en français, nous sembleraient à tort typiquement modernes (sur ce thème, voir Cauvin, 1970) : *Lernen des Lernens* (W. von Humboldt, 1767-1835), c'est notre «apprendre à apprendre» ; *Oeffentlichkeit des Lebens* (Herbart, 1776-1841), notre «ouverture de l'école sur la vie». Quant au *Zorn der freien Rede* (Arndt, 1769-1860), que l'on peut rendre par «la fureur de s'exprimer», voilà encore qui sonne étrangement familier, bien qu'un peu désuet aujourd'hui, je crois ; car les mots d'ordre pédagogiques, somme toute, ont la vie courte³.

2.2. Ce caractère pérenne qui marque la vie des systèmes d'enseignement – la production et le «recyclage» de mots d'ordre pédagogiques – présente une spécificité qui mérite d'être soulignée. Dans les sciences et les techniques, l'usage est que, lorsqu'une entité émerge entre les mains du chercheur – qu'il s'agisse d'une théorie, d'une méthode, d'un procédé, etc. –, on étiquette cette entité. À partir d'une certaine étape dans le processus d'émergence de l'entité considérée, le besoin de nomination devient pressant : on a fait quelque chose, un produit s'est élaboré, il convient de nommer ce produit, ne serait-ce que pour s'y référer. (Bien souvent, on manque d'imagination : on donne alors à l'entité nouvelle le nom de son «inventeur»). Or les mots d'ordre pédagogiques semblent fonctionner en sens inverse : autre trait d'archaïsme. Une étiquette – le mot d'ordre – est fabriquée et mise en circulation. Mais le produit reste à construire. Fréquemment il demeure introuvable. D'où le jeu de devinettes auquel sont contraints de se livrer enseignants et formateurs : qu'est-ce que l'individualisation de la formation ? Quels visages concrets une formation individualisée peut-elle, pourrait-elle prendre ? Et que signifie au juste l'expression elle-même ? Reviendrait-il au même de parler de **personnalisation** de la formation ? Ou de **formation modulée** – ce qu'il ne faut de toute façon pas confondre avec une formation «modulaire» ?

2.3. Ces jeux de langage ont, au demeurant, une rhétorique établie : «La pédagogie différenciée. Pour qui ? Avec qui ? Comment ? Pourquoi ? Pour quoi ?» Au mot d'ordre du pédagogue impavide – «il faut individualiser la formation» – répond alors, en écho modulé, l'interrogation apeurée du praticien : «comment individualiser mon enseignement ?» Car la pratique se dérobe, et l'élaboration conceptuelle paraît incertaine. Je note ici une autre conséquence mécanique de cet état de fait : la difficulté à débattre

3 Dans cet éternel retour le changement principal concerne la géopolitique de l'invention pédagogique, laquelle, aujourd'hui, se décline en anglais (et non plus en allemand ou en français), depuis les déjà anciennes *taxonomies of objectives* de Bloom (1956), jusqu'au plus récent *strategic teaching* de Jones, Palincsar, Ogle et Carr (1987), en passant par la *summative evaluation* de M. Scriven (1967) ou le *mastery learning*, la «pédagogie de maîtrise», de Bloom encore.

d'un mot d'ordre pédagogique. Car pour leurs proposants, le travail autonome, ou la pédagogie différenciée, ou l'évaluation formative, ou la pédagogie de maîtrise, ou l'individualisation de la formation, **ce n'est jamais ce que vous dites**. Vous ne connaissez pas la bonne doctrine, vous n'en avez rencontré que des doubles pervers. Ce que vous exposez est peut-être fort juste, mais **ne s'applique pas**. L'incoïncable orthodoxie se définit comme une ligne de fuite, qui renvoie toute analyse non intégriste à l'enfer de l'hétérodoxie.

3. SIGNIFICATION ET BON USAGE DES MOTS D'ORDRE

3.1. Je dirai maintenant pourquoi il convient tout de même que les didacticiens des disciplines se mêlent de ce genre de choses, qui les regarde au plus haut point. Le mécanisme de production d'un mot d'ordre pédagogique se ramène généralement à un schéma fort simple, toujours le même. L'alchimie de l'enseignement met en jeu un grand nombre de facteurs, qui agissent en synergie. Ainsi, il est vrai que, dans une classe réelle, concrète, il y a, **nécessairement**, de l'évaluation, et qui comporte, **nécessairement**, des éléments sommatifs et des éléments formatifs ; il s'y fait en outre, **nécessairement**, du travail autonome ; la pédagogie y prend, **nécessairement**, des aspects différenciés, etc.⁴ Cela étant, pour produire une doctrine pédagogique «nouvelle», on sélectionne alors **l'un** de ces facteurs, et l'on déclare **qu'il est tout**. Lancer une mode pédagogique, c'est en gros prétendre, et faire accroire, qu'un système **complexe** peut être piloté, pour l'essentiel, à partir d'une **unique variable de commande** – la différenciation, l'autonomie, l'évaluation, etc.

3.2. La chose, bien entendu, est peu crédible. Mais elle a son intérêt pour le didacticien même, qui, comme tout scientifique, a tendance à oublier (le mot exact est : **négliger**) des pans entiers des organisations qu'il étudie. Je confesse ainsi que, en didactique des mathématiques, nous avons d'abord collectivement «oublié» que, dans une classe, **il y a de l'évaluation** – fait empiriquement évident, mais que nous regardions alors comme un épiphénomène, inessentiel dans le fonctionnement didactique. Les modes pédagogiques peuvent ainsi jouer un rôle auxiliaire non négligeable dans les progrès de la recherche en didactique et en éducation (voir Chevallard, 1986).

4 Je note en passant que cela permet à quelques enseignants, opportunistes ou naïfs, de prétendre après coup qu'ils ont toujours fait de la pédagogie différenciée, ou du travail autonome, etc. Ceux-là fourniront, sinon les militants, du moins les compagnons de route.

3.3. Il est un autre motif, plus large, à l'intérêt raisonné pour l'analyse des doctrines pédagogiques. Un mot d'ordre pédagogique se présente comme une prescription, comme l'étiquette d'un remède – ou plutôt, trop souvent, d'une panacée, apte à guérir tous les maux. Pour l'observateur, ce remède, pourtant, est d'abord un **symptôme**. Or il n'est justifié, ni scientifiquement, ni politiquement, de négliger un symptôme, dès lors qu'une certaine insistance s'y exprime. Le symptôme n'est certes pas le remède ; il est une concrétisation, plus ou moins spontanée, plus ou moins élaborée, de la réponse globale du système de formation à une certaine agression. Le système réagit face à des modifications affectant son milieu externe ou son milieu interne (et en général les deux). Ce qui se donne pour une solution **est d'abord le signe qu'il y a problème**. De quelle nature est ce problème ? Quelle est l'étiologie du mal dont le symptôme nous parle ? Autant de questions qu'il ne serait pas acceptable, tant au plan scientifique qu'au plan éthique, de ne pas poser. Pourquoi, ainsi, entend-on proclamer qu'il convient d'individualiser la formation ? Qu'est-ce qui cherche à s'exprimer dans ce mouvement qui affecte d'abord les noosphères des systèmes de formation ? Ce sont là, assurément, des questions difficiles. On ne saurait pourtant se prévaloir de la difficulté de la chose pour ne pas tenter, si peu que ce soit, d'y aller voir.

4. INDIVIDUALISME(S) ET CULTURE DE SOI

4.1. Lorsqu'on aborde la question de l'individualisation de la formation⁵, on ne peut ignorer le socle **idéologique** sur lequel reposent nos sociétés : le socle de l'**individualisme** – ou plutôt des individualismes – en lequel Louis Dumont a pu voir le noyau de ce qu'il nomme, au singulier, «*l'idéologie moderne*» (Dumont, 1983). Dans ce que Norbert Elias a baptisé la «société des individus» (*die Gesellschaft der Individuen*), qu'un long mouvement historique a fait émerger (Elias, 1991), l'individu devient la chose importante sinon la valeur ultime – du moins au plan idéologique, car le fonctionnement social, le vécu anthropologique ne répondent pas entièrement à cette exaltation de l'individu. La question est éminemment complexe, et chargée de beaucoup d'ambiguïtés. Mais il paraît hors de doute que les diverses sortes d'individualisme constituent l'humus sur lequel s'élèvent aujourd'hui les analyses et les propositions touchant à l'individualisation de la formation. Et il y aurait lieu à cet égard de procéder à ce que Bachelard eût appelé une «*psychoanalyse*» de la notion d'individu, entreprise dans laquelle nous ne pourrions guère nous lancer *hic et nunc*.

5 Sur le cadre historique dans lequel prend place la question discutée ici, on pourra par exemple se reporter à Legrand (1995).

4.2. Je rappelle cependant un petit nombre de données. *Individuus* traduit en latin le grec *atomos*, «insécable» ; le mot apparaît longuement comme adjectif, et se substantivise d'abord dans la logique médiévale, où l'on distingue les genres, les espèces, enfin les individus – les «atomes». Comme le note Elias (1991, p. 214), «*l'hirondelle qui bâtit son nid sous le toit de ma maison est unique, c'est un individuum. Aucune autre hirondelle ne le fait aujourd'hui en ce lieu. Au sommet des montagnes chaque arbre battu par le vent a sa forme particulière. La mouche qui se promène à l'instant sur la vitre de la fenêtre est un individuum ; aucune autre ne le fait en ce moment. Le mont Blanc est unique ; aucun autre pic n'a la même forme. Tous les êtres pris isolément ont leur propre histoire et leurs particularités individuelles*». On voit ainsi qu'il y a loin de la notion scolastique d'*individuum* à notre notion moderne d'individu ! Le cheminement passe d'abord par la biologie, où l'individu trouve place encore dans la série genre-espèce-individu ; puis le relais est pris par l'économie et la philosophie politique, qui réduisent encore l'extension du concept en même temps qu'ils en compliquent la compréhension : l'individu, désormais, est un être humain, dont l'unicité et l'originalité, ainsi que les droits en tant qu'individu, vont être progressivement affirmés. L'émergence et la diffusion de la notion moderne d'individu, et de quelques autres que nous lui associons – individualité, individualisme –, occupent tout le XIX^e siècle européen.

4.3. J'ai dit plus haut combien nous sommes redevables, lorsqu'il s'agit de penser et de régler la formation, aux pédagogues allemands du XIX^e siècle. S'agissant d'individu et d'individualisme, plus spécialement, on ne peut manquer de se référer à la notion allemande de *Bildung*, c'est-à-dire de culture ou d'éducation de soi – de *self-cultivation* comme disent certains auteurs de langue anglaise. La notion a été essentielle à l'idéologie allemande durant plus d'un siècle. Qu'on en soit conscient ou qu'on l'ignore, elle continue d'alimenter, dans des formes plus ou moins altérées et diluées, les individualismes pédagogiques d'aujourd'hui ; et son étude, pour laquelle je renvoie à nouveau aux analyses de Louis Dumont (1991), serait à l'évidence un élément important de notre «psychanalyse» de la notion d'individu. La notion de *Bildung*, dans ses variantes diverses (celle de Humboldt n'est pas celle de Goethe, par exemple), pose l'individu face au monde : l'individu de la *Bildung* se nourrit du monde, selon une «diététique» qu'il doit chercher constamment à améliorer (la *Bildung* peut occuper toute une vie). Entre l'individu et le monde, il y a une **tension active**, même si son choix diététique – qui vise à développer ses potentialités et à exprimer son originalité (*Eigentümlichkeit*) – peut conduire l'individu à ignorer entièrement certaines des richesses du monde dès lors qu'elles apparaissent **sans affinité** avec ce qu'il y a de **positif** dans sa propre singularité. En conséquence, si l'individu de la *Bildung* est sans doute un aristocrate qui n'a pas besoin de travailler pour vivre, au contraire du bourgeois (sans parler

des prolétaires, qui semblent ici ne pas exister du tout), il n'est pas pour cela – j'utilise le vocabulaire de Louis Dumont – un «*renonçant*», un «*individu-hors-du-monde*», mais bien un «*individu-dans-le-monde*», qui va de soi à soi en passant par le monde.

4.4. La culture en laquelle la *Bildung* peut fleurir suppose ainsi autre chose qu'un repliement sur soi, dans l'ignorance, trop vite repue, ou apeurée, du monde. L'individu est ici un microcosme, qui se rend homologue à la société, même s'il tend en fin de compte à rapporter le monde à soi, en se posant comme la mesure du macrocosme. Ainsi Arndt donne-t-il au verbe *bilden*, «éduquer, former», une acception particulière (Cauvin, 1970, p. 40) : «*faire en sorte que l'homme devienne l'image (Bild), le reflet du monde, et rassemble en lui tous ses aspects*». Il y a là une idéologie d'origine aristocratique qui paraît bien éloignée, par ses fins et ses critères comme par ses moyens, de l'individualisme petit-bourgeois, ou de l'évitement populaire du monde, qui constituent l'essentiel de ce que, dans la formation des enseignants, nous avons à connaître. Je souligne dès maintenant ce point, que je développerai plus loin, et qui a une portée générale : les idéologies individualistes sont en général en décalage par rapport aux besoins véritables des individus.

5. LA SOCIÉTÉ DES INDIVIDUS ET LES INDIVIDUS DE LA SOCIÉTÉ

5.1. À ces vues fort résumées, j'opposerai maintenant une autre vision de l'individu, ou, pour le dire en inversant la formule de Norbert Elias, une autre vision «des individus de la société», des individus concrètement déterminés. Dans un glossaire appendu à ses *Essais sur l'individualisme*, déjà mentionnés, Louis Dumont note, à l'entrée *INDIVIDU* :

En fait d'individu ou d'homme individuel il faut distinguer :

1) le sujet empirique, échantillon indivisible de l'espèce humaine, tel qu'on le rencontre dans toutes les sociétés ;

2) l'être moral, indépendant, autonome, et ainsi (essentiellement) non social, tel qu'on le rencontre avant tout dans notre idéologie moderne de l'homme et de la société.

Je prendrai ici le mot d'individu dans l'acception 1. Au-delà, nous entrons dans un grand problème, auquel l'idéologie moderne apporte une solution à mes yeux erronée, que condense l'acception 2 enregistrée par Dumont. À partir de la notion d'individu ainsi délestée de ses accrétions

6 Sur les notions utilisées ici, on pourra se reporter à Chevallard (1992).

individualistes, je définis les notions de **sujet** puis de **personne**, de la manière suivante⁶. Le point de départ est la notion d'**institution**, soit, pour emprunter à Marcel Mauss (cité in Dumont, 1991, p. 112), «*un ensemble d'actes ou d'idées tout institué que les individus trouvent devant eux et qui s'impose plus ou moins à eux*». (Ainsi la langue, ou plutôt **cette** langue, la famille, ou plutôt **cette** famille, l'école, etc., sont-elles des institutions.) En entrant dans les institutions, les individus en deviennent les **sujets** : ils leur deviennent assujettis. La **personne** émerge du complexe d'assujettissements auquel est soumis l'individu. L'individu est l'invariant, le substrat ; la personne est ce qui peut changer, et qui change en même temps que changent les assujettissements de l'individu. La personne est à chaque instant une singularité de l'espace social, dont elle ne saurait être dissociée.

5.2. Le langage ainsi introduit est sans doute un peu rude. Il l'est volontairement, mais il l'est en fait beaucoup moins qu'on ne pourrait le croire *a priori* : il ne faut pas, en effet, se laisser prendre au piège des connotations négatives que prend, dans nos cultures individualistes, le mot d'assujettissement. «Assujettir» signifie *maintenir en place*. Nos assujettissements sont ce qui nous maintient en place, ce qui nous maintient debout, ce qui fait de nous des personnes en nous donnant notre puissance d'action et de pensée. L'effondrement des assujettissements signifie la mort de la personne et, à la limite, de l'individu. Voilà, anthropologiquement, un fait de base. J'en ajoute un autre : nous ne sommes pas l'ensemble de nos assujettissements, mais un **émergent** de cet ensemble. C'est ici que notre sentiment – et la réalité à laquelle il fait écho – trouve sa condition de possibilité que, en tant que nous sommes des personnes, nous sommes (relativement) **libres** et, en quelque sorte, (relativement) **autonomes**. Constamment, pour éprouver notre liberté de personnes, **nous jouons un assujettissement contre d'autres**, dont ainsi nous secouons le joug (non sans contrepartie : en nous privant momentanément de la puissance qu'ils nous donnaient, et que nous recouvrerons en les retrouvant). À la limite, pour se libérer, on crée un nouvel assujettissement, volontairement : ce que fait le patient qui s'engage dans une relation psychanalytique, ou le scientifique qui crée une théorie pour, **en s'y assujettissant, se déconditionner de manières de penser et de faire qui l'entravent**.

5.3. La formation d'une personne est ainsi l'histoire d'une succession d'assujettissements, depuis le stade d'*infans* – car l'*infans* est, bien entendu, une personne, au sens où j'emploie ce mot. Il y a des assujettissements que nous ne choisissons pas, parce que nous n'avons pas la puissance de ne pas nous y soumettre. Ainsi l'*infans* est-il normalement assujetti à sa mère, à l'odeur de sa mère par exemple – ce qui constitue un assujettissement radical (sur ce point, voir par exemple Dolto, 1987). Mais la personne –

fût-elle une «petite personne» – peut aussi choisir ses assujettissements futurs (en s'appuyant pour ce faire sur ses assujettissements existants), et cela en particulier parce qu'elle désire «se former» : le désir de formation, qui est au cœur de l'idéologie et de la pratique de la *Bildung*, est sans doute ce qu'il y a de plus problématique dans l'entreprise visant à individualiser la formation. En sens inverse, pourtant, à un moment ou à un autre, la personne cesse d'être capable d'assumer de nouveaux assujettissements (ou du moins certains types d'assujettissements nouveaux). J'ai appelé *adultisme* cet état limite, qu'on atteint plus ou moins tôt – certains y arrivent très jeunes –, et à partir duquel la personne, ne changeant plus, **se naturalise en individu**. J'observe à ce propos – désir de formation ou incapacité à assumer de nouveaux changements – que, dans les analyses et propositions relatives à l'individualisation de la formation, c'est du côté de **l'institution de formation et du formateur** que l'on se place, comme si la réussite de l'entreprise ne dépendait que d'eux, sans que le désir **personnel** de *Bildung* des «sujets» de l'institution soit apparemment mis en cause ; sans que la culture dans laquelle baignent ces personnes que sont les sujets de l'institution, culture qui soutient leur désir ou au contraire l'entrave, soit en aucune façon concernée. Le désir, comme l'intendance, suivra, semble-t-on souvent nous dire. Il y a là, à mes yeux, un symptôme de ce que ces tentatives-là **ratent la personne**, et, malgré qu'on en ait, ne reconnaissent guère que **l'individu**.

5.4. Mais supposons un instant que le désir de *Bildung* existe. Le choix d'assujettissements peut alors être un mauvais choix : nous touchons là, évidemment, à la dimension *normative* de la formation. Dans *Les années d'apprentissage* de Wilhem Meister (1829), l'ouvrage que Goethe a consacré expressément à la *Bildung* – et qui est le prototype de ce qu'on appellera plus tard dans le siècle le *Bildungsroman* (Dilthey, 1870), le roman d'apprentissage – le héros, Wilhem, croit d'abord à sa vocation théâtrale. De mystérieux personnages, qui surgissent de loin en loin sur sa route, l'amèneront finalement à comprendre qu'il se fourvoie. La formation n'est plus seulement, ici, un processus **duel**, qui met aux prises, sans médiation, un individu-sujet (Wilhem) avec des institutions assujettissantes (la pratique théâtrale, par exemple). **Une tierce instance apparaît**, l'institution de formation – qui, dans le cas évoqué, se contente d'un interventionnisme tempéré. Mais la leçon est claire : la formation ne peut être laissée au hasard du désir et du non-désir, au jeu des malentendus entre soi et soi. La personne ne peut trouver seule la nourriture la plus adéquate à l'expression de son originalité. C'est en ce point évidemment que nous pénétrons au cœur de notre sujet : en quoi peut-on aider les individus à se former, c'est-à-dire à devenir des personnes de telle ou telle «espèce» ?

