



Penser et réaliser un usinage à l'ordinateur : approche socio-cognitive d'une situation de formation professionnelle

Planning and implementing a computer-assisted manufacturing : a socio-cognitive approach in a case study of professional training

**Jean-François PERRET, Anne-Nelly PERRET-CLERMONT,
Danièle GOLAY SCHILTER**

Séminaire de psychologie
Faculté des Lettres et Sciences humaines
Université de Neuchâtel
2000 Neuchâtel, Suisse.

Résumé

Nous présentons une recherche conduite dans un établissement de formation professionnelle «bousculé» par l'arrivée de nouvelles technologies de fabrication. Elle tente d'articuler deux plans : celui d'une micro-analyse des interactions sociales au sein même d'un atelier de mécanique et celui des enjeux psychologiques, pédagogiques, techniques et sociaux qui marquent la manière dont les apprenants s'engagent dans leurs activités de formation. Nos observations montrent que les

étudiants, confrontés à des difficultés techniques, mobilisent certes leurs connaissances pour chercher des solutions, mais on les voit aussi s'activer pour finir au plus vite, tenter de sauver la face, manifester des attitudes ambivalentes à l'égard de l'automatisation, ou encore s'interroger sur le sens ou la pertinence des travaux pratiques qui leur sont proposés.

Mots clés : *formation professionnelle, fabrication assistée par ordinateur, interactions socio-cognitives, processus d'apprentissage, psychologie sociale.*

Abstract

This research was conducted in a vocational school that suddenly has to face the arrival of new technologies in the machining trade. Our aim was to examine interdependancies between two levels of reality : the micro level of the social interactions between learners and teacher in the workshop; and the more general level of psychological, pedagogical, technical and social factors that affect students' involvement in learning and training. From our observations it is clear that these students, when confronted with specific technical difficulties, do try to study them in order to overcome them. However they seem equally involved in face-saving strategies, the search for short cuts that could help them finish their work in time, and the expression of their ambivalence towards automation or their doubts as to the relevance of the school exercises they have to perform.

Key words : *professional training, computer-assisted manufacturing, socio-cognitive interactions, learning process, social psychology.*

Resumen

Nosotros presentamos una investigación realizada en un establecimiento de formación profesional que hace frente a la llegada de nuevas tecnologías de fabricación. Ella intenta articular dos planos : el correspondiente a un micro-análisis de interacciones sociales en el seno mismo de un taller de mecánica y aquel de los factores psicológicos, pedagógicos, técnicos y sociales que marcan la manera como los alumnos se involucran en sus actividades de formación. Nuestras observaciones muestran que los estudiantes, confrontados a dificultades técnicas, mobilizan algunos de sus conocimientos para buscar soluciones, pero igualmente se les observa involucrarse en estrategias que les permiten finalizar su trabajo en un tiempo breve, manifestar actitudes ambivalentes hacia la automatización, o todavía preguntarse sobre el sentido o la pertinencia de los trabajos prácticos que le son propuestos.

Palabras claves : *formación profesional, fabricación asistida por computador, interacciones socio-cognitivas, procesos de aprendizaje, psicología social.*

1. UN CONTEXTE DE FORMATION EN MUTATION

Nous présentons une recherche réalisée au sein d'une école technique de l'Arc jurassien suisse, qui vise à étudier de quelle manière l'arrivée de nouvelles technologies dans un lieu de formation déstabilise les pratiques de formation professionnelle traditionnelles. Dans le domaine de la fabrication assistée par ordinateur qui nous intéresse ici, l'introduction d'une cellule d'usinage dans un établissement crée en effet une situation nouvelle : le fonctionnement d'une telle cellule «multi-postes» nécessite tout d'abord la collaboration d'une équipe de travail (alors que la maîtrise d'une machine-outil classique s'acquiert en situation individuelle) ; la complexité du dispositif ainsi que la diversité des dysfonctionnements et des pannes nécessitent que les apprenants fassent appel à des ressources expertes et ceci même en fin de formation ; de plus, les langages informatiques des systèmes automatisés ne sont pas standardisés, aussi s'agit-il d'acquérir, non pas la maîtrise assurée d'un dispositif précis, mais une compréhension transférable des principes de base. Finalement, lorsqu'un établissement s'équipe en nouvelles technologies de production, c'est souvent avec le projet d'en poursuivre le développement technique ; de ce fait, la formation est appelée à évoluer sur des systèmes eux-mêmes évolutifs.

Ce contexte de mutations technologiques appelle de nouvelles stratégies d'apprentissage ; les responsables de la formation professionnelle s'interrogent. Certes, chacun s'accorde sur la nécessité de développer chez les techniciens en formation de nouvelles compétences, mais en quoi celles-ci consistent-elles précisément ? Quels niveaux de savoir-faire, de compréhension et de compétence viser ? Et quels types de situations de formation peuvent permettre d'acquérir ces compétences ? Quelles doivent être les caractéristiques (sécurité, transparence, typicalité, etc.) des équipements destinés à la formation ? Faut-il suivre la logique du développement industriel et opter systématiquement pour l'acquisition d'équipements de pointe ou des dispositifs plus légers de simulation à des fins didactiques peuvent-ils répondre aux attentes ?

Pour répondre à ce type d'interrogations, il faut pouvoir examiner ce qui se passe concrètement dans les situations de formation observées «*in vivo*». Elles sont en effet trop complexes et multidimensionnelles pour être représentées adéquatement dans l'abstrait.