6. OFFRE DE FORMATION, OFFRE DE DISCIPLINE

6.1. Je m'arrêterai sur certaines difficultés génériques que rencontre toute intention de formation, et donc toute institution de formation, et encore toute personne qui veut se former. J'ai utilisé jusqu'ici le mot d'assujettissement. Je dirai maintenant ceci : devenir sujet d'une institution, c'est se soumettre à une **discipline** institutionnelle. La personne se constitue en se disciplinant. (Elle est, je le rappelle, toujours «multidisciplinée».) Par là, elle se dépouille de sa sauvagerie native pour se civiliser. Norbert Elias a étudié le «processus de civilisation» (*Über den Prozess der Zivilisation*, 1939) qui, historiquement, a fabriqué la société des individus⁷. Mais toute formation est aussi, **au plan de l'individu lui-même**, un processus de civilisation. Le terme a ici, bien entendu, un sens tout relatif : il s'agit de la civilisation telle que la définit une institution ou un complexe donné d'institutions – nous sommes toujours le sauvage de quelque institution.

6.2. Je pose en ce point un postulat anthropologique : l'individu humain, pour survivre, pour exister en tant que personne du moins, doit satisfaire un **besoin de discipline**, qu'il cherchera d'une manière ou d'une autre à satisfaire. Il le fera en se soumettant à la discipline d'une troupe de théâtre, ou d'une bande (la délinquance est aussi un mode de disciplinarisation), à celle d'une secte, d'une église, d'un parti politique, etc. Ou, bien sûr, à celle d'un savoir : ce n'est pas pour rien que l'on parle de **discipline** mathématique, historique, littéraire, etc. Se pose alors un triple problème : tout d'abord, il convient de reconnaître et d'assumer ce besoin de discipline, consubstantiel à la constitution des personnes ; ensuite, il convient d'adapter **l'offre de discipline** – c'est-à-dire **l'offre de formation** – à la fois aux possibilités des personnes et aux «espèces» de personnes que l'on veut, à partir de là, former. Je souligne en ce point un fait qui me paraît empiriquement évident : la formation scolaire française procède aujourd'hui en proposant à ses sujets pour l'essentiel des disciplines de l'intellect, au détriment des disciplines du **corps** et de ce qu'on peut appeler les disciplines **de la vie quotidienne**. En cela, elle fait la part belle à ceux – toujours les mêmes – pour qui ces besoins disciplinaires de base **sont déjà satisfaits hors de l'école**. On sait d'ailleurs que, dans ces milieux sociaux où nombre de disciplines se sont écroulées, l'école propose une offre de formation qui ne rencontre que très partiellement le désir des jeunes, **lesquels ont pourtant de vifs désirs de discipline**, c'est-à-dire de puissance et de liberté : **rap, rock, basket de rue**, etc. L'école apparaît ainsi comme une institution dont beaucoup de ces jeunes sont très largement incapables de devenir les sujets. Le rendement de l'école, en termes de formation, tend alors vers

7 Une traduction française (incomplète) de l'ouvrage de 1939 a été publiée en deux volumes différents : voir Elias (1973) et Elias (1975).

zéro ; et le besoin de discipline – de formation – est pris en charge par d'autres institutions et d'autres «formateurs» – police, armée, sécurité routière, Ministère de la culture, etc. Ainsi émerge une spécialisation sociale dans l'offre de discipline qui paraît n'avoir pas été réellement pensée, ni voulue – et que nombre d'enseignants paraissent totalement ignorer.

7. LA FORMATION, UN PROCESSUS TRIBAL

7.1. L'assujettissement à une institution, l'entrée dans une discipline institutionnelle vont rarement de soi, parce qu'ils perturbent le système des assujettissements qui **font** la personne. Dans l'ordre des apprentissages, par exemple, on doit presque toujours apprendre **contre** des assujettissements auxquels peut-être, à son insu même, **on tient plus qu'à tout**. Un enseignement s'accompagne d'une multiplicité d'**agressions cognitives**, auxquelles le sujet va réagir. Dans certains cas, sans doute, il ne sera que trop heureux de jouer cet assujettissement nouveau contre d'autres, dont il voudra se libérer : il sera alors un bon, un trop bon sujet de l'institution – laquelle tendra à oublier qu'il n'est pas **que** son sujet, mais qu'il est une personne, et qui la «trompe» nécessairement avec d'autres institutions. Dans d'autres cas, au contraire, il résistera, afin de préserver certains assujettissements anciens, vécus par lui comme **vitaux**, préférant délibérément passer, dans l'institution où il entre, pour un «mauvais sujet».

7.2. Je recourrai à un exemple emprunté à l'enseignement des langues. Personne ne doute de la capacité et du grand savoir-faire des professeurs d'anglais de nos collèges et lycées. Pourtant à eux tous ils sont bien incapables de faire que ces jeunes qui sont leurs élèves, mais qui sont aussi des personnes faites de bien d'autres assujettissements, ne prononcent *didji* le sigle DJ (pour *disc jockey*), par lequel ils désignent un animateur de discothèque. Pourtant ces élèves ont appris, je le suppose aussi, que, en anglais, la lettre *j* se prononce [dzei] tandis que c'est la lettre *g* qui se prononce [dzi:] (comme dans *G.I.*). Au demeurant, le sigle DJ s'écrit aussi en anglais *deejay* (et non *deejee*). Que se passera-t-il, pourtant, si l'un d'eux, hors de la classe d'anglais, parmi ses copains avec qui il «va en boîte», se met soudain à prononcer *deejay*, c'est-à-dire à prononcer «correctement» ? Il subira d'abord les railleries de ses pairs, première étape d'un processus de stigmatisation qui pourrait conduire ultérieurement à une marginalisation, voire à une exclusion du groupe. Mais il est plus que probable qu'il préférera passer pour un mauvais sujet face au professeur d'anglais plutôt que face à ses copains et, à vrai dire, **face au reste de la société française**, où l'on prononce *didji*. D'une manière générale, cette institution qu'est l'enseignement de l'anglais, qu'on ne fait que traverser, se

heurte à une institution autrement prégnante, celle du français courant tel que **l'élève le parle avec tous ceux qui comptent vraiment pour lui**. Toute formation comporte ainsi un risque consubstantiel à l'intention (et à la promesse) de formation : celui d'attenter à l'identité personnelle des sujets de la formation, en brisant certains des assujettissements jusque-là constitutifs de leur personne⁸. Il faut ainsi bien de l'audace à un jeune Français pour accepter de se mettre un jour à parler l'anglais avec ce que les enseignants spécialistes de cette langue appellent un accent «authentique». Car ce changement n'est pas seulement difficile en soi (pour des raisons physiologiques, etc.) ; il est, comme le dit bien l'expression consacrée, difficile à vivre. Tout à coup, voilà que vous ne parlez plus anglais «comme tout le monde»⁹.

7.3. Face à cette menace fondamentale, une réaction anthropologique invariante s'observe, fondée sur un principe très simple : on peut supporter le changement **si l'on change ensemble**, chacun étant le témoin du changement des autres, et témoignant de son acceptation **non pas tant de son propre changement que du changement des autres**. Tel est le schéma par lequel on a répondu depuis toujours, de manière apparemment indépassable, à une difficulté elle-même incontournable. Seuls quelques-uns peut-être peuvent changer tout seuls, **solitairement**. Et encore ! Même Einstein travaillait, sinon en bande, du moins à deux : avec sa femme Milena, avec Michele Besso, qu'il appelait sa «*caisse de résonance*», avec Marcel Grossmann, avec et contre Heisenberg, etc. Les autres – l'immense majorité – changent **solidairement**, au sein d'un groupe, d'une bande, d'une tribu, d'une classe, d'un «collège invisible». Aussi **l'apprentissage**,

8 J'ajoute ici deux autres exemples d'agression cognitive observés récemment. Le premier relève des mathématiques. Lors de la correction d'une épreuve de préparation au CAPES, les étudiants se refusent à accepter l'assertion suivante, qui va de soi pour tout mathématicien (et en particulier pour tous leurs formateurs) : *soit l'ensemble $P = \{ p \text{ entier } > 0 / \text{ pour tout entier } r > 0, \text{ si } r < p \text{ alors } R(p,r) \}$, où R est une certaine relation ; alors 1 est élément de P* . Le second concerne des élèves-professeurs de mathématiques et relève de la sociologie : il concerne l'assertion (vraie, et connue depuis les travaux d'Adolphe Quételet dans les années 1830) selon laquelle le taux de suicide croît avec l'âge. Cette assertion, présentée à ces élèves-professeurs précisément comme exemple d'une agression cognitive commise régulièrement à l'encontre des étudiants en sociologie (voir par exemple Baudelot et Establet, 1990), ouvrit dans le groupe concerné un débat d'une rare violence qui dura plusieurs semaines... Chacun de ces conflits s'est réglé, de fait, par le recours à l'autorité professorale (collective dans les deux cas), sans que les étudiants se déclarent convaincus. Les exemples de telles situations fourmillent en physique, en biologie, etc.

9 Dans la ligne des considérations précédentes, on rappellera le fait historique suivant : en pays d'oc, l'école de la République, qui a délibérément rompu l'un des assujettissements les plus vitaux sans doute, celui de la **langue maternelle**, a imposé la langue française à travers son **lexique** et sa **syntaxe** essentiellement ; elle a toutefois assez largement renoncé, et cela de manière quasi officielle, à modifier la **phonétique** – «l'accent» –, assujettissement vécu sans doute comme plus vital encore par les populations concernées, qui sont demeurées jusqu'à aujourd'hui, de manière majoritaire, «phonétiquement occitanophones».

celui du jeune élève comme celui du savant¹⁰, **est un processus tribal**. Je vivrai bien mon accent anglais «authentique» si c'est comme cela que l'on parle anglais dans mon groupe d'appartenance. La protection qu'assure la tribu permet aux personnes d'évoluer et d'assumer le changement. Et c'est cela que l'on oublie lorsqu'on parle d'individualiser la formation. À strictement parler, l'individualisation est **impossible**. La «tribu» est la condition de possibilité du changement des personnes, et donc le lieu de la **personnalisation**. Nous sommes davantage liés dans le changement que dans la permanence.

8. NON PAS INDIVIDUALISER, MAIS SPÉCIFIER LA FORMATION

8.1. Le phénomène qui permet la formation – l'appartenance forte à une tribu en changement – peut aussi bloquer la formation : nos élèves sont des personnes arrimées à des institutions dont bien souvent nous ne soupçonnons même pas l'existence, et auxquelles ils tiennent beaucoup plus que nous pourrions le penser. C'est ainsi que, me semble-t-il, les élèves-professeurs des IUFM, et même parfois les étudiants qui, en première année, préparent les concours de recrutement, sont déjà fortement touchés d'adultisme. En outre, l'institution de formation professionnelle, l'IUFM, a un terrible rival : la profession elle-même, qui s'empare des personnes dont elle fait ses sujets avec une violence extrême, et pour laquelle beaucoup d'entre eux éprouvent trop vite une trop grande «passion institutionnelle». Ce qui frappe, à cet égard, ce n'est pas tant que quelques-uns de nos élèves-professeurs aient du mal à devenir de bons sujets de cette institution qu'est le métier d'enseignant tel qu'il existe aujourd'hui ; c'est bien que la plupart d'entre eux s'assujettissent si facilement, si passionnément à une si stricte observance. J'ajoute à cela qu'une institution de formation professionnelle doit **retarder**, et non accélérer, la professionnalisation, et cela pour une raison fort simple : parce que le **désir d'enseignement** est presque toujours, aussi, un obstacle au **désir de formation à l'enseignement**.

8.2. Pour être différent de celui qui se pose dans le primaire ou le secondaire, le problème de changement que les IUFM doivent résoudre, dans le concret de leur fonctionnement quotidien, n'en est pas moins difficile. À un certain niveau d'analyse, surtout, **le principe de la solution est le même**. Toute institution de formation, quel que soit son style, **doit assumer sa fonction sociale de contre-institution**, et doit faire vivre des «contre-tribus», afin même d'assurer sa mission de formation. Ces contre-

10 Sur les tribus d'appartenance du «jeune Einstein», voir par exemple Feuer (1978).

tribus doivent à la fois faire accepter et permettre le changement recherché, **tout en en limitant les effets destructeurs sur les personnes**. Aussi doit-on les approprier, sinon aux personnes dans la singularité de **tous** leurs assujettissements, ce qui est le fantasme de «l'idéologie moderne» (dont l'impossible réalisation supposerait un labeur infini, toujours recommencé), mais aux **espèces** de personnes qui se ressemblent sous le rapport des assujettissements que la formation proposée sollicite ou met en cause. C'est pourquoi je parlerai, non d'individualisation de la formation, mais de **spécification** de la formation ; non de formation individualisée, mais de formation **spécifiée**.

8.3. La notion de formation spécifiée présente un avantage qui n'est peut-être pas du goût de tout le monde : elle fait apparaître les ruptures et les évolutions qui ont affecté et continuent d'affecter les modes de formation scolaires sur le fond d'une **vaste continuité historique**. C'est ainsi que l'organisation en **classes** successives, soit l'étalement de la formation dans la durée d'un **cursus** d'études – qui pour nous va de soi aujourd'hui mais qui a constitué un progrès historique net (voir Chevallard & Mercier, 1987) – peut être regardée comme un mode de spécification **diachronique**, où les «tribus» sont les différentes classes qui se succèdent. Ce mode de spécification-là apparaît aujourd'hui insatisfaisant, parce qu'insuffisant, même s'il demeure, par habitus culturel, le premier réflexe en matière de spécification de la formation¹¹. En contrepoint à ce mode traditionnel de spécification, il convient donc d'imaginer et de faire vivre des modes de spécification **synchronique**.

8.4. C'est poser là un difficile problème, qui ouvre en fait tout un **domaine de recherches théoriques et empiriques** sur lequel je ne ferai ici qu'un petit nombre de remarques brèves. La notion de spécification de la formation repose sur la notion d'espèce. Les «espèces» ne sont pas intrinsèquement données avec les personnes qui deviennent sujets de l'institution de formation : elles naissent de **l'interaction** entre l'institution et ses sujets. Le processus de «spéciation» – de création de ces espèces – dépend ainsi pour une part essentielle de l'institution de formation et, plus précisément, des **disciplines de formation** auxquelles elle entend soumettre ses sujets. Face aux disciplines proposées par l'institution, en effet, certains des assujettissements constitutifs des personnes-sujets de l'institution vont apparaître comme **sensibles**, positivement ou négativement, c'est-à-dire vont fonctionner soit comme points d'appui, soit comme obstacles dans le processus d'assujettissement visé par l'institution. Une **espèce** (pertinente par rapport à l'institution) sera alors constituée de l'ensemble des sujets de

11 C'est de ce réflexe que relèvent encore, par exemple, l'organisation des cycles à l'école élémentaire, ou l'idée de «différenciation des **parcours** de formation», même s'il s'agit bien par là de diminuer la rigidité de l'organisation temporelle traditionnelle de la formation scolaire.

l'institution qui, en tant que personnes, sont «faits» d'un même ensemble d'assujettissements sensibles. Ce début de formalisation du problème posé – je n'irai pas plus loin ici dans cette voie – suffit, me semble-t-il, pour mesurer l'immensité de la tâche qui attend à cet égard les chercheurs et les responsables de formation. Car que savons-nous aujourd'hui, par exemple, des espèces pertinentes vis-à-vis de ces institutions de formation que sont les IUFM ? Quelles listes d'assujettissements sensibles pourrions-nous produire en fonction des différentes «populations» que les IUFM doivent «discipliner» ? Et, le cas échéant, quelle formation spécifiée pourrait-on proposer à telle espèce supposée bien repérée ? Autant de questions **ouvertes**.

8.5. J'ajoute à cela, enfin, une ultime remarque. Certains des assujettissements sensibles sont **visibles** depuis l'institution – ils relèvent de l'espace **public** de l'institution – tandis que d'autres demeurent non visibles – ils relèvent de l'espace **privé** des personnes sujets de l'institution. Je souligne que la distinction privé/public n'a aucun caractère absolu, intrinsèque, intangible, même si elle n'est jamais arbitraire : elle dépend du **champ de visibilité** que, à un moment donné de son histoire, **l'institution a su se donner**. À cet égard, je note que, par leur tendance à fétichiser la «vie privée» – la *privacy* chère aux cultures de langue anglaise –, les divers individualismes apparaissent comme un obstacle à la visibilité institutionnelle, et donc au processus de spécification de la formation : l'individualisme entre ainsi en contradiction avec «l'individualisation» de la formation et, plus généralement, avec tout projet visant à satisfaire au plus près les besoins de formation des individus en tenant compte des assujettissements vitaux des personnes. Cela noté, nulle institution de formation ne saurait prendre en charge **tous** les assujettissements sensibles de ses élèves – promesse nécessairement non tenue du mot d'ordre d'individualisation. À cet égard, la notion de spécification permet de concevoir des progrès **limités** mais réels, et de maintenir le cap d'une ambition nécessaire contre les chimères de «l'idéologie moderne». Elle rappelle en particulier que la clé du problème de la formation n'appartient pas à la seule institution de formation : solidairement avec le travail de l'institution sur elle-même, il faut compter avec et sur le travail personnel des formés eux-mêmes **sur leurs propres assujettissements** – travail dont le dynamisme et la pertinence sont le critère d'une culture de la *Bildung* véritablement partagée.

BIBLIOGRAPHIE

- BAUDELLOT C. & ESTABLET R. (1990). *Durkheim et le suicide*. Paris, PUF.
- BLOOM B.S. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives*. New York, David McKay Company.
- CAUVIN M. (1970). *Le renouveau pédagogique en Allemagne de 1890 à 1933*. Paris, Armand Colin
- CHEVALLARD Y. (1986). Vers une analyse didactique des faits d'évaluation. In J.-M. De Ketele (Ed.), *L'évaluation : approche descriptive ou prescriptive ?* Bruxelles, De Boeck-Wesmael, pp. 31-59.
- CHEVALLARD Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 12, n° 1, pp. 73-111. Grenoble, la Pensée Sauvage.
- CHEVALLARD Y. & MERCIER A. (1987). *Sur la formation historique du temps didactique*. Marseille, Publications de l'IREM d'Aix-Marseille.
- DOLTO F. (1987). L'apparition du *je* grammatical chez l'enfant. In *Sur l'individu*. Paris, Le Seuil, pp. 73-87.
- DUMONT L. (1983). *Essais sur l'individualisme. Une perspective anthropologique sur l'idéologie moderne*. Paris, Le Seuil.
- DUMONT L. (1991). *Homo Aequalis II. L'idéologie allemande. France-Allemagne et retour*. Paris, Gallimard.
- ELIAS N. (1973). *La civilisation des mœurs*. Paris, Calmann-Lévy.
- ELIAS N. (1975). *La dynamique de l'occident*. Paris, Calmann-Lévy.
- ELIAS N. (1991). *La société des individus*. Paris, Arthème Fayard.
- FEUER L.S. (1978). *Einstein et le conflit des générations*. Paris, Complexe.
- JONES B. F., PALINCSAR A. S., OGLE D. S. & CARR E. G. (Eds) (1987). *Strategic Teaching and Learning : Cognitive Instruction in the Content Areas*. Elmhurst, North Central Regional Educational Laboratory.
- LEGRAND L. (1995). *Les différenciations de la pédagogie*. Paris, PUF.
- SCRIVEN M. (1967). The Methodology of Evaluation. In *Perspectives of Curriculum Evaluation*. Chicago, Rand McNally.

Réponse à un point de vue

Réponse au point de vue de P.L. LIJNSE paru dans *Didaskalia* n° 3 : «La recherche-développement : une voie vers une «structure didactique» de la physique empiriquement fondée»

Samuel JOHSUA

Université de Provence
UFR Sciences de l'Éducation
Bureau 169
Avenue Robert Schuman
13100 Aix-en-Provence, France.

Le texte de P.L. Lijnse a le grand mérite de focaliser notre attention sur l'organisation et le déroulement effectif des enseignements de science. Se focaliser, pour des raisons tout à fait légitimes de recherche, sur l'éclaircissement des processus de raisonnement des élèves, peut conduire à se tenir durablement à l'extérieur des actes d'enseignement proprement dits. Quand l'auteur appelle à la mise au point de «*structures didactiques*» efficaces, il désigne incontestablement une cible importante, même s'il faut signaler que cette préoccupation n'est pas si nouvelle (parmi une importante littérature, on pourrait citer Barboux et al., 1987 ; Johsua & Dupin, 1989 ; Séré & Tiberghien, 1989 ; Weil-Barais & Lemeignan, 1990 ; Kaminski, 1991). Il faut de même saluer la vigoureuse description que fait Lijnse des actes d'enseignement comme actes fondamentalement sociaux.

Mais s'il en appelle à une approche «*plus empirique*», il s'appuie pourtant sur une base bien théorique, fort explicite, qui pour le moins demande à être discutée. Il fait référence à Davidson, philosophe fort couru aux États-Unis, qui, avec quelques autres comme Rorty, renouvellent le pragmatisme de Dewey. Le «*principe de charité*» de Davidson tient en ceci :

«Il suffit de réfléchir à ce qu'est une croyance pour se convaincre que la plupart de nos croyances sont vraies, et que parmi nos croyances, celles auxquelles nous faisons le plus confiance, et qui se montrent cohérentes par rapport au corps principal de nos croyances, sont celles qui ont le plus de chances d'être vraies.» (Davidson, 1986)

Tout est là, en effet. Les «croyances» des gens sont-elles correctes pour l'essentiel ? La réponse à mes yeux ne fait guère de doute, et doit être positive. Sinon, comment l'humanité survivrait-elle ? C'est l'argument fort des pragmatistes, confirmé d'ailleurs par la recherche didactique récente : dans la vie courante, les «modèles implicites» utilisés par tout un chacun dans le traitement des actions mécaniques, du mouvement et de l'espace sont pertinents dans une mesure bien assez grande. Mais le problème surgit de cette affirmation même. Ces savoirs quotidiens, partagés par tous, nul besoin de l'école pour les enseigner. Si ceux-là sont visés, quel besoin d'une longue réflexion sur les «structures didactiques» à mettre en place ? Si l'école existe, c'est que certains de ces savoirs, rares sans doute, ne se construisent pas sur ce modèle «spontané», mais nécessitent une acculturation spécifique.

Autrement dit, l'école traite des cas où les «croyances» ne sont justement pas «correctes pour l'essentiel». Et là surgit un second problème bien mis à jour par les recherches sur les «conceptions des élèves» : non seulement ces nouvelles conceptions ne surgissent pas directement de la vie quotidienne, mais elles peuvent être longtemps concurrentes à celles qui sont produites «naturellement». Les auteurs semblent entériner l'idée que cette conclusion n'est qu'une fantaisie de chercheurs. Mais si cela était vrai, pourquoi, dans l'histoire de l'humanité, a-t-il fallu attendre si longtemps pour que les modèles scientifiques voient le jour ? À moins d'admettre comme de nombreux pragmatistes, que ces savoirs sont des «croyances» comme les autres, ni plus ni moins ? Discuter cette affirmation nous emmènerait trop loin. Mais à supposer qu'on la retienne, qu'est-ce qui justifierait alors un quelconque programme d'éducation scientifique ?

J'avance une affirmation polémique : à mon sens, l'échec des programmes d'orientation dite *Science, Technology, Society* n'a pas d'autre racine. Soit ces programmes traitent de ce que tout le monde connaît déjà, ou peut connaître à peu de frais (les croyances «justes pour l'essentiel»), soit ils pensent escamoter les inévitables ruptures entre ce que tout le monde connaît déjà et les pratiques scientifiques. Dans le premier cas, quel intérêt de faire cela à l'école ? Dans le deuxième cas, l'échec est garanti. Il serait dommage de se laisser enfermer dans une alternative de ce genre. D'autant qu'un auteur comme Rommetveit, un très intéressant psychologue d'orientation pragmatiste et interactionniste, fait soigneusement une distinction pour les savoirs qu'il appelle «techniques», qu'il présente comme

sortant justement de la description strictement pragmatiste, du moins tant qu'ils ne sont pas suffisamment partagés par la culture. C'est pour ces savoirs là que l'École apparaît nécessaire.

Si on admet qu'il y a là un problème objectif, et non seulement le fruit d'une mauvaise volonté pédagogique, il faut d'autres outils didactiques pour y faire face. Par exemple, si le savoir présent en classe n'est pas une «croyance» comme les autres, il n'est pas non plus le Savoir tout droit descendu du monde platonicien des idées pures. Il est marqué par les institutions où il vit, ici en l'occurrence l'école. C'est tout le problème de la *transposition didactique* qu'une réflexion précise sur les savoirs scolaires par rapport aux savoirs quotidiens ne peut manquer de faire surgir. De plus, comme ces savoirs scolaires correspondent justement aux cas rares où ils ne peuvent être ramenés aisément à des croyances «justes pour l'essentiel», leur contenu ne peut être le même pour l'enseignant qui en dispose déjà d'une certaine manière, et l'élève qui doit se l'approprier. En conséquence, la construction, indispensable, d'un «espace commun de significations» entre maître et élèves, ne relève pas de la seule bonne volonté, mais concentre au contraire toute la tension didactique. C'est pourquoi on ne peut réduire strictement le problème didactique à celui d'une communication sociale ordinaire, fût-ce sur le mode asymétrique adulte-enfant décrit par Bruner. Ce qu'on appelle dans la littérature didactique francophone le *contrat didactique* n'est pas un contrat élucidable par le seul langage, mais un rapport éminemment contradictoire.

C'est un travail long de tenir compte de ces contraintes. Mais sauter à pieds joints au-dessus de ces difficultés ne peut que laisser présager des désillusions futures.

BIBLIOGRAPHIE

- BARBOUX M., CHOMAT A., LARCHER C. & MÉHEUT M. (1987). Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième. In J.-L. Martinand et M. Caillot (Eds), *Enseignement et apprentissage de la modélisation : quantité de mouvement, modèle particulière*. Paris, LIRESP, pp. 9-76.
- DAVIDSON D. (1986). *A coherence Theory of Truth and Knowledge*. In E. Le Pore (Ed.), *Truth and Interpretation : Perspectives on the Philosophy of Donald Davidson*. Oxford, Blackwell, p. 139.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le «débat scientifique» dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne, Peter Lang.
- KAMINSKI W. (1991). *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisonnements et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement*. Thèse, Université Paris 7.
- SÉRÉ M.-G. & TIBERGHEN A. (1989). La formation des concepts décrivant les états de la matière au collège. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 911-930.

Apprentissage de l'expérimentation en physique

I - La place de l'expérimentation dans les concours de recrutement

Françoise PERROT* , Mireille TADJEDDINE

Département de Physique
École Normale Supérieure de Cachan
94235 Cachan cedex, France.

* Adresse actuelle :
Université de Cergy Pontoise
PSBT
95806 Cergy Pontoise cedex, France.

Résumé

La spécificité de l'enseignement des sciences physiques est appréhendée à partir du texte officiel sur les «capacités ayant trait aux contenus et à la démarche scientifique», paru dans le Bulletin Officiel du 9 Juillet 1987. Nous analysons ensuite, à travers les concours de recrutement (CAPES et Agrégation externes), comment est prise en compte l'aptitude à une démarche scientifique dans le domaine expérimental et combien est nécessaire une préparation sérieuse pour l'acquisition des savoir-faire indispensables.

Mots clés : *physique expérimentale, objectifs, contenu, évaluation, concours de recrutement des professeurs.*

Abstract

The specific character of physical sciences teaching is studied from the official text on the «capacities related to the content and the scientific approach» published in the BOEN (9 July 1987). We analyse, through the competitive examination for teaching (CAPES and Agrégation) how the aptitude to develop a scientific approach in the experimental field is taken into account, and to what extent it is necessary to have good training in order to develop essential «know-how».

Key words : *experimental physics, goals, contents, valuation, competitive examination for teaching.*

Resumen

La especificidad de la enseñanza de las ciencias físicas es aprehendida a partir del texto oficial sobre las «capacidades concernientes a los contenidos y al proceso científico», aparecidas en el Boletín Oficial del 9 de julio de 1987. Nosotros analizamos a continuación, a través de los concursos de reclutamiento (CAPES y Agregación externa) cómo es tomada en cuenta la aptitud en un proceso científico en el dominio experimental y cuánto es necesaria una seria preparación para la adquisición de los saber-hacer indispensables.

Palabras claves : *física experimental, objetivos, contenido, evaluación, concursos de reclutamiento de profesores.*

1. LA SPÉCIFICITÉ DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES PHYSIQUES

«L'enseignement des sciences physiques a pour but, entre autres, de faire acquérir des connaissances et des méthodes.» Cette citation est extraite du Bulletin Officiel de l'Éducation nationale du 9 Juillet 1987 (BOEN, 1987), qui traite notamment de l'évaluation dans l'enseignement des sciences physiques des «capacités ayant trait aux contenus et à la démarche scientifique».

Ainsi la spécificité de l'enseignement des sciences physiques est soulignée dès le préambule : nous essaierons donc de caractériser cette spécificité à travers ce texte officiel qui a été écrit à l'attention des professeurs de sciences physiques dans le cadre du programme national d'innovation de la direction des lycées. Les capacités spécifiques que l'on cherche à évaluer en sciences physiques sont données en annexe. Nous ne nous intéresserons pas aux remarques générales qui concernent l'évaluation : son objectif et ses conditions d'utilisation.

Dans une deuxième partie, nous montrerons que ces capacités restent valables dans un enseignement post-baccalauréat, qu'il s'agisse des classes préparatoires aux grandes écoles ou de l'université ; pour le

moment, essayons de préciser ces capacités en mettant l'accent sur celles qui pourront être acquises - ou éventuellement développées - dans le cadre d'un travail expérimental.

En premier lieu, on peut souligner l'importance de la place accordée à l'acquisition des connaissances de savoir-faire, place équivalente à celle de l'acquisition des connaissances scientifiques. Le deuxième point à souligner est l'absence dans le texte de toute référence à une pédagogie de la redécouverte (des phénomènes expérimentaux). Enfin il faut noter que le texte place systématiquement le domaine expérimental avant le domaine théorique. Analysons ces capacités :

A.1. Le contenu des connaissances scientifiques à acquérir est défini par un programme particulier pour chaque classe dans chaque filière de formation. Des instructions précisent les concepts à apprendre à travers des définitions, des modèles dont il faudra donner les limites de validité. Cela nécessite :

- un vocabulaire adapté, problème difficile en physique où les termes spécialisés côtoient les mots de la langue commune et qui a donné lieu «à une multitude d'exégèses, les unes savantes et documentées, d'autres plus spéculatives» comme le rappelle Daniel Jacobi (1993),

- des unités, pour en spécifier la nature : force, énergie...,

- et des symboles pour en simplifier la représentation «dans un véritable espace de configuration», comme les définissait Gaston Bachelard dans *La philosophie du non* (Bachelard, éd. 1981).

La connaissance des ordres de grandeur est utile de deux façons différentes. D'abord, «l'élève doit en mémoriser un certain nombre : cela fait partie de sa culture et doit lui permettre de porter un jugement critique sur un résultat, une affirmation». Savoir qu'une tension électrique disponible à la maison ou au lycée, n'excédera pas 220 V sauf rares exceptions, savoir que la longueur d'onde d'une raie lumineuse est de l'ordre du micron (μm), plus tard connaître la vitesse de la lumière, l'ordre de grandeur de la dimension d'un atome, mais aussi pouvoir comparer entre eux les effets de certaines grandeurs physiques (énergie électrique et magnétique par exemple) et pouvoir ainsi simplifier le problème posé si une contribution est négligeable devant l'autre.

A.2. Dans une démarche scientifique, le savoir-faire est acquis à partir du moment où la méthode de raisonnement ou d'expérimentation ne nécessite plus d'être repensée à chaque étape parce qu'elle a été plusieurs fois répétée : elle est alors reproduite instinctivement. Dans le domaine expérimental, les savoir-faire portent «principalement sur la connaissance fonctionnelle du matériel, la connaissance de méthodes d'expérimentation

et de mesure, la maîtrise gestuelle, le respect des consignes en particulier de celles qui ont trait à la sécurité».

B. Il est bon de rappeler que l'enseignement des sciences physiques n'est pas coupé des autres disciplines dont il utilise les connaissances, et qu'inversement il peut constituer un outil pour certaines d'entre elles comme la biologie.

À propos du paragraphe B.4. on peut évidemment citer l'informatique (en tant qu'instrument de calcul et auxiliaire d'expérimentation dans la prise de données ou la modélisation), mais aussi le schéma pour représenter un montage expérimental et l'image sous toutes ses formes, du dessin à la vidéo.

C. Les capacités définies en A et B constituent les prérequis indispensables à toute démarche scientifique : *«en effet, on ne peut véritablement pratiquer une démarche scientifique sans posséder des connaissances»*. Pratiquer une démarche scientifique apparaît ainsi comme la finalité de l'enseignement des sciences physiques. Pour en simplifier l'acquisition, le texte distingue deux niveaux d'application de difficulté croissante :

- 1) dans une situation voisine d'une situation connue,
- 2) dans une situation inconnue.

Les quatre étapes de la démarche scientifique sont bien définies.

– **Observer et analyser un fait expérimental**, mais aussi un appareil. *«L'observation permet de dégager des paramètres, l'analyse consiste à faire un tri et à procéder à des choix car tous les paramètres n'ont pas la même importance.»* Cette étape n'est pas toujours évidente : Laurence Maurines, dans sa thèse de didactique sur la propagation des signaux mécaniques (Maurines, 1986), a montré la difficulté de faire analyser correctement le mouvement d'une main qui crée un ébranlement sur une corde.

– **Choisir et élaborer un modèle physique**

«L'élaboration d'un modèle en fonction des hypothèses retenues est une phase difficile qui demande une bonne maîtrise des capacités définies en A et un bon esprit de décision.» C'est le travail le plus constructif et le plus passionnant qui peut servir de test de l'acquisition des capacités, car les *«raisonnements spontanés»* (Viennot, 1979 ; Saltiel & Malgrange, 1980) peuvent réapparaître à ce stade.

– **Organiser les étapes de la résolution**

«Ce qui distingue fondamentalement cette phase d'un savoir-faire, c'est l'autonomie dans la décision.» Ces étapes sont choisies parmi les savoir-

faire acquis mais il faut les organiser, les hiérarchiser pour en tirer les conclusions.

– **Porter un jugement critique**

« *Cela peut intervenir à propos d'un résultat, d'une série de mesures, d'une expérience, de l'utilisation d'un appareil...* » Il s'agit de la phase décisive à travers laquelle se juge l'aptitude à pratiquer une démarche scientifique.

La spécificité de l'enseignement des sciences physiques ayant été définie par ce texte dont nous partageons les grandes lignes, nous nous proposons de voir comment est prise en compte, à travers les concours de recrutement, l'aptitude à une démarche scientifique dans le domaine expérimental.

2. LA PLACE DE L'EXPÉRIMENTATION DANS LES CONCOURS DE RECRUTEMENT

Le recrutement des enseignants des lycées et collèges s'effectue par le CAPES (certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement secondaire) ou par l'Agrégation. Le CAPES correspond au niveau de la licence (trois années d'études universitaires), l'Agrégation au niveau de la maîtrise (quatre années d'études universitaires). Pour chacun de ces concours, il existe une voie externe ouverte à tous les étudiants respectant les conditions précédentes, et une voie de promotion interne, ouverte aux enseignants ayant une certaine ancienneté.

Nous limitons notre analyse aux concours pour lesquels nous avons une certaine expérience en tant que formateurs d'enseignants :

- l'Agrégation externe de sciences physiques (option physique),
- le CAPES externe de physique-chimie.

2.1. Présentation générale des épreuves de ces concours

2.1.1. L'Agrégation

L'Agrégation comporte trois épreuves à l'écrit :

- A – Composition de physique (durée 5h - coefficient 2)
- B – Composition de chimie (durée 4h - coefficient 1)
- C – Problème de physique (durée 6h - coefficient 2).

Globalement, le niveau retenu pour les épreuves A et C est celui des classes préparatoires (Mathématiques supérieures et Mathématiques

spéciales M, M', P, P') et de la maîtrise de physique des universités ; pour l'épreuve B, c'est le niveau des classes de lycée (seconde, première, terminale) et de Mathématiques supérieures.

L'oral comprend trois autres épreuves :

- leçon de physique (coefficient 3)
- leçon de chimie (coefficient 2)
- montage de physique (coefficient 2).

Pour ces trois épreuves, le jury a prévu 4 heures de préparation, 50 minutes de présentation et un entretien avec questions de l'ordre de 30 minutes.

La leçon de physique porte sur le même programme que les épreuves écrites A et C, traité au niveau des classes préparatoires ou du premier cycle universitaire. La leçon de chimie porte sur les programmes des classes du second cycle des lycées traités au niveau de ces classes. Chaque année, un *Bulletin Officiel* fixe dans le détail ces différents programmes et la liste des montages.

Depuis deux ans, on trouve la formulation suivante (BOEN, 1992) : «*L'épreuve A pourra comporter des questions axées sur les connaissances d'ordre expérimental requises à l'épreuve de montage.*»

Le jury s'en explique dans le préambule du rapport du concours 1992 :

«Au plan du contenu des épreuves, nous entendons poursuivre l'évolution vers une approche moins formelle, plus proche des réalités expérimentales. L'épreuve A, proposée cette année à l'écrit, a bien marqué cette orientation qui est souhaitée également à l'oral pour les leçons de physique ou de chimie. Nous pensons ainsi contribuer à pallier petit à petit les insuffisances de notre enseignement en matière de sciences expérimentales.» (Rapports de Jurys 1992).

Le thème de l'épreuve A étant la dispersion de la lumière, on demandait d'abord de citer et d'interpréter quelques observations de la vie quotidienne, puis de décrire et analyser des expériences avant de revenir à des études fondamentales ; par exemple : «*Donner le schéma d'une expérience permettant de réaliser, à l'aide d'un prisme, le spectre d'une source de lumière blanche. Préciser l'utilité des divers éléments dessinés, leur orientation éventuelle.*»

La nouveauté de telles questions a sûrement déstabilisé un certain nombre de candidats peu habitués à manipuler (ni même à observer, ce qui est plus grave) puisqu'on trouve les commentaires suivants du jury :

«L'arc-en-ciel a donné lieu à certaines interprétations moyenâgeuses et poétiques ! Certains candidats n'ont jamais vu le second arc, beaucoup ne

savent pas dans quel ordre se succèdent les couleurs lorsque le regard monte depuis l'horizon. Les schémas des expériences de dispersion sont souvent incomplets ou faux.»