De plus, chaque acteur (élève, enseignant, directeur, examinateur, etc.) s'y meut en fonction de son interprétation, toujours partielle, des dimensions de cette réalité et en fonction de ses enjeux propres. C'est cette réalité d'une formation que nous avons voulu approcher par une recherche conduite au sein des ateliers d'une école technique.

2. DIFFÉRENTES PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Sur quels travaux pouvons-nous prendre appui pour travailler ces questions ? Dans le domaine de la formation initiale, quelques investigations portent sur des apprentissages spécifiques marqués par l'introduction de nouvelles technologies. Ainsi, Aussenac et al. (1986) étudient les conduites d'étudiants en productique utilisant les machines-outils à commande numérique (MOCN), pour les mettre en relation avec leur niveau de maîtrise du dessin technique. Dans une perspective similaire, Lebahar (1986, 1987) analyse l'impact de l'utilisation de MOCN sur les compétences graphiques de techniciens en formation ; une des conclusions à laquelle cet auteur parvient est que *«les MOCN engendrent, de par les exigences provoquées par la préparation, la rédaction et l'exécution des programmes d'usinage assortis de leurs contraintes déterministes, un niveau supérieur d'abstraction de l'espace de transformation de l'objet. Elles tendent à provoquer l'axiomatisation et la conceptualisation de ces transformations»* (Lebahar, 1986, p. 375).

Notons que ces travaux sont centrés sur l'identification et l'évolution de certaines compétences cognitives liées à l'usage d'outils informatiques pour le dessin, la conception et la fabrication assistées par ordinateur ; ils n'ont pas pour objectif d'analyser plus largement les effets psychosociaux que suscite l'introduction de ces nouveaux outils sur un lieu de formation. L'impact effectif de ces mutations sur le fonctionnement d'ensemble d'un établissement de formation initiale est une question à notre connaissance encore peu étudiée.

Un ensemble de travaux s'intéresse aux conséquences de l'introduction de nouvelles technologies (telles en particulier les machines-outils à commande numérique) non seulement sur l'activité cognitive mais aussi sur l'organisation du travail des ouvriers au sein de l'entreprise (Barcet et al., 1983 ; Wilkinson, 1984 ; Martin & Scribner, 1991 ; Martin & Beach, 1992 ; Martin, 1995). L'introduction de nouveaux dispositifs de production provoque certes des changements dans les savoir-faire et les modes de pensée, mais ces transformations ne dépendent pas seulement des outils et de leurs caractéristiques propres ; il faut aussi tenir compte du type d'utilisation qui en est fait, des buts poursuivis et de la manière dont les tâches que permettent ces outils sont socialement distribuées au sein de l'entreprise, avec les enjeux de pouvoir qui peuvent s'installer entre ouvriers qualifiés et ingénieurs. Ce qui s'observe en entreprise n'est donc pas tant une simple substitution de modèles d'action et de pensée, mais une restructuration et une redistribution des rôles. En est-il de même dans les lieux de formation ? La question devra être reprise.

L'introduction de nouvelles technologies sur les lieux de travail a également suscité différents types d'actions de reconversion professionnelle des ouvriers directement liés à la production. Dans le domaine de la formation à la robotique, Parmentier & Vivet (1992) se sont par exemple attachés à l'étude systématique des processus d'apprentissage en jeu, en développant une «micro-robotique pédagogique» destinée à la formation d'adultes.

Pour approcher les interactions socio-cognitives en situation d'apprentissage et tenter d'en saisir la dynamique, il est possible de s'appuyer aujourd'hui sur un ensemble de travaux qui, comme le soulignent Dillenbourg et al. (1995) dans leur revue de littérature sur l'apprentissage coopératif, appartiennent à des orientations théoriques et méthodologiques très différentes. Dans ce champ, nous avons porté une attention particulière aux recherches centrées sur les interactions sociales qui se déploient autour et avec un ordinateur (Schubauer-Leoni & Perret-Clermont, 1987 ; Blaye et al., 1992 ; Hoyles et al., 1992 ; Crook, 1994 ; Pochon & Grossen, 1994).

Dans une perspective interdisciplinaire née de la jonction des sciences qui portent sur le langage et de celles qui traitent du travail, d'autres travaux s'intéressent à la communication au travail (Borzeix & Lacoste, 1991 ; Falzon, 1994 ; Lacoste, 1995 ; Engeström & Middleton, 1996). Parler au travail remplit un ensemble de fonctions, cela permet notamment de réajuster les actions en jeu, avec les innombrables imprévus qui jalonnent les activités de chacun. Le langage n'est pas qu'un simple instrument, véhicule de l'information ; il a son efficacité propre. Cette approche a notamment pour effet de déplacer la question de l'apprentissage de l'individu isolé, à celle de l'interaction entre individus et accorde une grande attention aux situations dans lesquelles se distribuent et se transmettent savoirs et savoir-faire.

3. UNE APPROCHE PSYCHO-SOCIALE

Pour notre part, c'est un regard psycho-social que nous avons porté sur cette situation de formation. Nos propres recherches, centrées initialement sur le rôle des interactions sociales dans le développement de l'intelligence et des connaissances, nous ont conduits à nous intéresser de plus en plus aux significations que les acteurs d'une situation de test ou d'apprentissage accordent à celle-ci.