On trouve, dans l'épreuve A du concours 1993, la même volonté d'ancrer la physique sur le réel, de montrer qu'elle ne se limite pas à une somme de calculs. L'épreuve portait sur les transitions de phase et semble avoir été mieux traitée. Cependant on peut lire dans le rapport du jury :

«Les candidats ont globalement préféré les questions «calculatoires» aux questions descriptives ou aux questions théoriques de fond. Ce n'est pas l'évolution souhaitée par le jury ! De ce point de vue, la description des expériences ne doit être ni squelettique... ni verbeuse... Rappelons qu'un bon schéma, judicieusement annoté, reste souvent le meilleur «descriptif» : il faut noter les faits saillants et conclure sur le message dégagé par l'expérience.» (Rapports de Jurys 1993a)

Cette tendance se confirme au concours 1994, le sujet étant la polarisation de la lumière.

Suite aux demandes réitérées du jury (Rapports de Jurys 1992), une autre épreuve est en train d'évoluer ; il s'agit de la leçon de physique, qui jusqu'à présent ne s'appuyait que très rarement sur des expériences (ce qui n'a jamais été le cas heureusement de la leçon de chimie).

«Le jury a été sensible à l'augmentation du nombre d'expériences présentées. Elles ne sont malheureusement pas toujours bien exploitées ou bien interprétées.» (Rapports de Jurys 1993a)

Ainsi on constate une évolution très nette pour ne pas limiter l'expérimentation à l'épreuve du montage. Qu'en est-il du CAPES ?

2.1.2. Le CAPES

Comme l'indique le *Bulletin Officiel* du 29 Juillet 1993 (BOEN, 1993b) pour la session 1994, le programme des épreuves du concours externe du CAPES, section physique et chimie, est constitué par les programmes de physique et de chimie en vigueur à la rentrée de septembre 1993 dans les collèges et lycées, y compris les classes de première STL et de terminale F5, F6 et les sections de techniciens supérieurs «physicien» et «chimiste».

L'écrit est composé de deux épreuves (pour les deux, durée 5h - coefficient 1) :

- 1) composition de physique avec applications
- 2) composition de chimie avec applications.

L'oral comprend également deux épreuves :

- 1) montage et traitement automatisé de l'information (coefficient 1)
- 2) épreuve sur dossier (coefficient 1).

Pour ces deux épreuves, la durée de la préparation est de deux heures et la durée de l'épreuve d'une heure (présentation : 30 minutes ; entretien : 30 minutes). L'épreuve sur dossier porte sur la discipline (physique ou chimie) n'ayant pas fait l'objet de l'épreuve du montage.

Quand on regarde les épreuves de la composition de physique, on trouve dans celle de la session 1993, des questions sur des ordres de grandeur et sur des connaissances d'ordre expérimental, comme dans l'épreuve A de l'Agrégation : *« Imaginer un dispositif simple à monter au lycée (en laboratoire) pour sensibiliser les élèves au phénomène. »*

Le problème avait pour but d'étudier quelques phénomènes naturels comme l'arc-en-ciel ; malheureusement il n'y a pas de commentaire particulier concernant ces questions nouvelles dans le rapport du jury (1993b). On ne sait donc pas comment les étudiants ont traité ces questions, ni si le jury souhaite développer cette tendance. L'épreuve 1994 laisse peu place à ce type d'approche.

Les objectifs de l'épreuve sur dossier sont, outre ceux définissant cette épreuve pour l'ensemble des disciplines, liés à la spécificité expérimentale des sciences physiques. L'évaluation de cette épreuve inclut notamment (Rapports de Jurys 1994) :

« – l'analyse d'une démarche expérimentale et sa mise en œuvre dans diverses situations d'enseignement (séquence de cours, de TP, de TP-cours de correction d'exercices),

– la connaissance et l'utilisation du matériel scientifique couramment en usage dans les lycées et collèges,

– les problèmes liés à la sécurité des personnes et du matériel».

Cette épreuve sur dossier peut se présenter sous l'une des formes suivantes (Rapports de Jurys 1994) :

- élaboration et analyse d'une séquence de cours,
- analyse d'une séquence de TP, de TP-cours,
- résolution et exploitation d'exercices ; analyse des situations physiques prises comme support,
- choix, analyse, exploitation de documents, d'expériences ou d'applications permettant d'illustrer ou d'étudier une notion ou un thème.

Le dossier comprend :

- les textes réglementaires,

- les programmes avec commentaires et instructions,
- la liste du matériel d'usage courant dans les lycées et collèges,
- les modes d'évaluations (BOEN, 1987).

Sous ces trois différentes formes, l'épreuve sur dossier permet de juger la démarche scientifique et l'esprit critique du candidat ; celui-ci devra discuter, par exemple, de la place de l'expérimentation dans la progression du cours ou de la pertinence des situations physiques utilisées dans les exercices.

Intéressons-nous à l'épreuve de montage, épreuve commune à ces deux concours, où se jugent les savoir-faire expérimentaux.

2.2. L'épreuve de montage

Il faut remarquer que, pour les deux concours, le niveau de l'épreuve de montage n'est pas fixé. Si globalement les montages du CAPES s'inscrivent dans l'ensemble des programmes des classes précisées par les textes officiels (BOEN, 1993b), il n'en est pas de même pour les montages de l'Agrégation dont nous verrons que certains titres débordent franchement les programmes officiels (BOEN, 1993a).

2.2.1. L'épreuve de montage au CAPES

Le titre officiel de cette épreuve est en fait «Montage et traitement automatisé de l'information». Ce titre est justifié de la façon suivante : «*cette épreuve comporte l'exécution et l'interprétation d'une ou plusieurs expériences qualitatives et/ou quantitatives... pouvant mettre en œuvre l'outil informatique*» (BOEN, 1991).

La liste officielle des montages de physique (concours 1994) comprend 58 titres qui peuvent se répartir de la façon suivante :

- 3 en thermodynamique
- 1 sur la radioactivité
- 11 en mécanique et statique des fluides
- 10 en optique
- 4 sur les phénomènes vibratoires autres que l'optique
- 29 en électricité, dont
 - 12 sur les circuits et grandeurs électriques
 - 1 sur le magnétisme
 - 6 sur les effets électromagnétiques

10 sur des circuits électroniques.

La liste des montages suit l'évolution des programmes des lycées et collèges comme le montre la liste des montages du concours 1995.

En mécanique où les montages sont presque toujours des vérifications expérimentales de lois physiques, on peut relever trois titres qui portent sur des conservations de grandeurs physiques : la quantité de mouvement et l'énergie mécanique. De façon générale, on peut dire que les montages de physique au CAPES sont des expériences de cours (ou éventuellement de TP-cours ou de TP) des programmes des classes où les futurs capésiens auront à enseigner. À côté de ces montages, on peut noter le suivant, fort pertinent à notre avis, puisqu'il traite de notre sécurité au quotidien (au laboratoire mais aussi à la maison) : «*Expériences illustrant les dispositifs de sécurité dans les montages électriques : fusibles, disjoncteurs divers, transformateurs d'isolement. Distinction entre phase, neutre, masse, terre*».

Parmi les 58 montages, 37 impliquent obligatoirement des mesures ; cela concerne tous les montages de thermodynamique et de mécanique. Dans les 21 montages restants, on trouve des montages qui se prêtent à une visualisation à l'oscilloscope (ce qui est le cas de certains montages électriques, électroniques ou d'acoustique). Même dans ces montages plus qualitatifs, une mesure est généralement la bienvenue comme nous allons le voir à travers les commentaires du jury ; c'est dire le poids accordé à la notion de mesure dans l'épreuve du montage de physique.

De façon générale, le jury constate une insuffisance de compétences dans le domaine expérimental ; sa première remarque est donc que «*les candidats doivent se préparer soigneusement*» (Rapports de Jurys 1993b). Puis il indique cinq principes qui doivent servir de garde-fous :

1) **Sélectionner quelques expériences :**

«*Le candidat doit déterminer lui-même le nombre et le niveau de complexité de ses expériences afin d'illustrer de façon pertinente le thème proposé tout en tenant compte évidemment de ses compétences, du matériel et de la durée disponible.*»

2) **Choisir le matériel ;** à ce propos, il précise :

«*Peu de candidats ont réalisé des mesures informatisées en dépit du nombre toujours croissant de capteurs, d'interfaces et de logiciels de mieux en mieux adaptés à l'acquisition de valeurs.*»

3) **Produire des mesures**

4) **Présenter des expériences et des résultats :**

«*Il vaudrait mieux, dans certains cas, faire un moins grand nombre de*

manipulations et apporter plus de soin à l'une d'entre elles au moins.»

L'interprétation des expériences doit être faite à partir des résultats obtenus et non à partir des résultats espérés par le candidat.

5) **Justifier**, au cours de l'entretien, la démarche suivie pour le choix des montages, la méthode retenue, le choix et le réglage des appareils de mesure, les ordres de grandeur, la précision des mesures et éventuellement les formules théoriques employées.

Ces cinq principes définissent effectivement les étapes d'une démarche scientifique dans le domaine expérimental ; on y retrouve les grandes lignes du texte officiel sur les capacités scientifiques (BOEN, 1987) avec un accent particulier et indispensable sur la mesure. À la lecture du rapport du jury, il ne semble pas qu'au stade du CAPES, cette démarche scientifique soit réellement acquise.

2.2.2. L'épreuve du montage à l'Agrégation

La liste officielle des titres des montages de physique est précédée d'une introduction qui précise que :

«Le montage de physique correspond soit aux expériences d'un sujet extrait de la liste ci-dessous, soit à certaines expériences relatives à plusieurs sujets de cette liste, soit enfin à la mise en œuvre de matériels expérimentaux d'usage courant dans les laboratoires d'enseignement ou d'équipements d'aide à l'enseignement disponibles dans les établissements.» (BOEN, 1993a)

Une telle présentation qui veut probablement éviter le bachotage laisse beaucoup de souplesse au jury. Le candidat pourrait alors être jugé sur sa propre démarche scientifique et non sur celle de l'enseignant préparateur. Cependant, nous ne connaissons pas d'exemple de cette pratique.

De la même manière, une certaine souplesse est offerte aux candidats dans la façon de traiter le sujet :

«Cette liste propose, pour divers sujets, un champ limité d'applications. Toutefois, cette limitation ne doit pas être comprise comme ayant un caractère réellement impératif, et les candidats resteront libres de rechercher des illustrations plus variées.»

L'expérience montre qu'effectivement, le jury sait apprécier un montage traité de façon nouvelle et pertinente ; on trouve dans le rapport de 1992 la remarque suivante :

«Quelques candidats ont su concevoir des expériences «inédites» qui tout

en restant simples, sont à la fois originales et démonstratives... Cette qualité d'imagination est évidemment prise en compte dans la note.»

Enfin, si, comme nous l'avons dit précédemment, le niveau pour traiter le montage n'est pas défini, par contre un certain nombre de savoir-faire sont exigés : *«Il pourra être demandé aux candidats de maîtriser quelques techniques très élémentaires qui doivent être mises en œuvre lors de la préparation des expériences dans l'environnement des classes secondaires des lycées, des classes préparatoires, ou du premier cycle universitaire. Enfin, les candidats devront avoir acquis une certaine familiarité avec le principe des appareils de mesure... Cette familiarité devra leur permettre, d'une part, de connaître les conditions d'utilisation de ce matériel et, d'autre part, d'être en mesure d'en contrôler le fonctionnement correct à un niveau élémentaire en recourant aux ressources normales des établissements.»*

Avant de voir comment le jury juge ces savoir-faire, regardons de plus près les titres de ces montages. Pour le concours 1994, le BOEN (1993a) donne une liste de 48 sujets que nous essayons de répartir selon la grille adoptée pour le CAPES, soit :

- 3 en thermodynamique
- 3 en mécanique (y compris celle des fluides)
- 12 en optique
- 9 en phénomènes vibratoires autres que l'optique
- 21 en électricité, dont
 - 8 sur les circuits et grandeurs électriques
 - 5 sur le magnétisme et sur les effets électromagnétiques
 - 8 sur les circuits électroniques.

La première constatation est que la diminution du nombre de montages (de 58 à 48) s'est surtout traduite par une baisse en mécanique. Le montage sur la radioactivité a disparu. Par contre on trouve un montage sur la capillarité (n° 2) qu'il serait difficile de justifier par rapport aux programmes des autres épreuves de l'Agrégation. L'optique s'est enrichie de toute l'optique anisotrope (n° 14, 15, 16) ; sont abordés des concepts fondamentaux comme la cohérence (n° 10), les phénomènes d'émission et d'absorption (n° 17) et les propriétés des lasers (n° 18). On peut remarquer que les titres des montages correspondent souvent à des phénomènes physiques, par exemple «transitions de phase» (n° 5), «matériaux semi-conducteurs» (n° 35).

L'autre différence importante par rapport au CAPES est l'existence de sept sujets transdisciplinaires qui traitent de phénomènes vibratoires : mesure des fréquences temporelles (n° 42), des longueurs d'onde (n° 44)

ou des impédances (n° 48) ; mais aussi interférences (n° 45), ondes stationnaires (n° 46), résonance (n° 47) et encore analyse du bruit (n° 43).

On ne compte plus que huit sujets comportant le mot « mesure » ; aux trois montages que nous avons cités précédemment, il faut en rajouter deux de thermodynamique avec la mesure des températures (n° 4) et des quantités de chaleur (n° 8) ; un de magnétisme avec la mesure du champ (n° 22) et deux d'électricité avec la mesure des tensions et des courants (n° 26) et des puissances électriques (n° 27). Par contre il faut signaler l'existence d'un montage plus technologique avec la réalisation d'un multimètre (n° 30).

Il ne faut surtout pas en conclure que les montages sont plus qualitatifs. Simplement ils ne relèvent pas de la même philosophie : ils ne sont plus représentatifs d'expériences de tel ou tel niveau d'enseignement ; ils appartiennent à une culture scientifique plus générale qui se veut même transdisciplinaire. Leur réalisation va donc nécessiter une démarche scientifique plus complexe.

Qu'en pense le jury ?

«C'est une épreuve d'expérimentation sur un thème précis où sont jugés autant les comportements et les réactions du physicien devant son appareillage, que la qualité de ses mesures... D'une manière générale, il devra pouvoir interpréter correctement les expériences présentées, en saisir les analogies éventuelles dans d'autres domaines de la physique et en signaler les applications ou conséquences pratiques.» (Rapports de Jurys 1993a)

«Le jury est conscient du fait que le domaine concerné est très vaste et apprécie que les candidats soient capables de bien situer ce qu'ils savent et ce qu'ils ne savent pas... Mieux vaut quelques expériences assez simples mais correctement conduites, exploitées en détail et bien comprises, que des manipulations complexes qui échouent en partie et dont on ne peut rien tirer.» (Rapports de Jurys 1992)

Mais dans l'ensemble, le jury de l'Agrégation semble plus satisfait que celui du CAPES, puisqu'il a assisté à des présentations de bons et même d'excellents montages. Dans le rapport de 1992, on peut lire :

«Cette année la moyenne des notes a été de 7,8. Il faut souligner que la note maximale a été attribuée plusieurs fois. Par ailleurs, un nombre non négligeable de candidats ont obtenu un résultat honorable (environ un tiers des notes se situent au-dessus de la moyenne). Cela indique clairement qu'avec les critères actuels de notation, présenter un « bon » montage est loin d'être une performance impossible. Le jury est en effet conscient du fait que cette épreuve est difficile car dans les études actuelles, les candidats n'ont eu que très rarement l'occasion d'acquérir les qualités nécessaires à un expérimentateur. De fait, les bons résultats enregistrés sont manifestement liés à une préparation particulière à cette épreuve. Malheureusement,

un nombre encore trop élevé de candidats ne possèdent pas le savoir-faire requis et n'ont pas suffisamment réfléchi au contenu des sujets proposés.»

Cette opinion est confirmée dans le rapport de l'année suivante :

«Bien qu'il y ait eu encore d'excellents montages cette année, le jury déplore le nombre croissant de présentations médiocres. Ces montages de faible niveau semblaient d'ailleurs être plus souvent la conséquence d'un manque de préparation durant l'année que d'une inaptitude réelle à l'expérimentation. Nous ne saurions donc trop conseiller aux candidats à l'enseignement de cette science expérimentale qu'est la physique, de se préparer sérieusement à cette épreuve.» (Rapports de Jurys 1993a)

Nous partageons totalement cette affirmation : l'expérimentation s'apprend, c'est un fait. Mais nous allons aussi montrer dans l'article suivant qu'on apprend de la physique en pratiquant l'expérimentation ; cette pratique ne doit pas se concevoir seulement dans une perspective d'enseignement, mais aussi dans une perspective plus générale d'approfondissement de la discipline, dans une recherche de culture scientifique.

BIBLIOGRAPHIE

- BACHELARD G. (éd. 1981). *La philosophie du non*. Paris, PUF.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1987). Numéro spécial 3-9 Juillet 1987, Annexe 1, pp. 79-83.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1991). N° spécial 6 du 11 juillet 1991, p. 7.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1992). N° 21 du 21 mai 1992, p. 28.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1993a). N° 22 du 24 juin 1993, pp. 33-40.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1993b). N° 27 du 29 juillet 1993, pp. 22-24.
- JACOBI D. (1993). Les terminologies et leur devenir dans les textes de vulgarisation scientifique. *Didaskalia*, n° 1, pp. 69-83.
- MAURINES L. (1986). *Premières notions sur la propagation de signaux mécaniques : étude des difficultés des étudiants*. Thèse, Université Paris 7.
- RAPPORTS DE JURYS DE CONCOURS (1992). *Agrégation de sciences physiques option physique - concours externe*. Paris, CNDP.
- RAPPORTS DE JURYS DE CONCOURS (1993a). *Agrégation de sciences physiques option physique - concours externe*. Paris, CNDP.
- RAPPORTS DE JURYS DE CONCOURS (1993b). *CAPES physique-chimie – concours externe*. Paris, CNDP.
- RAPPORTS DE JURYS DE CONCOURS (1994). *CAPES physique-chimie – concours externe*. Paris, CNDP.
- SALTIEL É. & MALGRANGE J.-L. (1980). «Spontaneous» ways of reasoning in elementary

Kinematics. *European Journal of Physics*, n° 1, pp. 73-80.

VIENNOT L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris, Hermann.

ANNEXE

Liste des capacités extraite du *Bulletin Officiel* du 9 juillet 1987, traitant notamment de l'évaluation de l'enseignement de sciences physiques

A. Posséder des connaissances spécifiques aux sciences physiques

1. Les connaissances scientifiques

- a) Vocabulaire, symboles, unités
- b) Ordres de grandeur
- c) Définition, lois, modèles

2. Des connaissances de savoir-faire

- a) Dans le domaine expérimental
- b) Dans le domaine théorique

B. Utiliser des connaissances et des savoir-faire non spécifiques aux sciences physiques

1. Accéder aux connaissances au moyen de différentes sources
2. Utiliser la langue française
3. Utiliser les outils mathématiques
4. Utiliser d'autres outils et moyens d'expression

C. Pratiquer une démarche scientifique notamment :

- observer et analyser
- choisir ou élaborer un modèle physique
- organiser les étapes de la résolution
- porter un jugement critique

1. Dans une situation voisine d'une situation connue

- a) Dans le domaine expérimental
- b) Dans le domaine théorique

2. Dans une situation inconnue

- a) Dans le domaine expérimental
- b) Dans le domaine théorique.