Quelle que soit en effet la précision avec laquelle le but d'une tâche est communiqué, les apprenants réinterprètent celle-ci en fonction notamment de certaines caractéristiques de la situation (nature de la tâche, temps à

disposition, modalités d'évaluation du travail effectué, etc.), d'attentes implicites qu'ils peuvent percevoir, ou encore en fonction de leurs expériences passées sur des tâches similaires. Nous nous sommes ainsi attachés à analyser de quelle manière les interactions socio-cognitives sont marquées par les significations que les sujets interrogés accordent à la tâche et à l'activité qu'il convient d'y déployer. En effet les conduites des jeunes enfants observés dans différentes situations d'interactions se sont révélées fortement marquées par leur propre interprétation de la situation (Perret-Clermont, 1992a, 1992b, 1996 ; Perret-Clermont & Nicolet, 1988 ; Light & Perret-Clermont, 1989 ; Perret-Clermont et al., 1991 ; Perret-Clermont et al., 1992 ; Grossen et al., 1997).

Comment la question se pose-t-elle avec des adultes en formation professionnelle ? Comment caractériser leurs démarches de résolution de problèmes ? Quelles modalités de collaboration adoptent-ils ? Retrouve-t-on des traces d'un travail d'interprétation analogue à celui observé dans les recherches susmentionnées ? Ou alors faut-il penser que les adultes en formation, mieux avertis et informés que ne peuvent l'être des enfants, également plus conscients, par expérience, des risques de méprise, savent réajuster et renégocier plus rapidement leur compréhension des situations en évitant par là l'instauration de malentendus quant au sens des tâches qui leur sont demandées ?

4. LES TRAVAUX PRATIQUES D'AUTOMATION OBSERVÉS

Nos observations ont été réalisées au cours des travaux pratiques d'automation que les étudiants techniciens effectuent en petits groupes. Il s'agit pour eux de concevoir d'abord le programme d'usinage d'une pièce à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO), de transférer ensuite ce programme sur les ordinateurs qui piloteront la cellule d'usinage, puis enfin de lancer la fabrication automatisée de leur pièce.

Cette tâche doit être effectuée dans un temps relativement court de 3 à 4 heures. Elle est une occasion pour les étudiants de réviser, d'utiliser et d'intégrer dans une activité pratique, un ensemble important de connaissances acquises au cours des deux années précédentes de leur formation. De ce point de vue, ces travaux pratiques se distinguent des autres activités d'apprentissage plus directement liées à un chapitre précis d'un cours. Ils se rapprochent, par contre, d'une situation réelle de travail nécessitant du technicien qu'il mobilise des connaissances déjà anciennement acquises.

Au début des travaux pratiques, la consigne donnée oralement par l'enseignant comprend une présentation générale des principales étapes de la tâche et le signalement de quelques contraintes techniques à respecter. L'enseignant mentionne aussi les critères d'évaluation : le programme élaboré doit correspondre à un temps d'usinage court ; lors de la phase de programmation, les groupes doivent travailler, si possible, de manière autonome, (l'enseignant annonce toutefois qu'il interviendra plus directement au moment de mettre en oeuvre la cellule). L'appréciation du travail réalisé fait l'objet d'une note qui est commune aux élèves du groupe.

Dans un premier temps, l'activité des élèves s'effectue face à l'écran ; il s'agit pour eux de spécifier un grand nombre de paramètres de l'usinage. L'interface du logiciel présente à l'écran une importante série de menus déroulants comportant eux-mêmes des sous-menus. Le logiciel propose alors une série de fenêtres et de boîtes de dialogue. Chaque fois que l'une d'elles est remplie (en cliquant sur les options choisies ou en indiquant les valeurs retenues) et que la solution est correcte, la fenêtre suivante s'ouvre. L'ordinateur fournit en outre des indications, au bas de l'écran, sur la procédure qu'il faut, à cette étape, effectuer (par exemple : «sélectionner les géométries»). Il transmet aussi des messages d'erreur. Enfin, il offre des possibilités de visualisation et de contrôle des étapes de l'usinage déjà programmé.

L'ensemble de l'activité des groupes, de la conception jusqu'à l'usinage effectif de la pièce, a été filmé avec deux caméras, l'une centrée sur l'écran de l'ordinateur, l'autre sur le groupe de travail. Un montage synchronisé (mixage) de ces deux enregistrements a ensuite été réalisé pour les besoins de l'analyse.

L'étude concerne dix étudiants techniciens (ils sont tous de sexe masculin dans l'école bien que celle-ci souhaiterait être mixte), âgés de 20 à 25 ans, organisés en quatre groupes de travail. Les groupes observés ont déjà travaillé ensemble lors d'autres séances de travaux pratiques. L'expérience de l'usinage conventionnel et des machines-outils à commande numérique de chaque élève varie selon son parcours de formation antérieure.

5. SÉLECTION ET DESCRIPTION D'UNE SÉQUENCE

Les enregistrements réalisés ont permis de repérer une série de difficultés fréquemment rencontrées par les étudiants dans cette activité. L'une d'entre elles, typique, retiendra ici notre attention ; elle porte sur la détermination des cotes correspondant aux différents plans d'usinage que prend en compte le programme (plans décrits plus bas à l'aide de la figure 2). C'est la réaction à cette difficulté particulière et l'examen de la

gestion de celle-ci que nous présenterons ci-dessous, en approfondissant le cas particulier d'un des groupes constitué par Ted, Guy et Didier.

Grâce à l'enregistrement vidéo et à nos notes prises en cours d'observation, la séquence a été entièrement retranscrite par écrit. Nous avons choisi d'y inclure les modifications d'état et les messages du logiciel au même titre que les interventions des élèves, ceci afin d'être en mesure de rendre compte des interactions aussi bien entre élèves qu'entre eux et l'ordinateur.

La séquence retenue est particulièrement intéressante parce qu'elle montre différents aspects d'une dynamique de collaboration, au niveau :

- des procédures de résolution de la tâche ; c'est-à-dire la manière dont les élèves s'y prennent pour mener leur tâche et résoudre les difficultés qui se présentent ;

- de la division du travail et des rôles ; comment les élèves se répartissent-ils les commandes de l'ordinateur, comment prennent-ils part aux discussions, sur quels modes chacun exprime-t-il ses propositions (ordre, requête, assertion), qui y répond (en acte ou en parole) et de quelle manière (proposition suivie ignorée, reprise, réfutée, précisée, complétée, etc.), quel rôle chacun joue-t-il dans l'avancement du travail, comment se prennent les décisions, qui apporte des arguments décisifs, qui conclut ?

- de la signification accordée à la tâche ; cette séquence laisse en effet paraître quelques traces du sens que les étudiants accordent à cette situation d'apprentissage.

Les extraits présentés ici font partie d'une séquence d'environ 10 minutes, durant laquelle un groupe de trois élèves programme le perçage de cinq trous dans la pièce à usiner. Nous avons divisé cette séquence en quatre parties, en fonction des quatre étapes de résolution identifiées.

Étape 1 : choix initiaux

Tâche à effectuer

Les étudiants doivent fixer au départ quelques paramètres en indiquant à l'ordinateur : la matière de la pièce à usiner, l'outil choisi, la direction de travail de l'outil, ainsi que le mode de sélection des trous à percer. Puis ils doivent introduire dans le programme les valeurs en millimètres pour chaque plan de travail de l'outil.

Ces valeurs correspondent à la distance entre la surface de la pièce, considérée comme plan zéro, et chacun des plans suivants :

- le *plan de sécurité*, plan auquel la machine vient positionner l'outil au-dessus de la pièce,
- l'*approche rapide*, plan jusqu'où l'outil descend rapidement vers la pièce ; elle permet de gagner du temps dans la réalisation de l'usinage,
- la *surface de référence*, surface de la pièce où l'outil entre en contact avec la matière,
- la *profondeur* de l'usinage à effectuer qui sera, soit celle atteinte par la partie de l'outil fixant le diamètre du trou, soit celle de la pointe de l'outil.

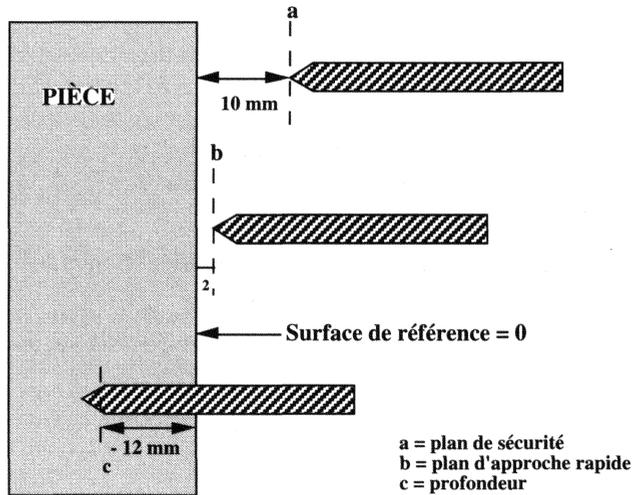


Figure 1 : Les plans successifs d'avance de l'outil

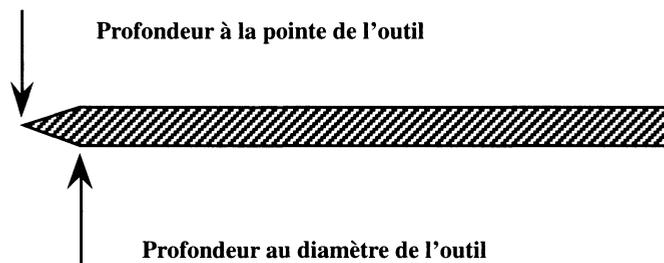


Figure 2 : Les deux options d'indication de profondeur du trou

La solution correcte demande que les valeurs données à chaque plan suivent un ordre décroissant. Par exemple :

plan de sécurité Z = 10 mm,
approche rapide Z = 2 mm,
surface de référence Z = 0 mm,
profondeur Z = -12mm, donnée «au diamètre».

Dans le cas qui nous occupe, les élèves utilisent un foret et, pour cet outil, le programme recalcule automatiquement la profondeur à la pointe. Ainsi, une profondeur donnée de -12mm «au diamètre» devient une profondeur de -17mm.

Déroulement

Au départ, Guy s'est installé aux commandes du PC, Ted s'est assis à sa gauche, devant l'écran, alors que Didier occupe à l'extrémité du groupe la place la plus éloignée du PC. Ted a devant lui la feuille de consignes et un exemple de pièce déjà usinée. Didier a indiqué qu'il s'occuperait du rapport de travaux pratiques qu'ils doivent rendre. Aucune négociation explicite n'a présidé à cette répartition des rôles.