Apprentissage de l'expérimentation en physique

II – Apprentissage des techniques expérimentales à l'ENS de Cachan

Mireille TADJEDDINE, Françoise PERROT*

Département de Physique
École Normale Supérieure de Cachan
94235 Cachan cedex, France.

* Adresse actuelle :
Université de Cergy Pontoise
PSBT
95806 Cergy Pontoise cedex, France.

Résumé

Après avoir développé le rôle et le contenu de la formation expérimentale proposée aux étudiants dans le cadre de la préparation à l'Agrégation de physique, nous présentons une expérience d'initiation aux techniques expérimentales dès la première année, qui peut constituer un apprentissage par l'expérimentation. Enfin nous abordons l'évaluation de ce genre d'activité, problème qui s'est posé avec la création d'une option «Techniques expérimentales en physique» dans le cadre du magistère de physique de l'université d'Orsay.

Mots clés : physique expérimentale, objectifs, contenus, évaluation, stratégie pédagogique.

Abstract

After having developed the role and content of the experimental training proposed to students within the framework of preparation for the «Agrégation de physique», we present an introduction to experimental techniques from the first year of training, which may be considered as a form of learning by experimentation. Finally, we discuss the evaluation of this type of activity, being a problem that has arisen as a result of the creation of an option in «Experimental technics in physics», within the «magistère de physique» of the University of Orsay.

Key words : *experimental physics, goal, contents, valuation, pedagogic strategy.*

Resumen

Después de haber desarrollado el role y el contenido de la formación experimental propuesta a los estudiantes en el marco de la preparación a la Agregación de física, nosotros presentamos una experiencia de iniciación a las técnicas experimentales desde primer año que pueden constituir un aprendizaje por la experimentación. Por último, nosotros abordamos la evaluación de este género de actividad, problema que es propuesto con la creación de una opción «Técnicas experimentales en física» dentro del marco del magister en física de Orsay.

Palabras claves : *física experimental, objetivo, contenido, evaluación, estrategia pedagógica.*

L'École Normale Supérieure de Cachan est l'une des quatre ENS. Les objectifs de ces écoles sont de former des enseignants et/ou des chercheurs. Le recrutement des élèves s'effectue par concours à l'issue de deux (ou trois) années de classes préparatoires, après le baccalauréat de l'enseignement secondaire.

On peut espérer que le concours de recrutement de 1997 sera celui des nouveaux programmes des classes préparatoires et des nouvelles filières : la section physique de l'ENS de Cachan recrutera alors sur la filière Physique-Chimie. Dans l'état actuel des travaux de la commission de réflexion, on peut dire que la démarche expérimentale occupera une place importante dans l'enseignement. Elle sera également prise en compte au niveau des concours dans les épreuves écrites qui pourront comporter, par exemple, des discussions de protocoles expérimentaux, et dans les épreuves orales où les TP (travaux pratiques) seront revalorisés. Avec du temps et des moyens consacrés à l'expérimentation, les élèves pourront alors apprécier cette activité tout en acquérant les savoir-faire expérimentaux indispensables.

Pour le moment, il n'en est rien ; les élèves ont très peu appris dans les TP trop souvent «presse-bouton» ; ils n'en ont rien retenu. Parfois même, des séances de TP ont été remplacées par des séances de travaux

dirigés jugés plus rentables pour la préparation des concours. Les enseignants des classes préparatoires ne sont pas responsables de cette situation : ils doivent faire réussir leurs élèves aux concours, ils ne sont pas chargés de leur faire acquérir une démarche scientifique !

Par contre, l'acquisition d'une démarche scientifique est l'objectif majeur des enseignants d'une École Normale Supérieure dont les débouchés sont la recherche et l'enseignement pré et post baccalauréat. Comme pour les autres départements de l'ENS de Cachan, l'étape importante est la préparation du concours de l'Agrégation qui constitue la troisième année de scolarité pour la plupart des étudiants. Aussi commençons par rappeler rapidement cette scolarité.

1. LA SCOLARITÉ DES ÉTUDIANTS DE PHYSIQUE

Au cours des deux premières années, les étudiants suivent les enseignements de second cycle de l'Université d'Orsay dans le cadre du magistère de physique. La plupart des élèves préparent l'Agrégation en troisième année et ils commencent, l'année suivante, leurs études doctorales par la préparation d'un DEA (diplôme d'études approfondies). Dans quelques cas, le DEA est préparé dès la troisième année.

Actuellement, il y a un certain consensus sur ce que doit être la formation des enseignants : les contenus sont d'ordre disciplinaire d'une part et professionnel d'autre part. Dans le domaine disciplinaire, le niveau théorique des futurs professeurs de physique est Bac + 5 (deux années de classes préparatoires, plus deux années universitaires, plus l'année de synthèse que constitue l'année de préparation à l'Agrégation).

La formation professionnelle, quant à elle, est malheureusement beaucoup plus légère, car elle se fait en parallèle sur les deux premières années où l'acquisition des connaissances théoriques occupe l'essentiel de l'emploi du temps. Néanmoins, nous essayons de donner quelques éléments de formation professionnelle à partir de notre discipline et de sensibiliser les élèves aux problèmes de la pédagogie par des stages.

C'est ainsi que nous organisons, en première année, des travaux dirigés (8 heures) sur des problèmes de didactique, à partir des questionnaires élaborés par L. Maurines (1986) sur les phénomènes de propagation et par J.-L. Closset (1983) sur l'électrocinétique. Afin de montrer l'ancrage de la physique sur le réel nous leur proposons des visites ; par exemple, visite du laboratoire scientifique du Louvre et du site de l'Aube où sont stockés les déchets radioactifs de courte durée de vie. D'autre part, les élèves suivent des cours d'histoire des sciences (18 heures) dans les domaines de l'astrophysique, de l'électricité et de l'optique. De plus, ils abordent les

problèmes sociologiques de l'éducation à travers la connaissance de l'institution et de l'organisation scolaire et sont initiés aux techniques audiovisuelles.

Pour les élèves de deuxième année, nous organisons des stages pédagogiques dans des classes de second cycle des lycées classiques ou techniques ; chaque fois que c'est possible, les étudiants font leur stage dans leur lycée d'origine. Ils assurent au minimum deux heures d'enseignement (cours, TP-cours, ou TP) par semaine, d'octobre à mars. Ces stages recueillent, chaque année, l'approbation des élèves et de leurs conseillers pédagogiques comme le montre la réunion de bilan à la fin du stage.

Enfin, nous invitons des conférenciers sur des thèmes actuels de recherche (physique et didactique de la physique).

Pour clore ce paragraphe sur la scolarité, signalons que les étudiants font deux stages : l'un d'une durée d'un mois en fin de première année dans un laboratoire de recherche, l'autre de trois mois en entreprise ou dans un laboratoire de recherche à l'étranger, en fin de deuxième année.

Abordons maintenant la formation expérimentale, formation spécifique des professeurs de physique.

2. LA FORMATION EXPÉRIMENTALE DANS LE CADRE DE LA PRÉPARATION À L'AGRÉGATION

Dans l'article précédent (Perrot & Tadjeddine, dans ce numéro), nous avons développé le contenu des épreuves de l'Agrégation, ce qui permet de situer le niveau des connaissances et des savoir-faire exigés.

Sur le plan théorique, comme nous venons de le rappeler, les connaissances sont acquises pour l'essentiel quand l'étudiant arrive en troisième année, et ceci dans une approche thématique : il acquiert des notions de base en thermodynamique, en mécanique, en électricité, en optique, en physique quantique et statistique. L'année de préparation à l'Agrégation va lui donner l'occasion de développer une approche synthétique qui sera complémentaire de la première approche, en prenant en compte certains concepts de façon transdisciplinaire.

Ainsi, l'étudiant va pouvoir «s'approprier la physique» et cette appropriation va passer par l'expérimentation.

Sur le plan expérimental, tout est à apprendre ou presque. L'année de préparation est donc très lourde car l'apprentissage de l'expérimentation nécessite du temps : les débuts sont longs, assez peu rentables. Il faut

atteindre un minimum de savoir-faire pour prendre goût à ce genre d'activités et pour que l'acquisition, enfin, s'accélère. Si ce minimum n'est pas atteint, les élèves sont déçus et ne cherchent plus à faire le moindre effort. De plus, en terme de rentabilité, cet immense effort d'apprentissage est mal récompensé, le jour du concours, avec un coefficient de 2. Les étudiants le savent et nous le disent. Le jury aussi en est conscient, il essaie d'en tenir compte à travers les autres épreuves, comme il a été dit dans l'article précédent.

La préparation à l'Agrégation est donc centrée sur la préparation des montages, sans oublier les autres épreuves. Tous les montages (48 pour le concours 1994) seront préparés et présentés avant l'écrit. Comment ?

En début d'année, sont organisées des séances de TP par demi-groupe, trois en électricité (12 heures), trois en électronique (12 heures), cinq en optique (20 heures), trois sur le traitement du signal (12 heures). En effet il faut que les bases indispensables soient acquises avant le début des montages : savoir utiliser des appareils de mesure, savoir faire une bonne projection. Si l'apprentissage a été déjà fait en première année, l'acquisition sera beaucoup plus rapide et définitive.

Les élèves sont alors répartis en binômes ou trinômes. Pour une promotion de douze binômes, chacun d'eux aura donc à préparer quatre montages avant l'écrit en plus des leçons de physique et chimie. Le rythme de présentation des montages n'est pas constant : au cours des deux premiers mois, un montage par semaine ; puis le rythme s'intensifie : deux à partir de la mi-novembre et trois de janvier à fin mars. Quand un binôme prépare son premier montage, il n'est pas rare qu'il lui consacre toute la semaine qui précède sa présentation, soirées et week-end compris. La préparation consiste à :

- élaborer le plan de présentation : ceci va nécessiter un gros travail de bibliographie puis de synthèse, qui va conduire au choix des concepts à mettre en évidence, des domaines d'application et des mesures à réaliser,
- sélectionner les expériences les plus pédagogiques,
- choisir le matériel,
- «faire marcher» les expériences ou comprendre pourquoi «elles ne marchent pas»,
- effectuer les enregistrements nécessaires.

Au fur et à mesure de la préparation, le plan et le choix des expériences peuvent évoluer. La présentation est faite devant la promotion et l'enseignant. Après la discussion du montage et de ses améliorations possibles, celui-ci

n'est pas défait tout de suite. Il est laissé quelque temps à la disposition des autres élèves qui peuvent ainsi venir étudier par eux-mêmes et utiliser les dispositifs expérimentaux réalisés. Il est donc difficile de chiffrer le temps de préparation. Si l'on tient compte aussi du temps passé à la préparation des expériences pour les leçons, on peut arriver à une moyenne de plus de seize heures par semaine pour le travail expérimental.

Durant les deux mois qui séparent l'écrit de l'oral, le laboratoire de physique devient une véritable ruche par la présence continue et active des élèves. L'emploi du temps est alors organisé de la façon suivante :

- les après-midi sont consacrées à la préparation des épreuves de l'oral, dans les conditions de l'Agrégation : tirage au sort du sujet, quatre heures de préparation et présentation. À tour de rôle, chaque élève prépare et présente les trois épreuves de l'oral ;
- en dehors des trois matinées où l'agrégatif prépare son épreuve, il peut venir en toute liberté «manipuler» au laboratoire : sortir du matériel, réaliser des expériences, faire des mesures, des enregistrements, s'entraîner sur le Michelson...

Il s'agit alors d'une période très enrichissante pour l'étudiant qui passe plus de quatre jours par semaine au laboratoire : les indispensables savoir-faire sont désormais acquis, il peut facilement passer d'un dispositif expérimental à un autre, comparer de façon critique leurs avantages respectifs. Il peut alors repenser les plans de présentation des montages pour mettre en évidence les concepts de base, tirer toutes les conséquences d'une expérience, justifier tel ou tel dispositif... il pratique réellement une démarche scientifique. **À ce stade, il est passé de l'apprentissage de l'expérimentation à l'apprentissage par l'expérimentation.** Ce qui est évident, c'est que pour arriver à ce niveau, il lui aura fallu beaucoup de travail. C'est donc pour faciliter cet apprentissage que nous avons introduit, dès la première année, une initiation au travail expérimental.

3. INITIATION À L'EXPÉRIMENTATION

3.1. Formation des élèves de première année

Cette initiation expérimentale est le fruit d'un travail de plus de quinze années. Son but est de faire acquérir aux étudiants une attitude raisonnée devant les montages qu'ils doivent réaliser, quelques savoir-faire expérimentaux, et si possible le plaisir de monter des dispositifs expérimentaux en utilisant les ressources du laboratoire. L'objectif est peut être aussi social : leur montrer qu'ils appartiennent à une école, à un cursus de formation.

Les élèves de première année viennent au laboratoire de physique à raison d'une séance hebdomadaire de quatre heures au cours des deux premiers trimestres. Les séances sont centrées sur un thème qui peut être l'étude d'un phénomène physique ou l'utilisation d'un appareil. Pour cette année, nous avons dégagé les thèmes suivants :

1. Principe et utilisation de l'oscilloscope
2. Principe des appareils de mesure et caractérisation d'un signal
3. Mesure du facteur de forme sur des courants redressés
4. La diode : redresseur et détecteur d'enveloppe
5. Le circuit oscillant RLC : choix des éléments et étude
6. La modulation : étude et applications
7. Lentilles convergentes et divergentes : projection
8. Réalisation de quelques instruments d'optique : lunettes, microscope...
9. Expériences simples d'optique ondulatoire (interférences, diffraction, bleu du ciel...)
10. Autres expériences de physique ondulatoire : acoustique, ondes centimétriques...
11. Oscillations libres et entretenues en mécanique ; systèmes couplés ; chaos
12. Thermodynamique : flux de chaleur, transition de phase.

Comme on peut le voir à travers ces douze thèmes, les montages sont en général des expériences de base relativement simples qui permettent d'aborder les principales techniques utiles en électricité, optique, mécanique et thermodynamique. Nous amenons les étudiants à réfléchir à l'illustration expérimentale du concept physique énoncé, à se poser les questions suivantes :

Quelle illustration ? Quelle expérience ?

Mesure ou observation démonstrative ?

Quels sont les paramètres pertinents pour la réaliser ?

Quels sont les ordres de grandeur ?

Quel appareil ? Pour quelle mesure ?

À ce stade, la réflexion est globale : elle concerne toute la promotion. La séance est dirigée par l'enseignant mais aucune manipulation n'est montée. L'expérience va être pensée collectivement. On fera des schémas pour la représenter au tableau et parfois plusieurs versions seront données.

Par exemple si l'objectif est de visualiser une caractéristique, le circuit à réaliser doit tenir compte du fait que le générateur utilisé est isolé de la terre ou non. Alors différentes questions peuvent se poser :

«Peut-on mettre deux masses dans un circuit ?»

Si le générateur est isolé :

«Où place-t-on la masse du circuit ? Que visualise-t-on, $+V$ et $-I$, ou $-V$ et $+I$?»

Si le générateur n'est pas isolé :

«Peut-on jouer sur les ordres de grandeur pour visualiser $+V$ et $+I$?»

Les étudiants devront alors choisir et réaliser leur montage en fonction des appareils dont ils disposent.

Autre exemple de discussion collective, à propos de la mesure d'un signal : «Quelle grandeur mesure-t-on ? la valeur moyenne (\bar{V}), la valeur efficace (V) ou la valeur crête à crête ? Y-a-t-il un rapport constant entre ces différentes grandeurs ? Quels sont les appareils adaptés à telle mesure ? Est-ce que cet appareil peut convenir à tous les types de signaux ?»

À ce propos, l'enseignant sera conduit à apporter les compléments nécessaires et à faire calculer le facteur de forme ($f = V/\bar{V}$) pour différents signaux. Le but du montage sera alors d'élaborer ces signaux et de mesurer leur facteur de forme avec les appareils adaptés.

Concernant les appareils, lors des premières séances, le matériel nécessaire sera présent sur les tables de travail ; mais progressivement les étudiants iront chercher eux-mêmes les appareils dans les placards. Ainsi ils apprendront à mieux connaître les ressources du laboratoire. Il nous semble également important de leur apprendre à consulter les notices des appareils. Une séance est consacrée à connaître les fonctions principales de l'oscillographe, à savoir les «reconnaître» sur les panneaux avant et arrière ; par contre, pour utiliser à bon escient les possibilités de mémoire de tel oscillographe, nous analysons la notice avec l'étudiant intéressé.

Parfois la discussion va porter sur le choix du domaine d'application du fait physique que l'on veut étudier. Pour les phénomènes de propagation d'ondes, les propriétés fondamentales sont les mêmes, mais la longueur d'onde variant, les observations peuvent être totalement différentes : les plans d'onde correspondant à la propagation d'un phénomène vibratoire à la surface d'un liquide sont bien visibles, alors qu'en optique on ne visualise que les rayons. Dans le même ordre d'idées, les ondes évanescentes se mettent bien en évidence dans le domaine centimétrique, même si leur application est plus fréquente en optique (cube séparateur). Le fait de traiter les oscillations en mécanique après les avoir discutées en électricité nous amène à utiliser les analogies électromécaniques, afin de trouver là encore les expériences les plus démonstratives pour illustrer les différentes propriétés : le régime transitoire sera illustré en mécanique alors

que le régime permanent pourra facilement être visualisé à partir d'un circuit électrique.

La valorisation de ce travail va se faire à travers la réalisation d'un montage en responsabilité, par binôme.

Le thème est choisi par les élèves à partir de la liste des montages d'Agrégation ou de leurs propres inspirations. À titre d'exemple, voici les thèmes illustrés cette année :

- ondes sonores, harmoniques, battements ; illustration sur des instruments de musique
- interférences
- capillarité
- biréfringence
- illustration de quelques phénomènes chaotiques
- modulation et détection d'ondes radio.

Le jour de la soutenance, le montage est présenté à l'ensemble de la promotion avec, au tableau, le plan et les schémas des dispositifs expérimentaux utilisés. **Il n'est pas rare de voir des élèves consacrer beaucoup de temps à l'élaboration d'expériences originales alors que ce travail n'est pas sanctionné.**

Conjuguant les techniques de l'expérimentation avec celles de la communication, des élèves ont conçu et réalisé, il y a deux ans, une bande vidéo sur deux expériences de physique :

- le filtrage optique
- la corde de Melde.

3.2. Option : «Techniques expérimentales en physique» pour le magistère de physique d'Orsay

Si au départ, cette initiation avait un but utilitaire (aider les futurs agrégatifs dans leur préparation à l'épreuve du montage), elle est devenue, devant l'intérêt porté par les élèves à la démarche expérimentale, une composante que nous pensons fondamentale de la formation du physicien, futur enseignant, futur chercheur, futur ingénieur...

C'est ainsi que nos collègues d'Orsay nous ont demandé de créer une **option expérimentale**, à partir de notre expérience, dans le cadre du magistère de physique. Sous une forme plus réduite, nous avons donc expérimenté cette année cette formule auprès des étudiants de première année de magistère et de licence. Nous avons dû nous limiter à douze étudiants, ce qui nous semble le nombre maximum pour l'efficacité de notre encadrement.