Les trois étudiants travaillent déjà depuis environ 15 minutes lorsqu'ils arrivent à la détermination des plans d'usinage.

Dans l'extrait suivant G désigne Guy, T désigne Ted et P le programme.

G1 : (Il lit l'écran, puis parle sans tourner la tête vers ses camarades) : «*Plan de sécurité. Pfff*». (Il passe à la suite sans rien indiquer).

G2 : (Il lit) : «*Approche rapide*», (se tourne vers T) : «*Jusqu'à Z0 ? C'est juste ?*»

T3 : «*Non, moins..., non, plus ! +2 !*»

G4 : «*Jusqu'à Z 2. Ouais, c'est bon !*». IL TAPE +2.

T5 : «*Pis profondeur*» (en regardant l'écran).

G6 : (Il lit sans prêter attention à T) : «*Surface de référence, 0*». IL LAISSE LE 0.

T7 : «*Et puis la profondeur...*»

G8 : (Il lit) : «*profondeur du trou...*» (Les deux se penchent sur la consigne que T a devant lui).

T9 : (Lisant la consigne) : «*12*». (Puis, en se tournant vers G) : «*Ça fait -12. -12 ou bien +12 ?*»

G10 : (En regardant l'écran) «*Z -12*». IL TAPE -12.

G11 : (Il lit) : «*Rapide, au serrage...*»

T12 : (Sautant à l'étape suivante, en regardant l'écran) : «*Attention, profondeur du trou c'est le diamètre, pas la pointe.*»

G13 : IL LAISSE L'OPTION PAR DÉFAUT «RAPIDE AU SERRAGE» ET CLIQUE SUR L'OPTION «DIAMÈTRE» POUR LA PROFONDEUR.

G14 : (Il passe en revue les valeurs données à chaque plan, en remontant avec le pointeur) : «*Surface, OK. Plan de sécurité au serrage, c'est quoi ça ?*»

T15 : «*Ça, je crois pas qu'on a...*»

G16 : (Tourne brièvement la tête vers T) «*On n'a jamais utilisé ça, je crois.*»

T17 : «*Non, on n'a jamais utilisé.*»

G18 : IL LAISSE 0 AU PLAN DE SÉCURITÉ ET CLIQUE OK POUR INDIQUER QUE LA FENÊTRE EST COMPLÈTE.

P19 : Recalcule la profondeur de -12 à -17.5 et change l'option «profondeur au diamètre» pour «profondeur à la pointe». Bipe. Reste sur la même fenêtre.

Analyse

Tous les échanges verbaux se passent entre Guy et Ted. Par sa posture et son regard, Didier montre son attention, mais il n'intervient pas durant cette première phase.

Au plan de la démarche de travail, on observe que Guy, les yeux la plupart du temps rivés à l'écran, lit à voix haute les intitulés des boîtes de dialogue, dans l'ordre proposé par le programme. En G1, G6 et G11, il donne lui-même la réponse à inscrire. En G2, G8 et G14, il initie un échange, par une requête explicite ou implicite (G8). Ted satisfait aux requêtes de son camarade en proposant des réponses (T3 et T15) ou en faisant suivre la réponse extraite de la consigne par une nouvelle requête (T9). C'est Guy qui clôt ces échanges, montrant, par une action sur l'ordinateur et par un énoncé, son accord avec la proposition de Ted.

Par deux fois (T5 et T7), Ted intervient en amenant le contenu «profondeur», sans respecter l'ordre donné par le programme et par Guy. Or ce dernier ignore ses interventions et ne satisfait l'ordre de Ted que lorsque sa lecture des options dans l'ordre donné à l'écran l'amène au même point. L'échange T12-G13 montre, par contre, Guy réalisant l'ordre de son camarade.

D'un point de vue technique, l'échange qui préside au choix de la valeur à attribuer au plan de sécurité (G14 à G18) est important car la décision prise peut entraîner une erreur sérieuse à l'usinage de la pièce. Que peut-on y observer ? La question de Guy (G14) pourrait appeler une conceptualisation (plan de sécurité, c'est quoi ?), mais par le ton, elle exprime surtout un étonnement agacé (mais qu'est-ce que cette chose que je ne connais pas ?) La décision se base sur l'argument partagé suivant : on n'a jamais utilisé cette option.

En résumé, il nous paraît que la démarche des deux élèves consiste à remplir une à une les boîtes de dialogue. La majorité des interventions vise à fournir les réponses demandées par le programme. Les prises de décision sont basées sur des assertions, dont la justesse semble évaluée, implicitement, par rapport au souvenir des procédures mises en oeuvre dans les exercices de l'année scolaire précédant le TP. Elles ne sont pas argumentées (G4, G10, G13), ce qui en rend les motivations obscures à l'observateur extérieur. Dans l'échange G14 à G18, il apparaît clairement que le curriculum tient ici lieu de référence, et non le programme en tant que partenaire à comprendre, ni la future situation d'usinage. On peut se demander quelle règle s'y exprime indirectement : on ne prend en considération que ce qu'on a appris auparavant ? L'enseignant ne demande que des choses vues auparavant ? Si on ne l'a jamais utilisé, c'est que ce n'est pas important ?

Concernant les places respectives, Guy nous paraît occuper une position haute. Aux commandes, il joue le rôle d'intermédiaire entre le programme, dont il suit l'ordre, et ses camarades. Il opère ainsi une mainmise sur le rythme de lecture du programme et sur l'introduction des réponses. On le voit aussi évaluer la proposition de Ted (G4 : «*Z + 2. Ouais, c'est bon*».) En somme, c'est lui qui communique sur la valeur de la proposition et choisit ce qu'il va introduire comme réponse. Dans le passage transcrit comme dans les échanges qui le précèdent, c'est lui qui a l'air de pouvoir se reporter avec le plus d'assurance à une mémoire des procédures, qu'il manifeste par des assertions normatives : «*C'est comme ça qu'on fait*» ; il a ainsi le plus d'influence sur la décision prise. Quant à Didier, il suit du regard ce qui se passe, mais ne s'exprime pas verbalement et aucun de ses camarades ne s'adresse directement à lui dans cet extrait.

Etape 2 : réactions face à un message d'erreur

Situation-problème

Les élèves ont indiqué : 0 ; 2 ; 0, et -12 en «profondeur au diamètre». Le programme recalcule automatiquement la profondeur du trou donnée à la pointe de l'outil, l'ordinateur "bipe" et ne passe pas à l'étape suivante.

Réactions

G20 : (En regardant l'écran) «*Qu'est-ce qu'il me ch... ? Profondeur du trou qu'est-ce que c'est que cette c... ?*»

T21 : (Sur un ton légèrement agacé et en le regardant) «*Parce que t'as pas défini la profondeur de la pièce, on ne peut pas faire un trou sur une feuille !*»

G22 : (À voix basse, en regardant l'écran) : «*Ouais, c'était peut-être pas comme ça.*»

Analyse

L'énoncé G20 se prête à plusieurs interprétations. Guy s'y pose comme interlocuteur principal d'un programme qui s'adresse à lui («*il me ch...*»). Il semble aussi le désigner comme responsable du problème («*il ch...*»). Cherche-t-il, ce faisant, à sauver la face ? En même temps, il émet une requête d'explication.

Ted y répond, en confirmant à Guy qu'il est bien l'interlocuteur principal du programme et en le désignant comme responsable du problème («*tu n'as pas défini...*»). À cet instant de leur collaboration, l'erreur n'est pas considérée comme le fait du groupe mais est rejetée sur un protagoniste. Du point de vue cognitif, il est intéressant de souligner que, dans sa question, Guy avance déjà une interprétation du problème : c'est la profondeur qui ne joue pas et Ted accepte implicitement ce point de vue en expliquant pourquoi la profondeur ne joue pas.

Comment comprendre cela ? On remarque qu'en P19, le programme donne plusieurs indications à la fois : passage de l'option «profondeur au diamètre de l'outil» à «profondeur à la pointe de l'outil», recalcul consécutif de la profondeur, et bip sonore. De fait, ce dernier signale qu'ils ont donné un plan de sécurité inférieur au plan d'approche rapide. Mais les élèves ne l'interprètent pas ainsi, puisqu'ils voient le problème dans le recalcul effectué, donc dans la profondeur des trous. Ils n'ont apparemment pas remarqué que l'option «pointe» vient remplacer «diamètre» et, à l'instar des autres groupes observés ne paraissent pas se souvenir que le programme fait ce calcul automatiquement. Une caractéristique de l'instrument les conforte dans leur interprétation : il ne donne pas un message écrit signalant quelle est l'erreur commise, alors qu'il l'a fait à d'autres occasions.

Nous verrons que la compréhension que Guy et Ted ont du problème va orienter leurs tentatives de résolution conduites dans les minutes qui suivent.

Étape 3 : une phase de tentatives diverses

Problème persistant

Les étudiants se trouvent toujours devant un ordinateur qui n'accepte pas les données qu'ils souhaitent entrer dans le programme.

Déroulement

Pendant six minutes, Guy, Ted et, dans une moindre mesure, Didier, s'engagent dans une intense recherche de solution : ils effectuent, sans succès, neuf opérations différentes sur le programme. Ces conduites de recherche (dont nous ne donnons pas ici la transcription pour des questions de place), sont d'une grande variété : vérifications et modifications d'affichage de la pièce ; modifications d'options de perçage, consultation de menus et de l'aide du programme.

Durant cette phase, Ted prend une place plus importante : c'est maintenant lui qui amène la majorité des propositions et Guy le suit. Par ailleurs, les dialogues silencieux de ce dernier avec le programme ne plaisent pas à Ted, qui l'interrompt par deux fois et lui demande ce qu'il fait. Didier, lui, s'éloigne un moment et quand, à son retour, il se permet une remarque sur ce qu'il faudrait faire, Guy le reprend vertement.

Les élèves montrent des signes de tension et d'agacement : soupirs, frappe violente sur le clavier et commentaires désapprobateurs : «*Génial, ce TP, hein ?*», fait Didier à Ted, sur un ton désabusé. Plus loin ce dernier commente : «*Ça fait une année qu'on fait plus ça, pourquoi tout d'un coup on doit faire ça ?*». Entre eux, le ton et la forme de certaines interpellations sont peu amènes : «*Pourquoi tu fais ça ?*», «*De toute façon, ça change rien*», etc. À d'autres moments, ils invectivent le programme : «*Pourquoi il ne veut pas ce ...*», maugrée Guy.