Pour les douze premières semaines d'enseignement, nous avons fonctionné de la même manière qu'avec les élèves de première année. Les résultats sont tout autant enthousiasmants. Nous avons posé des questions aux étudiants ; leurs réponses traduisent leur intérêt mais aussi leur regret qu'une telle expérience ne puisse se prolonger.

«Est-ce que ça correspond à votre attente ?

– Non, nous ne pensions pas qu'on pouvait travailler ainsi ! Vos élèves ont de la chance, ils peuvent venir quand ils veulent, refaire des manipulations. Nous, on n'aura jamais plus l'occasion de monter des expériences par nous-mêmes !

– Est-ce qu'on peut améliorer ce type d'enseignement ?

– Oui, en faisant plus de séances, avec du matériel qu'on voit rarement !»

Par contre, ce qui a inquiété les étudiants, c'était l'évaluation de ce travail, sa prise en compte dans le cursus universitaire, problème qui ne se pose pas pour les élèves de Cachan. Nous avons proposé de faire cette évaluation à travers la réalisation d'un montage – par groupe de deux étudiants – sur un sujet limité pour qu'ils puissent préparer les expériences en deux heures et demie, le temps de présentation étant fixé à une demi-heure.

Nous avons alors établi une liste de six sujets qui correspondaient aux thèmes traités pendant l'année.

– Étude de la résonance en électricité et mécanique : étude des analogies.

– Étude comparée d'une diode et d'une photodiode : visualisation de la caractéristique et application.

– Application de l'oscillographe pour des mesures de fréquences acoustiques et électriques : balayage, Lissajous, Wehnelt, battements.

– Illustration du phénomène d'interférences dans différents domaines de la physique ; application à une lame de savon.

– Réalisation d'un projecteur de diapositives et d'une lunette astronomique ; étude des propriétés de ces deux dispositifs.

– Mesure de la capacité calorifique d'un solide donné : méthode des mélanges et méthode électrique.

Cette liste a été communiquée aux étudiants lors de la onzième séance. Au cours des deux semaines qui les séparaient des séances d'évaluation, ils ont réfléchi collectivement aux sujets et se sont partagé les études bibliographiques.

Lors des séances d'évaluation, les étudiants ont été convoqués par binômes (deux binômes par séance) à une heure d'intervalle. Une fois le sujet communiqué, nous les avons aidés dans le choix des expériences et des appareils, lorsque cela s'est avéré nécessaire, et nous les avons observés au cours de leurs manipulations.

Les présentations ont été bonnes, voire excellentes, certains étudiants montrant une parfaite maîtrise des savoir-faire expérimentaux que nous avons enseignés au cours des semaines précédentes. Pour le montage de calorimétrie, les mesures réalisées conduisaient à des résultats aberrants. Les étudiants ont analysé, devant nous, de façon très critique, les conditions dans lesquelles ils avaient manipulé, ce qui les a conduits à proposer un autre mode opératoire.

La note finale attribuée à chaque étudiant a pris en compte :

- sa participation au cours des douze premières séances,
- la présentation le jour de la séance d'évaluation (plan, mise en évidence des concepts, mesures, critiques des résultats), chaque étudiant ayant présenté une partie du montage.

Les notes ont été comprises entre 13 et 19.

Après discussion avec les étudiants, cet enseignement nouveau pour eux les a satisfaits dans la forme proposée. Nous reconduirons donc cette expérience pédagogique dans le cadre du magistère de physique d'Orsay et nous espérons qu'elle pourra se mettre en place bientôt dans le cadre de l'option expérimentale de la licence de physique de l'Université de Cergy Pontoise.

4. CONCLUSION

Nous souhaitons que l'apprentissage par l'expérimentation puisse devenir un axe fondamental de l'enseignement de la physique. Le nombre de séances doit être suffisant pour faire acquérir les savoir-faire expérimentaux indispensables et susciter l'intérêt des étudiants ; mais ce nombre ne nous apparaît pas comme un facteur déterminant, ce qui est important est la qualité de la démarche de l'étudiant. Le «prix à payer» réside dans la disponibilité de l'enseignant et, pour cela, il faut qu'il travaille avec des petits groupes d'étudiants. Comme nous l'avons dit, douze est un nombre tout à fait raisonnable : il permet aux élèves de manipuler sans perdre trop de temps, l'enseignant pouvant intervenir assez rapidement en cas de difficulté.

BIBLIOGRAPHIE

MAURINES L. (1986). *Premières notions sur la propagation de signaux mécaniques : étude des difficultés des étudiants*. Thèse, Université Paris 7.

CLOSSET J.-L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse de troisième cycle, Université Paris 7.

Remerciements

Les auteurs remercient Gisèle Krebs pour sa contribution dans la mise en place de l'option du magistère d'Orsay au cours de l'année 1993-94, ainsi que Gérard Fortunato, directeur du département de Physique de l'ENS Cachan.

Le traitement statistique des mesures en travaux pratiques de physique de DEUG : une innovation à Orsay

Marie-Geneviève SÉRÉ, Roger JOURNEAUX

DidaScO, Université Paris XI
Centre Scientifique d'Orsay, Bât. 336
91405 Orsay cedex, France.

Résumé

Une innovation en premier cycle universitaire (première année de DEUG : Diplôme d'Études Universitaires Générales) est décrite dans cet article. Elle consiste en l'adaptation de travaux pratiques de physique pour aborder l'estimation des incertitudes par un traitement statistique des données expérimentales. Cette approche nouvelle a été précédée d'une recherche didactique qui a mis en évidence chez les étudiants des difficultés d'ordre épistémologique (déterminisme, rôle du hasard) et d'ordre conceptuel (dispersion, précision). Les séances sont conçues de telle façon que les concepts du domaine et les outils mathématiques sont progressivement introduits en fonction du problème posé, avec une interaction enseignants-étudiants importante. Par ailleurs, des questions écrites servent de guide aux étudiants et permettent une analyse de leurs réactions et productions.

Mots clés : mesure, statistique, innovation, travaux pratiques, physique.

Abstract

This paper is a description of an innovation during the first year of university (scientific DEUG). It is an adaptation of laboratory work in physics aimed at estimating uncertainties using statistical error analysis. This approach, new for the students, has been preceded by didactic research which has highlighted different kinds of difficulties for the students : epistemological difficulties (determinism, chance) and conceptual difficulties (dispersion, accuracy). The sequence was elaborated by progressively introducing notions and mathematical tools. There was a strong interaction between teachers and students. Moreover, written questions played the role of guidance for the students and allowed an analysis of their reactions and productions.

Key words : *measurement, statistics, innovation, laboratory work, physics.*

Resumen

Una innovación en el primer ciclo universitario (primer año del DEUG : Diploma de Estudios Universitarios Generales) es descrita en este artículo. Ella consiste en la adaptación de trabajos prácticos de física para abordar la estimación de las incertidumbres por un tratamiento estadístico de datos experimentales. Esta nueva aproximación fue precedida de una investigación didáctica que puso en evidencia en los estudiantes dificultades de orden epistemológico (determinismo, role del azar) y de orden conceptual (dispersión, precisión). Las sesiones están concebidas de tal manera que los conceptos del dominio y las herramientas matemáticas son progresivamente introducidas en función del problema propuesto, con una interacción importante entre profesores y estudiantes. Por otra parte, preguntas escritas sirven de guía a los estudiantes y permiten un análisis de sus reacciones y producciones.

Palabras claves : *medida, estadística, innovación, trabajos prácticos, física.*

«Voulez-vous croire au réel, mesurez-le.» (Bachelard, 1987)

1. INTRODUCTION : INNOVATION ET RECHERCHE EN DIDACTIQUE

Nous allons décrire une innovation en travaux pratiques (TP) de physique qui concerne la première année de DEUG (Diplôme d'Études Universitaires Générales). Son objectif est une première approche statistique des incertitudes de mesures. Au cours de deux journées de TP d'optique, les étudiants sont guidés pour effectuer plusieurs traitements statistiques de mesures. Les étudiants se familiarisent ainsi avec le concept de dispersion des mesures, avec les concepts et méthodes statistiques nécessaires à ce type de traitement, et sont amenés à saisir quelques avantages et

inconvenients de cette approche par rapport à la méthode dite «classique» qui consiste à faire une seule mesure. On peut ainsi espérer leur donner quelques premiers éléments de jugement, qui leur permettront ultérieurement de choisir l'une ou l'autre méthode.

Cette innovation est la suite et la conséquence de la recherche en didactique que nous avons menée sur l'acquisition du traitement statistique des mesures par des étudiants à ce niveau (Séré et al., 1993 ; Séré, 1994 ; Larcher et al., 1994). La recherche elle-même a concerné un seul groupe de TP à la fois, le groupe dont chaque année l'un de nous a la responsabilité en tant qu'enseignant. Cependant, plusieurs de nos collègues enseignants s'étant intéressés aux résultats de cette recherche, c'est avec leur collaboration que nous avons pu implanter simultanément dans un plus grand nombre de groupes les TP innovants que nous allons décrire. Le thème de ces TP ainsi que le matériel utilisé sont inchangés par rapport à la pratique des années antérieures et par rapport à celle des enseignants qui n'ont pas adopté notre innovation.

Depuis 1992, ces TP sont proposés à environ mille étudiants à l'Université Paris XI à Orsay, à l'Université de Versailles-Saint Quentin et à l'Université de Cergy-Pontoise.

Une originalité de cette innovation est que la plupart des enseignants concernés (des maîtres de conférences et de jeunes moniteurs) n'ont jamais, dans leur formation initiale, reçu d'enseignement sur les méthodes statistiques de traitement des mesures. Ils ont accepté de s'initier à ce sujet avec les aides que nous leur avons fournies. Nous avons organisé pour eux deux réunions d'information et une réunion de présentation et commentaire du déroulement des séances, prenant appui sur le polycopié (Séré & Journeaux, 1992) dont disposent les étudiants (soit six heures de réunion en tout). De plus, les enseignants avaient à leur disposition dans chaque salle de TP un dossier élaboré pour répondre au mieux aux questions qu'ils pouvaient se poser. L'interaction que nous avons eue avec les enseignants a été très riche, souvent marquée par l'enthousiasme (peut-être dû à la nouveauté du sujet). Les interactions ne se sont pas limitées au temps de préparation des TP. Pendant les premiers mois, une dynamique d'échanges et de discussions s'est instaurée avec les jeunes moniteurs, mais aussi avec des enseignants chevronnés, qui ont approfondi personnellement le sujet.

Dans un premier paragraphe, nous résumerons les conceptions d'étudiants que l'enseignement doit faire évoluer et qui ont été mises à jour par la recherche préalable. Puis nous donnerons le déroulement des deux journées de TP destinés à faire évoluer ces conceptions, tout en visant des objectifs de connaissance en optique. Enfin, nous donnerons quelques éléments sur l'impact d'ores et déjà observable de cet enseignement, l'évaluation n'ayant pas encore pu être faite.

2. QUELQUES CONCEPTIONS D'ÉTUDIANTS À PROPOS DE LA MESURE

– Pour les étudiants, (et semble-t-il pour la plupart des enseignants), les **statistiques** sont un outil mathématique qui s'applique aux grands nombres d'épreuves et/ou au hasard (Séré, 1992). Or les séries de mesures sont parfois seulement de dix et le rôle du hasard dans une opération de mesurage est rarement reconnu par les étudiants. C'est pourquoi il nous a paru nécessaire d'argumenter le type de résultats que donnent les statistiques.

Les questions suivantes nous ont été posées par des étudiants et/ou des enseignants :

«*Est-il **correct** de conclure avec dix mesures ?*»

«*L'affirmation « x a 95% de chances de se trouver dans l'intervalle... » est-elle **vraie** ?*»

«*Dire que x a 95% de chances d'être dans l'intervalle de confiance, est-ce que ça a **des chances d'être faux** ?*»

– **La qualité d'une mesure** est une idée rudimentaire chez les étudiants. Une mesure est bonne si elle emporte l'accord de l'enseignant, car il détient la valeur de référence. Pour la trouver, un moyen : le soin. C'est qu'en effet les étudiants se sentent personnellement responsables des écarts à la «bonne valeur», écart qu'ils dénomment «erreur» avec une connotation nettement péjorative. Un des objectifs de notre enseignement est de faire évoluer cette idée vers la conception plus élaborée qu'un résultat doit avoir deux qualités : précis et exact, et que les moyens pour atteindre ces qualités sont de nature différente.

– Spontanément, les étudiants rejettent l'idée de **dispersion** et n'aiment pas recommencer une mesure. S'ils le font, c'est rarement pour obtenir plus d'information sur le résultat cherché, mais plutôt pour vérifier une première mesure. On retrouve ici l'idée qu'une mesure doit être jugée, qu'elle est à garder ou à éliminer.

Les étudiants considèrent que la troisième mesure sert à trancher entre les deux premières et espèrent pour la suite des mesures une certaine convergence de la série. Ils considèrent alors comme inutile de continuer à répéter les mesures.

Ainsi pour les étudiants, le nombre N de mesures serait fixé de façon subjective, au vu des résultats obtenus. Le point de vue que nous enseignons est différent : si l'on recommence N fois la mesure d'une même grandeur, c'est que chaque terme de la série apporte de l'information sur la population dont elle est extraite et dont on peut raisonnablement espérer qu'elle est gaussienne.

Par ailleurs nous essayons d'implanter l'idée que le nombre N de mesures est l'objet d'un **choix** raisonné, s'appuyant sur l'expression mathématique donnant l'intervalle de confiance associé à un taux de confiance donné. Il est en effet vain de rechercher un intervalle de confiance à 95% (par exemple), qui serait inférieur à l'inexactitude qu'il est impossible de réduire. C'est donc *in fine* une analyse physique du phénomène qui peut guider ce choix.

– L'idée de «**meilleur représentant d'une série de mesures**» est moins intuitive qu'il y paraît. Spontanément, des étudiants choisissent le mode ou la médiane plutôt que la moyenne (Séré et al., 1993). D'autres prennent la moyenne, éventuellement après élimination quelque peu arbitraire de l'une et/ou l'autre des valeurs extrêmes.

En ce qui concerne cette notion, l'enseignement est facile à saisir pour les étudiants. Tous apprennent sans problème à calculer la moyenne et semblent admettre qu'elle est bien le meilleur représentant de la série de mesures.

Ces résultats incitent à penser que deux facteurs peuvent favoriser la compréhension de l'approche statistique des incertitudes :

– faire évoluer la représentation que les étudiants ont d'une série de mesures, en les écartant de la dichotomie bonne / mauvaise mesure au profit de l'idée que toute valeur obtenue est porteuse d'information. Cette représentation constitue une ligne directrice qui donne du sens à l'ensemble du traitement mathématique enseigné ;

– initier une saine représentation du déterminisme, du hasard, de la nature des résultats obtenus par les statistiques. Il s'agit d'éviter l'application aveugle de formules, ce qui conduirait à une insatisfaction quant aux résultats obtenus. Nous proposons une prise de conscience de ce que sont une variable aléatoire, le prévisible et l'imprévisible pour une épreuve donnée ou pour une ensemble d'épreuves, le couple hasard-déterminisme. Nous proposons également une réflexion sur les informations qu'un échantillon, même de petite taille, apporte à propos de la population parente dont il est extrait.

3. LE DÉROULEMENT DES TRAVAUX PRATIQUES

Les TP d'optique dont il est ici question durent deux journées, chacune représentant environ sept heures de travail.

Nous décrivons les activités des étudiants chronologiquement et suivant un découpage regroupant les activités par objectifs. Nous laissons de côté dans cette description les objectifs de connaissance d'optique, malgré leur importance.

3.1. Première journée : mesures de distances focales de lentilles minces

Il s'agit ici de mesurer la distance focale de plusieurs lentilles, convergentes ou divergentes, à l'aide d'une/plusieurs méthodes, en réalisant une/plusieurs mesures. Quand ils concernent la même lentille (convergente), les résultats par différentes méthodes sont confrontés en vue de donner un résultat unique.

1°) Associer les activités de réglage à la recherche d'exactitude et à la minimisation des erreurs systématiques

Les étudiants règlent l'horizontalité du banc d'optique, l'alignement des appareils, etc.

2°) Parvenir au concept de dispersion

Les étudiants effectuent une mesure unique de la distance focale d'une lentille convergente L_1 par autocollimation. De façon «classique», ils donnent une seule valeur accompagnée d'un encadrement (méthode dite analytique par les métrologues). Il est alors demandé de réaliser une autre mesure «classique», et chaque binôme est invité à comparer ces deux premiers résultats. Cela pose en général le problème de la non-compatibilité de mesures et encadrements successifs. Les étudiants doivent alors réaliser huit autres mesures sans encadrement. Chaque binôme dispose ainsi d'une série de dix mesures dispersées.

3°) Comprendre la pertinence des statistiques pour obtenir un résultat à partir d'une série de mesures (exposé de l'enseignant)

L'enseignant dispose d'un appareil de Galton (figure 1) qui lui permet de faire énoncer aux étudiants un certain nombre de résultats à propos d'une variable aléatoire : la case dans laquelle tombe une bille. Il leur fait alors transposer ces résultats à la variable aléatoire qu'est le résultat d'une mesure. L'efficacité didactique de cette analogie a été étudiée par ailleurs (Séré, 1994). C'est par cet artifice que l'enseignant introduit les notions de statistiques indispensables pour le concept et le calcul de l'intervalle de confiance associé à un taux de confiance (nous nous sommes limités au taux de confiance de 95 % par souci de simplification).

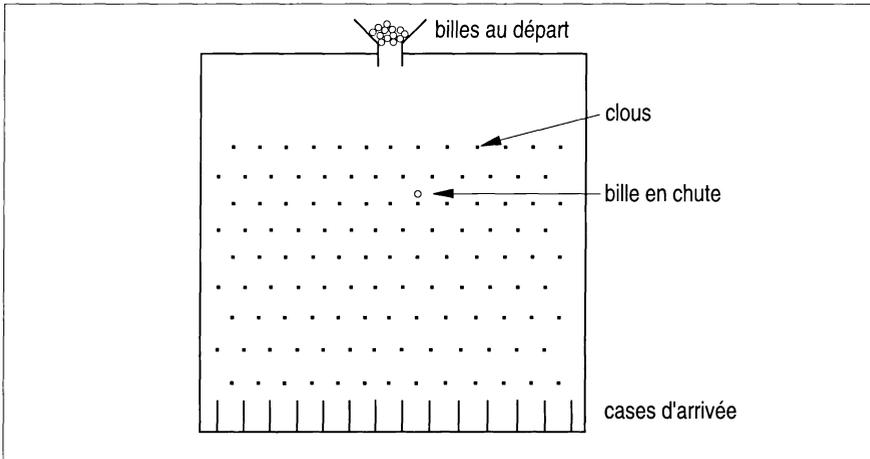


Figure 1 : **Schéma de l'appareil de Galton.** Quand on fait tomber un grand nombre de billes à travers le système de clous, celles-ci se distribuent dans les cases d'arrivée avec une répartition proche d'une courbe de Gauss.

4°) Comprendre l'intérêt de N mesures en calculant l'intervalle de confiance, par comparaison des méthodes «classique» / statistique

Chaque binôme effectue le calcul de l'intervalle de confiance à 95 % rendant compte de sa propre série de mesures et est invité à commenter ses résultats. La figure 2 montre le type de résultats obtenu par un binôme : l'intervalle de confiance obtenu avec dix mesures est bien inférieur à l'encadrement qu'il avait choisi pour sa première mesure (gain en précision). La moyenne est légèrement décalée par rapport à la première mesure (gain en exactitude).