Analyse

La piste principale de leur recherche consiste à essayer, de diverses manières, de s'assurer que la pièce, telle qu'elle est définie pour le programme, a bien une hauteur de 20 mm. La hauteur de la pièce les a déjà préoccupés au début de leur travail et a fait l'objet d'une interaction infructueuse avec l'enseignant ; restés apparemment sur leur faim, ils se focalisent sur ce point et, en corollaire, sur la question de la configuration de la pièce.

Ted suggère également des modifications, qui portent sur une option adoptée auparavant dans le doute et sur une seconde option dictée auparavant par Guy, sans justification (G10). Celui-ci accepte sans discussion ces remises en cause de ses choix. Est-ce révélateur de la fragilité des décisions prises, c'est-à-dire des connaissances et de l'accord qui les sous-tendaient ? Ou faut-il y reconnaître cette propension à la démarche d'essai-erreur, souvent décrite chez les personnes habituées à profiter des possibilités de modifications offertes par les instruments informatiques ?

Étape 4 : vers une (fausse) solution

Situation

Les étudiants sont toujours à la recherche d'une solution qui leur permettra de dépasser l'obstacle, de trouver une issue. Le temps passe ; l'enjeu est de parvenir à avancer dans le travail.

Déroulement

Après les divers essais évoqués ci-dessus, Ted lance une proposition, à partir de laquelle ils vont élaborer leur manière de résoudre le problème.

T101 : «*Essaie voir de remplir le champ où il y a des 0*» (dans la fenêtre concernant les plans de travail de l'outil). *Tu mets des valeurs-bidon, pour voir s'il accepte. S'il accepte ça veut dire qu'on a oublié de mettre une cote* (il y a un des plans où il faut mettre autre chose que 0)».

G102-G111 : EN SUIVANT LES INDICATIONS DE TED, GUY DONNE LA VALEUR 3 AU PLAN DE SÉCURITÉ, À L'APPROCHE RAPIDE ET À LA SURFACE DE RÉFÉRENCE.

P112 : «*Refuse*» leurs paramètres en maintenant à l'écran la fenêtre en question. Bip.

T113 : (Avec un air exaspéré) : «*Oooh, c'est pas ça !*»

G114 : IL MET DES 0 PARTOUT, MÊME À LA PROFONDEUR DE COUPE.

P115 : Passe à la fenêtre suivante, ce qui signifie qu'il accepte ce qui a été proposé.

T116 : (Étonné, ricane et s'adresse à D) : «*On met des 0 partout, ça marche ! Elle hallucine !*»

G117 : (Se gratte la tête, passe d'une case à l'autre avec le pointeur. Alors qu'il est sur «Fond du trou»).

T118 : «*Essaie de mettre du - 20* (accentue le «moins»), *euh, du - 12, pis va voir sur le diamètre aussi*».

G119 : IL EXÉCUTE LES PROPOSITIONS DE T.

P120 : Accepte : Passe à la fenêtre suivante.

T121 : «*Bon. C'est juste l'avance rapide qu'il faut voir, normalement c'est à + 2"*».

G122 : «*On met pas d'avance rapide, allez !*»

T123 : «*Non mais, eh, si on est en dessus*» (geste d'une main pointant contre le bas vers l'autre main à plat) ...

G124 : «*Ouaf !*» (balance la main pour signifier «laisse tomber»).

T125 : «*Non, ça va pas aller, faut essayer d'avancer rapidement*».

G126 : «*On avancera pas rapide, c'est tout*».

T127 : «*Bon, vas-y !*»

Du point de vue de la collaboration, on remarque que jusqu'à G119, Ted mène la manoeuvre. En effet, les enchaînements de tours de parole

T101-G102, T113-G114, T116-G117 et T118-G119 montrent que les suggestions ou ordres qu'il avance sont suivis par Guy. Il se confirme ici que Ted endosse régulièrement le rôle de «proposeur». Ne pouvant, comme Guy, explorer les menus à la recherche d'idées, il paraît plus libre d'élaborer des suggestions qui ne sont pas directement liées à ce que montre l'écran. En G114, on voit à nouveau Guy modifier silencieusement des valeurs, mais Ted, qui l'observe, commente la réaction du programme et dirige l'action suivante. L'échange T121 à T127 voit un désaccord se résoudre au moment où Ted accepte le point de vue de Guy.

Analyse

Quelle solution construisent-ils ?

En T1, Ted finit par prendre en considération les valeurs données et propose un test pour vérifier s'il faut remplacer un des 0 par une autre valeur (*"si on a oublié une cote"*). Qu'il propose de mettre des valeurs quelconques et s'étonne ensuite du refus du programme est révélateur d'un aspect important de sa représentation du problème : il considère chaque plan comme une unité indépendante, telle qu'elle apparaît à l'écran, et non comme une étape d'un trajet descendant de l'outil où les valeurs sont liées entre elles dans un ordre décroissant, comme dans la situation d'usinage réelle. En l'occurrence, le programme, qui ne propose pas de valeurs par défaut et n'affiche pas un message d'erreur concernant le plan de sécurité, vient le renforcer dans son erreur.