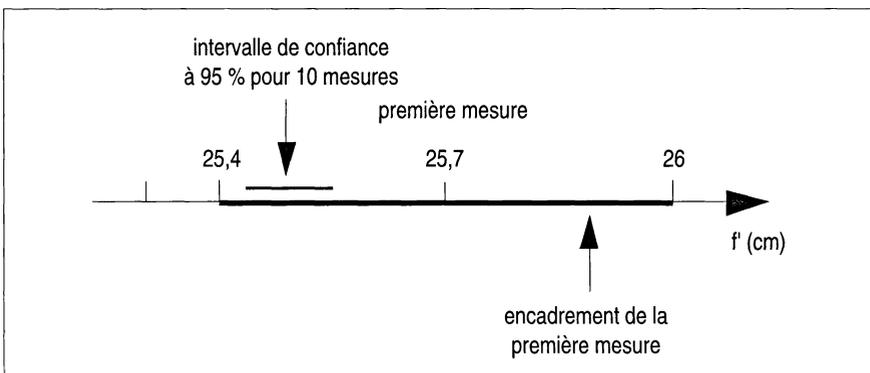


Figure 2 : **Dix mesures de f' réalisées par un binôme.** Comparaison de l'encadrement évalué pour la première mesure et de l'intervalle de confiance à 95 % pour les dix mesures.

5°) Réaliser un traitement statistique et l'appliquer à un problème de transmission des incertitudes

«Classiquement», les étudiants doivent acquérir le principe de la transmission des incertitudes par le calcul différentiel. Le même calcul est applicable à des intervalles de confiance. Nous leur faisons donc traiter un tel problème à l'occasion de la mesure de la distance focale de L_1 par la méthode de Bessel.

6°) Donner un résultat unique et en choisir le nombre de chiffres significatifs en fonction de l'intervalle et du taux de confiance choisis

Ainsi, chaque binôme obtient plusieurs résultats pour la distance focale d'une même lentille L_1 . Il lui est alors demandé de donner une valeur unique en ayant choisi le nombre de chiffres significatifs. Chaque binôme a ses propres résultats, ses propres difficultés aussi (décalage des valeurs, incompatibilité des intervalles, etc.). Chacun doit réaliser une discussion en terme d'incertitudes systématiques et aléatoires. Quelques questions sont posées pour les guider dans cette réflexion. On trouvera dans le paragraphe 4 quelques commentaires suscités par ces questions suggérant qu'elles sont l'occasion d'initiative et de réflexion personnelle pour les étudiants.

3.2. Deuxième journée : mesures de l'indice d'un milieu transparent (altuglas)

Les méthodes utilisées sont : plusieurs mesures de l'angle limite pour un dioptre plan en altuglas, plusieurs mesures du couple d'angles d'incidence et de réfraction (i, r) pour le même dioptre plan, mesure unique de la déviation produite par un prisme fait du même matériau.

Une première question ouverte est posée : «Le fait de tenir compte de nombreuses mesures de tous les binômes va-t-il diminuer la précision du résultat ou au contraire l'améliorer ? Argumentez votre réponse.» Elle a donné des indications sur les acquis des étudiants au cours de la séance précédente (les deux séances étaient séparées de une à trois semaines). On trouvera quelques réponses à cette question dans le paragraphe 4.

1°) Associer les activités de réglage à la recherche d'exactitude et à la minimisation des erreurs systématiques

Il s'agit ici de centrer la platine support des appareils en altuglas par rapport au faisceau laser constituant la source.

2°) Effectuer le traitement statistique de deux séries de mesures dispersées de «tailles» différentes ($N = 10$ et $N = 120$)

Chaque binôme mesure dix fois un angle k , double de l'angle limite de l'altuglas (figure 3).

Puis chacun à son tour introduit cette série de mesures dans le logiciel de fonctions statistiques «KaleidaGraf». Celui-ci fournit l'histogramme et l'intervalle de confiance de chaque binôme (dix mesures). Il fournit aussi l'histogramme et l'intervalle de confiance correspondant à l'ensemble du groupe (120 mesures).

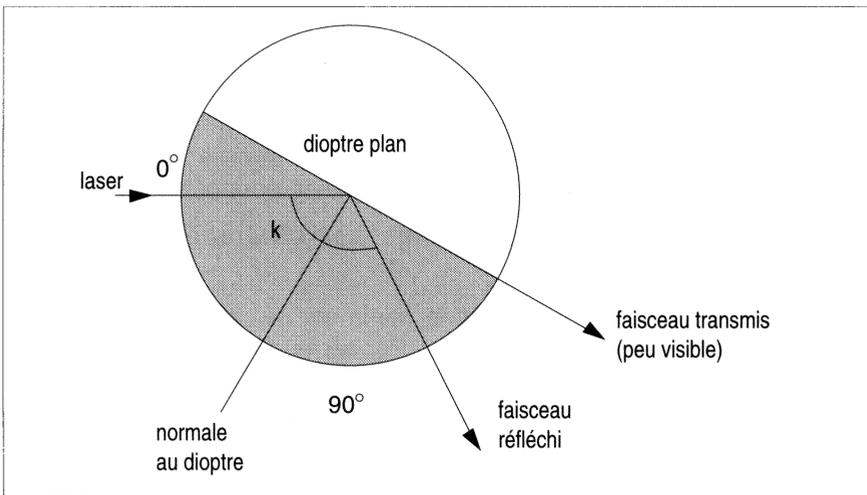


Figure 3 : Mesure de l'angle k , double de l'angle limite dans l'altuglas.

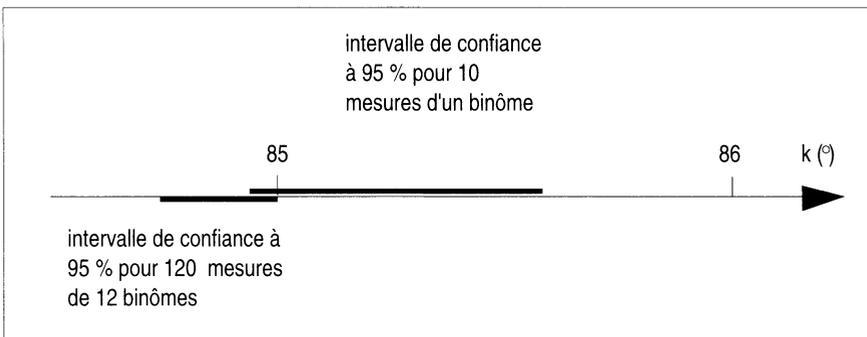


Figure 4 : Comparaison des intervalles de confiance pour un binôme et pour douze binômes pour le taux de confiance de 95 %.

Les étudiants sont invités à comparer ces différents résultats, qui sont en général très parlants (figure 4). Tel binôme s'aperçoit d'un décalage grossier de ses mesures par rapport à celles du groupe. Il recherche une source d'erreur systématique. Tel autre binôme s'interroge sur la quasi-égalité de son écart moyen quadratique et de celui de tout le groupe (une conception erronée consiste à penser que l'écart moyen quadratique diminue quand on augmente le nombre de mesures). Tous constatent que l'intervalle de confiance du groupe est plus faible que le leur (il devrait être $\sqrt{12}$ fois plus petit), ce qui rend clair l'intérêt de faire beaucoup de mesures.

L'ensemble du groupe peut finalement produire une valeur de l'indice n de l'altuglas en lui donnant un nombre de chiffres significatifs au vu de l'intervalle de confiance.

3°) Traiter un ensemble de mesures par la régression linéaire

La loi $\sin i = n \sin r$ est utilisée pour calculer n par régression linéaire. Chaque binôme obtient la pente de la droite formée par les points expérimentaux, ainsi que l'intervalle de confiance pour cette pente.

4°) Comparer les résultats donnés par différentes méthodes, «classique»/statistique

Enfin chaque binôme mesure le minimum de déviation D pour un prisme taillé dans le même altuglas. Par le jeu des coefficients dans l'expression donnant n à partir de D , il se trouve que cette méthode «classique», puisqu'elle n'utilise qu'une mesure, donne une bonne précision.

Les étudiants doivent alors rassembler tous leurs résultats pour n . Bien qu'étant centrés autour des mêmes valeurs, les résultats ont parfois des configurations fort différentes d'un binôme à l'autre. Chaque binôme doit commenter ses résultats personnels.

4. L'IMPACT DE CET ENSEIGNEMENT

Sans constituer une évaluation, les observations suivantes apportent quelque lumière sur l'impact de cette innovation.

Les enseignants qui s'y sont intéressés approuvent dans leur ensemble le fond et la forme de ces TP. Les modifications qu'ils demandent pour une version ultérieure sont la reformulation de quelques questions portant sur la comparaison de méthodes et l'informatisation d'un calcul un peu long. Ils demandent aussi que les mesures du même angle k (deuxième journée) soient recueillies pour tous les groupes et qu'un intervalle de confiance puisse être calculé pour une valeur de N de l'ordre de 1000. Cela permettrait une discussion sur les limites de la méthode consistant à répéter des mesures.

Généralement, les enseignants regrettent que le sérieux avec lequel les résultats de mesure ont été discutés reste exceptionnel. C'est qu'en effet ils ont vu des étudiants développer des considérations physiques inhabituelles pour critiquer et comparer leurs résultats. Ils ont également vu des étudiants faire preuve d'initiative et de réflexion personnelle devant ces résultats. Nous donnons ci-dessous quelques extraits de comptes rendus de TP, montrant que commentaires et réponses sont variés et non stéréotypés, même s'ils manifestent encore quelques conceptions erronées.

Première journée - «Sur un même axe, reportez vos dix mesures, l'encadrement que vous avez donné pour une seule mesure et l'intervalle de confiance à 95 %. Commentez.» (voir figure 2)

«Sept mesures sur dix n'appartiennent pas à l'intervalle de confiance. [Cela] montre bien l'utilité des calculs statistiques : nos dix mesures de départ ont ainsi été réduites à un intervalle de confiance réduisant le nombre de mesures à trois.» (Ce binôme continue à penser qu'il faut éliminer les «mauvaises» mesures et considère que ce sont celles qui sont hors de l'intervalle de confiance).

«C'est justement le but du traitement statistique qui réduit considérablement cette imprécision, qui est de 0,4 cm tandis qu'auparavant elle était de 0,65 cm.» (Ce binôme comprend que le fait de faire dix mesures apporte un gain en précision).

«Nous avons cinq mesures sur dix qui se trouvent dans l'intervalle de confiance. Nous serions tentées de dire qu'il y a 50 % de bonnes et 50 % de mauvaises mesures, mais nous nous efforçons de nous en dissuader car toutes ont contribué à l'affinement de l'intervalle de confiance.» (Ce binôme est parvenu à la même conclusion que le précédent, en exprimant de plus que toutes les mesures ont contribué à apporter de l'information).

Deuxième journée – Question préalable : «Le fait de tenir compte de nombreuses mesures de tous les binômes va-t-il diminuer la précision du résultat ou au contraire l'améliorer ? Argumentez votre réponse.»

«Le traitement statistique du maximum de données garantit la qualité du résultat. Par conséquent, le fait d'avoir 120 mesures plutôt que 10, minimise les erreurs aléatoires commises pendant l'expérimentation à chaque mesure.»

«L'encadrement final du résultat sera donc plus fin (surtout pour cette manipulation où le jugement de l'opérateur tient une place non négligeable).» (Ces deux binômes semblent comprendre le processus selon lequel l'accumulation de mesures augmente la précision et minimise l'influence des erreurs aléatoires. Il ne se servent pas de

l'expression mathématique donnant l'intervalle de confiance pour étayer leur réponse).

«Plus nous obtenons de résultats, plus notre moyenne sera précise donc plus proche de la valeur exacte.»

«De nombreuses mesures augmentent la probabilité d'obtenir des mesures proches de la réalité.»

(Ces deux binômes font une confusion entre la précision et l'exactitude).

De plus, les enseignants regrettent que le traitement statistique des mesures, et le souci de choisir entre une méthode «classique» et statistique, soient l'affaire de deux journées seulement. L'ensemble du groupe concerné a réellement avancé dans la prise de conscience des conditions qui rendent légitime un traitement statistique (ordre de grandeur des erreurs systématiques et aléatoires, indépendance des mesures successives, résolution de l'appareil de mesures, etc.). Aussi est-il souhaité que ce type de préoccupations reste présent dans l'ensemble des TP, même si pour des raisons évidentes de temps, il n'est pas souvent envisageable de faire beaucoup de mesures.

5. CONCLUSION

Edgar Morin (cité par F. Cros, 1993) dit des innovations que «ce qui est important, c'est la dynamique sociale qu'une expérience met en œuvre, à un moment donné, et pas sa réussite finale.» Pour notre part, nous attachons une réelle importance au résultat de cette innovation et nous avons décrit les moyens pour y parvenir. Quant à la dynamique, elle est multiple. Elle consiste d'une part à renouveler et approfondir le regard des enseignants et des étudiants sur la mesure et sur la variété des moyens disponibles pour améliorer ses qualités. Elle consiste d'autre part à ouvrir des possibilités d'autonomie pour les étudiants et de travail commun avec les enseignants, comme en témoignent les discussions collectives qui s'instaurent autour de résultats toujours imprévus et toujours différents d'un groupe à l'autre. Cette dynamique, encore loin de son terme, peut apporter un intérêt renouvelé aux TP de DEUG.

BIBLIOGRAPHIE

BACHELARD G. (1987). *Essai sur la connaissance approchée*. Paris, Vrin.

CROS F. (1993). *L'innovation à l'école : forces et illusions*. Paris, PUF.

LARCHER C., SÉRÉ M.-G. & JOURNEAUX R. (1994). Difficultés lors du mesurage chez des étudiants de première année d'Université. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 12, n° 2, pp. 217-225.

- SÉRÉ M.-G. (1992). Le déterminisme et le hasard dans la tête des élèves. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 740, pp. 87-96.
- SÉRÉ M.-G. & JOURNEAUX R. (1992). *TP d'Optique, MO3-MO4*. Polycopié du Centre Scientifique d'Orsay, Université Paris XI.
- SÉRÉ M.-G., JOURNEAUX R. & LARCHER C. (1993). Learning the statistical analysis of measurement errors. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 4, pp. 427-438.
- SÉRÉ M.-G. (1994). Une analogie pour comprendre l'approche statistique des incertitudes en première année d'Université. *Didaskalia*, n° 3, pp. 27-42.

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement les collègues enseignants qui se sont intéressés à nos recherches et ont joint leur dynamisme au nôtre pour cette innovation. Leurs questions et commentaires ont fait avancer notre réflexion. Merci à A. Benani, J.-L. Duchêne, P. Lauginie et M.-C. Méry, ainsi qu'à C. Ferrari et K. Bochialini, moniteurs (Université Paris 11), A. Jorus (Université de Versailles St Quentin) et A. Guillon (Université de Cergy-Pontoise).

Notre reconnaissance va également à J. Bénard qui s'est chargé du travail informatique et a accompagné avec compétence et souplesse le cheminement de la recherche et de l'innovation.

ÉQUIPE INRP/LIREST (J.-L. MARTINAND et al.) (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP, 136 p.

Ce livre a pour sujet la recherche sur la modélisation menée par l'équipe INRP/LIREST, recherche qui concerne en particulier les conditions du développement des activités de modélisation, de l'école jusqu'au lycée, et les différents aspects de la modélisation en sciences, en physique spécialement. Ces travaux sur les activités de modélisation des élèves ont fait l'objet d'un colloque auquel ont participé des chercheurs invités, et dont les réactions ont été transcrites dans l'ouvrage. Celui-ci contient cinq chapitres rédigés par des chercheurs de l'équipe INRP/LIREST, deux contributions d'auteurs «invités», et un texte sur les particularités de la modélisation en biologie.

L'ouvrage analyse des modèles proposés par les enseignants à leurs classes et des modèles construits par les élèves lors de cette recherche, dans le but de caractériser les différentes démarches de modélisation, la nature et la structure des différentes sortes de modèles. Il analyse le rôle du modèle selon ses fonctions de représentation, de description, d'explication et de prédiction. Des éléments de réflexion sur le problème de la modélisation en sciences sont fournis, au plan épistémologique, psychologique et pédagogique, ainsi que des suggestions pour l'enseignement scientifique. Les auteurs montrent en particulier l'importance de la représentation dans la conceptualisation, en prenant en compte la question de la validité des modèles et celle des risques possibles liés à leur utilisation, spécialement au niveau élémentaire : un modèle se situe à un niveau abstrait ; faire le lien avec la réalité peut poser problème à l'élève. Une analyse des modèles est proposée en termes

de relation entre ces deux registres bien distincts (celui du modèle et celui de l'expérience réelle), en tenant compte des difficultés des élèves à maîtriser les modèles et leurs différentes fonctions. Le rôle du modèle dans la recherche est ensuite comparé à son rôle dans la vulgarisation scientifique ; dans le cas de la vulgarisation, l'accent est mis sur la fonction fondamentale de représentation.

La relation entre description et représentation est montrée à travers des exemples de modèles utilisés par des élèves d'âge différent en physique et en astronomie ; les auteurs identifient dans ces modèles les fonctions de représentation, d'explication et de prédiction, et précisent en quoi ces modèles contribuent à la conceptualisation et à la construction du savoir.

Afin de proposer des modèles de façon efficace, la nécessité de connaître les conceptions des élèves est reconnue, ainsi que les possibilités d'interférence entre les modèles implicites utilisés dans la vie quotidienne et les modèles proposés à l'école. Est également abordé le problème de la transposition et de l'adaptation du modèle du chercheur au niveau des élèves, en même temps que celui de la maîtrise par les élèves de nouveaux systèmes de représentations symboliques. Une approche développementale de l'apprentissage est proposée pour étudier les activités de modélisation des élèves et en tirer des conséquences pour l'enseignement ; les auteurs analysent les interférences entre les ressources cognitives des élèves et les actions de guidage de l'enseignant. Le choix effectué concernant la conception de l'apprentissage induit une vision nouvelle des interventions pédagogiques dans la classe, du rôle de l'enseignant et des activités de modélisation des élèves. Enfin, sont envisagées les possibilités d'applications de cette recherche dans le développement de curriculums.

Ce livre constitue une ressource intéressante

pour les enseignants de physique, et plus généralement de sciences, pour les tuteurs et formateurs d'enseignants. On peut signaler que, en matière d'activité de modélisation des élèves, l'utilisation des simulations par ordinateur est mentionnée, mais aucune description n'en est faite. Par ailleurs, la signification de certaines notations, supposées connues des lecteurs (comme par exemple l'abréviation CM), peut poser problème aux lecteurs non français. Cette dernière remarque concerne les personnes qui n'ont pas lu l'ouvrage *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*, centré sur le même sujet et publié en 1992 par l'INRP.

L. Borghi

GIORDAN A., GIRAULT Y. & CLÉMENT P. (Sous la direction de) (1994). *Conceptions et connaissances*. Berne, Peter Lang, 320 p.

Dans la première partie de ce livre, intitulée «Cadre conceptuel», A. Giordan, Y. Girault et P. Clément passent en revue l'utilisation des termes «conception», «connaissance» et «représentation» dans la littérature en philosophie, psychologie et didactique. Ces utilisations apparaissant comme hétérogènes et quelquefois même contradictoires, les auteurs proposent leurs propres définitions, dans le cadre des contributions rassemblées dans cet ouvrage. De par son acception psychologique, le terme de «représentation» sera éliminé – à juste titre, à mon avis – parce que ce terme implique presque toujours l'existence *a priori* de ce qu'un sujet se représente mentalement. Ainsi, les représentations seront comprises sous le terme «conception», qui est défini comme «une sorte de décocodeur permettant à l'apprenant de comprendre le monde qui l'entoure» (p. 10). Bien entendu, cette définition est en accord avec le constructivisme piagétien, qui maintient que le sujet cognitif assimile ses expériences dans les structures conceptuelles qu'il possède déjà (à cela, il faut ajouter qu'une accommodation peut avoir lieu lorsque l'assimilation produit

une perturbation de l'équilibre des structures).

Dans la mesure où cet ouvrage s'intéresse à la culture scientifique (et surtout à l'enseignement de la biologie), le terme «connaissance» est utilisé principalement pour les connaissances scientifiques, et, en accord avec l'orientation constructiviste, celles-ci ne sont pas présentées comme des vérités absolues, mais comme le résultat d'une recherche d'équilibre, influencé par les «représentations sociales» des chercheurs : «*Des connaissances sont scientifiques à partir du moment où elles sont reconnues comme telles par la communauté scientifique.*» (p. 27)

Dans le dernier chapitre de cette introduction philosophique aux problèmes de la didactique, Giordan et Girault notent que l'action propre de l'élève doit être «*replacée au cœur de la construction de la connaissance... sous la forme du «déjà-là» conceptuel*» (p. 47) et ils posent la question : «*que faire concrètement de ces conceptions quand on souhaite «faire passer» un savoir ?*» (p. 48). Puis ils examinent trois positions qu'ils considèrent comme prédominantes dans la littérature «sur l'utilisation des conceptions». Cependant les modes de traitement proposés dans cette littérature sont multiples et souvent contradictoires ; ceci amène à la conclusion qu'il faut «*dépasser radicalement les positions*» mentionnées (p. 64) et que «*la recherche didactique se doit donc d'innover dans ses approches méthodologiques*» (p. 65).

La seconde partie du livre, intitulée «Les concepts en œuvre», s'ouvre sur un essai de P. Clément qui passe en revue les diverses approches historiques et contemporaines concernant l'épistémologie des conceptions. Il conclut : «*Ce n'est plus l'âme extérieure à l'homme, transcendante, qui contrôle ses pensées ; ce n'est plus la prédestination divine, qui fut relayée par le prédéterminisme génétique ; c'est la construction de chaque individu à partir de son génome humain, grâce auquel son cerveau humain se structure en fonction de son histoire propre, de son environnement singulier, en émergences uniques porteuses des créations cognitives de chacun de nous.*» (p. 88)

Les 180 pages qui suivent comportent quinze études sur le rôle des conceptions préalables dans l'enseignement, en autant de sujets différents – de la vie sociale des fourmis à la circulation du sang en passant par la fonction des enzymes. Dans les dernières pages, A. Giordan présente son interprétation des «*théories contemporaines sur l'apprentissage*», dont onze sont caractérisées. C'est évidemment une entreprise subjective, et rien n'oblige le lecteur à être d'accord avec tous les jugements énoncés.

Ce livre constitue un précieux catalogue des préconceptions auxquelles l'enseignant aura affaire dans un grand nombre de domaines de la biologie. Basés sur une approche constructiviste, selon laquelle le savoir des apprenants est toujours le résultat de leurs propres activités mentales, les auteurs expliquent pourquoi il est absolument indispensable de tenir compte des conceptions dont l'apprenant dispose en début d'enseignement.

S'il y a une faiblesse dans cet ouvrage, c'est qu'il n'y est pas fait mention du fait que les associations formées par les apprenants entre les termes scientifiques et les concepts ne sont pas elles non plus sous le contrôle direct de l'enseignant ; en effet, la construction du sens des mots est elle aussi guidée par l'expérience subjective.

E. von Glasersfeld

GOFFARD M. (1994). *Le problème de physique et sa pédagogie*. Paris, ADAPT, 80 p.

Professeur de physique en lycée, M. Goffard a fréquemment rencontré les difficultés des élèves devant un problème de physique, à tel point qu'elle a choisi ce thème comme objet de ses recherches en didactique : cet ouvrage s'inspire largement de ces travaux.

Une première partie de l'ouvrage situe la résolution de problèmes dans le domaine des recherches en didactique de la physique, en effectuant un état des lieux sur la formation des enseignants sur ce point, et d'autre part

sur la connaissance des modes de résolution appliqués par les élèves. L'intérêt de cette partie est de montrer à qui en doutait, état des lieux à l'appui, que la résolution de problèmes n'est pas un simple exercice scolaire que les élèves savent plus ou moins bien réaliser, mais aussi un domaine d'interrogation et de recherche.

Une seconde partie, prenant appui sur les deux recherches auxquelles a participé l'auteur, présente deux rôles du problème de physique dans l'élaboration des connaissances, en détaillant les situations didactiques construites à ces occasions : le premier est celui d'aide à l'appropriation d'une connaissance, le second d'aide à la compréhension. La conclusion de l'ouvrage aborde la notion de «*mode de travail pédagogique*», soulignant le rôle de l'enseignant, l'importance de ses choix, dans la réussite des élèves.

L'étude de la résolution de problèmes de physique par les élèves peut s'envisager suivant l'une des trois directions rappelées dans la préface ; l'étude des modes de résolution mis en œuvre par les élèves, le travail d'ingénierie pour construire des situations à problème, et l'analyse du rôle central du problème dans la construction de la connaissance scientifique. Ces trois directions mériteraient d'être évoquées plus largement, en particulier pour préciser que l'auteur se réfère plutôt à la troisième, et il peut paraître dommage que la brièveté de l'ouvrage n'autorise pas cette mise en relief. La place qu'un enseignant accorde à cette phase didactique est également l'objet d'étude de la part de M. Goffard, qui s'appuie pour cette analyse sur les trois «*modes de travail pédagogique*» tel que les présente Marcel Lesne. Sur ce point encore, la taille réduite de l'ouvrage conduit à un survol très rapide : on pourrait souhaiter voir évoquées les valeurs, très différentes suivant le style d'enseignement, de critères (logique de la tâche, rapport au savoir, rapport au pouvoir...) caractérisant ces styles, en les référant à la résolution de problèmes.

Quelques regrets toutefois : la place du problème scientifique dans l'épistémologie scolaire est centrale et apparaît trop peu dans cet ouvrage ; même en n'abordant que le domaine de la mécanique (mais dont on

sait la place importante que lui fait l'enseignement français... et les études didactiques), l'étude de M. Goffard part de façon prometteuse : on attend plus que ces quelques pages. Par ailleurs, un titre comme celui choisi doit certainement attirer l'œil et aiguise la curiosité de nombre d'enseignants de physique qui, bien souvent, «ne comprennent pas que leurs élèves ne comprennent pas». Mais les réponses avancées ne peuvent qu'être référées à la physique : les méthodes de résolution d'un problème de physique sont des méthodes de physique (la même remarque s'adresse à toutes les disciplines). Pourquoi alors parler de pédagogie ? Sauf à rechercher les faveurs d'un public de futurs enseignants de physique : or, ce public est exigeant et sensible côté didactique. Des références à des travaux de ce type lui sont nécessaires (comme aux formateurs d'ailleurs), dans lesquels la rigueur doit être omniprésente, aiguillonnée par un travail constant de transposition du savoir construit par la recherche.

J. Toussaint

Le travail présenté ici sur le problème de physique s'inscrit principalement dans une problématique d'élaboration d'aides à la résolution de problème, aides pour les élèves mais aussi aides pour les enseignants chargés d'accompagner les élèves dans ces résolutions. C'est l'articulation entre apprentissage de la physique et résolution de problèmes qui est envisagée : apprendre la physique pour résoudre des problèmes, mais aussi résoudre des problèmes pour apprendre la physique nécessitent que la résolution de problèmes elle-même soit considérée comme un processus à guider par l'enseignant et que le statut des problèmes traités soit interrogé.

Les problèmes dont il est question ici ne sont pas seulement des problèmes habituels, fermés, formalisés, à solution unique, mais aussi des problèmes ouverts, sans données, qui nécessitent d'abord un travail de délimitation avant d'envisager une résolution.

Si la finalité de l'activité de résolution de problème est d'apprendre à résoudre des problèmes, alors elle ne peut en effet prendre

comme référence qu'une activité de chercheur dans laquelle le problème est en fait à poser à partir d'une situation étudiée. L'introduction de problèmes ouverts permet de sortir l'enseignant de son expertise de la solution pour l'engager dans une expertise de résolution et modifie ainsi son rôle : elle permet aussi de sortir l'élève d'une démarche de tâtonnement vers la solution à partir de manipulation de formules et de données pour l'engager dans une analyse de la situation physique dans laquelle les aides proposées pourront prendre un sens. C'est aussi l'image de la science comme construction collective qui est en jeu dans ce choix.

Dans une première partie, différents cadres théoriques qui sous-tendent les recherches sur la résolution de problèmes sont comparés et interrogés dans leur fonctionnalité et dans leurs limites. C'est ensuite les pratiques pédagogiques des enseignants et les comportements des élèves qui sont analysés. L'analyse de pratiques pédagogiques courantes fait ressortir l'illusion d'un apprentissage à la fois dogmatique et inductif, les méfaits des situations prototypiques, l'absence de réelle prise en considération de la difficulté d'un processus d'abstraction, la dissymétrie des rôles enseignant/enseigné. Les comportements des élèves sont analysés en référence à une analyse physique de la tâche : représentation du problème, analyse quantitative, production de schémas, apparaissent peu utilisés par les élèves.

En réponse à ces constats, c'est une nouvelle pédagogie de la résolution de problèmes qui est proposée, mise en place dans les classes par un praticien qui assume les contraintes des situations de classe et cherche un espace de liberté qui permette de modifier fondamentalement le rapport à la construction du savoir par les élèves. Les aides didactiques élaborées, leur appropriation par les élèves, le rôle de l'enseignant sont décrits de sorte que d'autres enseignants puissent s'engager dans de nouveaux modes de travail pédagogique cohérents en disposant de cadres d'analyse de leurs pratiques et de leur rôle.

Il ne s'agit pas dans cette recherche de faire

la preuve d'un dysfonctionnement et de valider un mode d'intervention pédagogique différent. Les données recueillies servent de support à une interrogation sur les finalités des activités de résolution de problèmes et sur la cohérence entre ces activités et les modalités de leur gestion en classe. Si les questions abordées apparaissent manquer un peu de structuration dans leur présentation, peut-être faut-il y voir un accompagnement progressif de l'évolution de la réflexion. Les cadres théoriques introduits au début sont repris en cours de route et en fin de parcours : ils peuvent ainsi prendre un sens progressivement par rapport aux questions abordées concrètement.

À un moment où un type d'enseignement transmissif par présentation d'un savoir et application par les élèves est remis en cause en tant que modèle exclusif, des propositions alternatives argumentées à la fois sur le plan théorique et sur le plan de la faisabilité seront appréciées des enseignants et des formateurs.

C. Larcher

GRANGER G.-G. (1994). *Formes, opérations, objets*. Paris, Vrin, Mathesis, 402 p.

Sous ce titre, Gilles-Gaston Granger publie un recueil de dix-neuf articles parus, sauf deux inédits, de 1947 à 1991, augmenté d'une introduction et d'une conclusion montrant l'unité de l'ouvrage. Ainsi ce livre met à la disposition du lecteur des textes dont certains sont actuellement difficiles à consulter.

La question centrale qui donne son unité à l'ouvrage est celle du rôle et des modes d'intervention de la pensée formelle dans la connaissance scientifique. Les domaines abordés sont ceux de la logique, des mathématiques, de l'histoire et des sciences de l'homme. En ce qui concerne les sciences expérimentales, l'auteur lui-même renvoie à son ouvrage récent, *La vérification* (paru en 1992 chez Odile Jacob). Mais la physique n'est pas absente de l'ouvrage : il devrait

donc être lu avec un grand intérêt par tous ceux qui s'intéressent au rôle des mathématiques dans la physique, à la notion de modèle, à l'histoire des sciences, et à l'épistémologie de la didactique.

La thèse centrale de l'ouvrage repose sur l'affirmation suivante : toute connaissance dès qu'elle s'exprime sous forme symbolique, ne serait-ce que par le langage, définit un système d'objets, et corrélativement un système d'opérations portant sur ces objets. Il existe une certaine « dualité », en un sens emprunté aux mathématiques, entre objets et opérations : si le tissu des opérations est assez serré, il suffit à dessiner « en creux » en quelque sorte la place des objets. Cette dualité est parfaite au niveau de la logique la plus élémentaire, celle du calcul des propositions, où les objets du calcul n'ont d'autre définition que d'être soumis aux opérations de ce calcul. Mais en dehors de ce cas, même en mathématiques, cette dualité n'est jamais parfaite. L'auteur justifie cette affirmation en s'appuyant sur les théorèmes de limitation de Gödel et les travaux de Tarski.

Ainsi, souligne l'auteur, il existe des limitations à la pensée formelle, elle ne se déploie pas arbitrairement. Le cas typique est celui des mathématiques qui ne se réduisent pas à une vaste tautologie, et apportent une information, appelée « *contenu formel* » puisqu'elle est dégagée en principe de toute référence au sensible : « *quant aux contenus formels, ils se manifestent comme produits, corrélatifs de la dualité, dans le développement des concepts indépendamment de tout contenu empirique* » (p. 53). Leur apparition « *se manifeste donc à la pensée sous les espèces des contraintes qu'il faut imposer à ses opérations pour qu'elles s'exercent sans s'auto-détruire* » (p. 44). Ces contraintes qui s'imposent à la pensée formelle se substituent pour l'auteur aux catégories synthétiques *a priori* de Kant. Pour le physicien et plus généralement l'utilisateur de modèles mathématiques, ces contraintes limitent les chemins que peut emprunter la pensée pour créer des modèles : « *le synthétique a priori dans les sciences empiriques pourrait sans doute être désigné comme : ce qui rend pertinente l'application à l'expérience sensible des*

mathématiques» (p. 292). Cette affirmation est illustrée par l'exemple des principes en physique et celui du calcul des probabilités en mathématiques ; on peut regretter l'absence d'illustration en biologie.

Tout didacticien devrait être passionné et interrogé par le contenu des chapitres 13 et 14 consacrés au problème des critères de définition de ce que peut être une science qui traite de faits humains. À défaut de pouvoir résumer brièvement un texte dense, disons que les mots clés sont ici modèle, explication, prédiction, règles de correspondance réalité-modèle, et qu'on y procède aussi à une classification des types de modèles proposés jusqu'à maintenant dans ce domaine.

Sur l'histoire des sciences, l'auteur expose des idées originales sur un problème classique : la relation entre dialectique interne du développement des sciences et conditions sociales dans lesquelles s'effectue ce développement (chapitre 18) ; il étudie comme exemples l'intégrale de Lebesgue et la relativité restreinte. Il expose (chapitre 19) une conception de l'histoire des sciences qui la lie étroitement à l'épistémologie.

En résumé, une lecture à recommander à tous ceux qui sont attentifs à la dimension épistémologique dans l'enseignement des sciences et dans les recherches qui le concernent, en soulignant toutefois l'absence de références à la biologie.

G. Arsac

REVUE DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION (1994). *Constructivisme et éducation*. Numéro thématique, vol. XX, n°1.

Ce numéro thématique de la revue francophone québécoise *Revue des sciences de l'éducation* regroupe des contributions sous le label général du constructivisme. Compte tenu de la diversité des questions traitées et de la place limitée qui nous est accordée, nous nous centrerons sur celles qui nous semblent croiser certaines problématiques de recherche dans le domaine de la didactique des sciences et des techniques.

La présentation du numéro, par M. Larochelle et N. Berdnaz rappelle les origines épistémologiques des points de vue constructivistes développés dans le domaine de l'éducation. S'appuyant sur les résultats d'études empiriques, les auteurs cherchent à caractériser l'impact actuel de tels points de vue sur les pratiques des enseignants. Elles arrivent ainsi à la conclusion que le principal effet en est la sollicitation du point de vue des élèves ou étudiants. Une telle sollicitation n'est cependant pas une garantie d'une perspective constructiviste de la part de l'enseignant, sa finalité pouvant être l'appréciation de l'écart entre savoir de l'élève et savoir à transmettre, les perspectives sur les moyens de réduire cet écart pouvant être d'inspirations diverses.

On retrouve cette attention au caractère historiquement situé de la construction des savoirs dans les contributions de G. Fourez et de J. Désautels. Ce dernier montre comment une réflexion des étudiants sur leur propre activité dans un contexte de résolution de problèmes peut les conduire, par exemple, à discuter du rôle des métaphores et des postulats dans la production de connaissances et à problématiser les concepts de vérité et d'objectivité.

E. von Glasersfeld rappelle le rôle déterminant de Jean Piaget dans le développement du constructivisme en éducation. À la notion de connaissance comme représentation «vraie» d'une réalité indépendante, il propose de substituer celle de «viabilité» d'une connaissance, viabilité essentiellement pragmatique. Il s'attache ensuite à montrer les limites d'une transmission des connaissances qui ne reposerait que sur le langage, les significations devant, elles, être construites individuellement. Il propose alors une utilisation du langage qui vise non plus tant la transmission des connaissances que «l'orientation de l'effort de construction des élèves».

H. Bauersfeld se place résolument dans une perspective de développement d'activités mathématiques, d'une culture mathématique, plutôt que sur le développement de connaissances. Il discute les conditions pour qu'un étudiant, ayant acquis au cours de sa scolarité un certain «habitus» mathématique

puisse le modifier au cours de sa formation universitaire et professionnelle et acquière en particulier des capacités à proposer des activités variées et adaptées aux besoins des élèves. Ici encore, l'accent est mis davantage sur l'attention et la conscientisation que sur les connaissances et les habiletés sous-jacentes au développement de telles capacités.

La contribution de Yvon Pépin est structurée par l'opposition entre savoirs pratiques (contextualisés, fonctionnels) et savoirs scolaires (décontextualisés, peu fonctionnels). Les effets ensuite évoqués gagneraient sans doute à être éclairés par les travaux de G. Brousseau concernant le contrat didactique. L'article se termine par une interrogation : les savoirs constructivistes constituent-ils des savoirs pratiques pour l'éducation ? Cette question suppose, me semble-t-il, l'existence de savoirs constructivistes bien définis, isolables, décontextualisables ; ne serait-il pas possible de la reformuler ainsi : les savoirs issus de recherches menées dans une perspective constructiviste peuvent-ils être mobilisés pour l'élaboration de savoirs pratiques (donc la résolution de problèmes) dans le champ de l'éducation ?

P. Cobb, M. Perlwitz et D. Underwood insistent sur le caractère social de la

construction des savoirs. La classe apparaît alors comme une communauté dans laquelle s'élabore ce savoir, dans le cadre d'activités de résolution de problèmes. On retrouve la tension entre exigences de construction par les élèves et exigences de légitimation des connaissances ainsi produites, présente dans la théorie des situations didactiques.

M.L. Schubauer-Leoni et L. Ntamakiliro présentent un travail sur le thème de «*la construction de réponses à des problèmes impossibles en mathématiques*». Les auteurs mettent en particulier en évidence des quiproquos susceptibles de se produire dans une situation expérimentale, l'élève fonctionnant dans un contrat de nature didactique et le chercheur dans un contrat de type expérimental.

Cet ensemble de textes permet ainsi de «faire le point» sur quelques directions de recherche se situant dans une perspective constructiviste. Fonctionnalité des savoirs et caractère social de leur construction apparaissent comme deux pôles de ces réflexions. Est également ouverte la question du caractère pratique et de la transmission aux enseignants des savoirs construits par la recherche dans cette perspective.

M. Méheit