Après P12 qui signifie l'échec de la proposition T1, Guy paraît aussi se livrer à un test en mettant des 0 partout, mais son test porte sur les réactions du programme ; ils s'aperçoivent ainsi que ce dernier accepte des solutions incorrectes du point de vue de l'usinage (profondeur de perçage nulle). Mais le groupe ne tire pas la leçon jusqu'au bout (à savoir qu'une solution erronée peut être acceptée) et ils adoptent ensuite la tactique suivante : partant d'une solution acceptée par le programme (0 partout), ils rajoutent ce qui est nécessaire au perçage (la profondeur de -12), cote dont l'évidence ne soulève pas de discussion. Ici, apparemment, le but devient : donner au programme une solution qu'il accepte. Mais Ted revient à d'autres considérations : il indique qu'il faut encore donner une valeur à l'avance rapide et évoque une procédure : *«Normalement, c'est + 2»*. Se heurtant au refus de Guy, guère impressionné par cette invocation d'une norme, il défend son idée en évoquant, verbalement et gestuellement, la situation d'usinage, puis en précisant l'action qu'il s'agit de mener : avancer rapidement, appuyant son idée par un directif impersonnel (*«il faut»*) et en mentionnant la conséquence générale de l'option de Guy : *«ça va pas aller»*. En G26, Guy persiste : *«on n'avancera pas rapide, c'est tout»*, que nous interprétons ainsi : ce n'est pas une erreur de ne pas avancer

rapidement, de plus ce n'est pas important d'avancer rapidement. Et Ted obtempère, abandonnant momentanément son objectif, c'est-à-dire l'obtention d'un programme d'usinage le plus court possible.

Finalement, le programme accepte leur solution et les élèves s'estiment ainsi tirés d'affaire, oubliant ce qu'ils ont constaté plus haut, à savoir que le programme peut accepter des erreurs. Effectivement, leur pièce sera rayée par l'outil faute d'avoir donné des valeurs positives au plan de sécurité et à l'avance rapide.

6. COMMENT LES APPRENANTS INTERAGISSENT-ILS ?

Les interactions entre apprenants sont quasi permanentes et, tout au long de l'activité, des échanges verbaux parfois très vifs accompagnent leur travail. Comment caractériser ces interactions et de quelle nature sont-elles ?

À plusieurs reprises, on observe des désaccords entre individus qui ont des points de vue différents. Notons que la confrontation entre apprenants ne semble jamais valorisée comme telle, ni réfléchie par méthode. Ce qui frappe, c'est que, la plupart du temps, au lieu de confronter réellement leurs points de vue (comme ils le font cependant dans le passage T121 à T127), ils ont plutôt tendance à demander à l'ordinateur de trancher leurs conflits par la réaction immédiate qu'il fournit (réaction qu'il leur faudra encore interpréter correctement). On attend ainsi de l'ordinateur qu'il confirme le bien fondé ou non de chaque opération ou projet d'action. Cette sollicitation du logiciel risque, comme on le voit à certains moments, de court-circuiter les processus de restructuration cognitive nécessaires à l'intégration de points de vue différents, processus précisément réputés comme féconds sur le plan cognitif.

On observe néanmoins, en raison notamment des feed-back négatifs que fournit le logiciel, certaines réélaborations cognitives chez les sujets. Leur compréhension de la tâche est en effet susceptible d'évoluer en cours de route. Par exemple, à la suite de blocages persistants, la tâche initiale visant à *usiner une pièce* semble à un moment donné perdue de vue pour se transformer en une tâche qui vise à *satisfaire le programme*, dans l'espoir qu'il cesse de freiner obstinément l'activité. Au besoin, comme nous l'avons vu, les apprenants cherchent à le distraire ou à le contourner avec l'introduction de données même incohérentes s'il le faut, ceci dans le but de pouvoir, malgré tout, avancer dans le travail.

Dans la séquence analysée, nous avons également prêté attention à la distribution des rôles. En effet, il est frappant de voir le travail se faire principalement à deux, laissant l'un des étudiants, Didier, apparemment en

dehors de l'activité. Mais cette extériorité du rôle de Didier devra être confirmée en examinant l'ensemble du travail effectué. Nous avons en effet observé, dans ces travaux de groupe, que la personne qui paraît extérieure se met en fait dans une position de prise de distance qui lui permet un regard plus réflexif, un "méta-regard" sur l'action en cours. Il arrive alors que, de cette position, elle émette des points de vue et des propositions tout à fait pertinents sur l'activité et qui sont utiles à son déroulement. Cet apport, tout d'abord négligé par le duo aux commandes, joue alors, dans un deuxième temps, un rôle essentiel dans la solution finale, lorsque le duo sera devenu capable d'intégrer ce troisième point de vue qui ne manquait pas de pertinence. Tout se passe comme si, pour ce troisième partenaire, le fait de ne pas devoir (faute de pouvoir) agir, lui permettait de développer un espace de réflexion méta-cognitif sur ce qui se déroule. Il peut manquer de poids social pour imposer son point de vue, mais c'est dans la persistance de son regard (s'il ne se désimplique pas en cours de route !), qu'il finit par jouer un rôle essentiel, du moins dans certains cas.

L'outil qui est au centre de l'activité tient une place importante dans cette distribution des rôles. En effet, l'ordinateur n'a qu'une seule souris et la tenir est, *de facto*, une prise de pouvoir qui, en tous cas dans les exemples rapportés ici, ne peut être contrecarrée que par un important contrôle verbal de la part du partenaire. En cours de travail, on observe cependant une évolution dans la distribution des rôles, notamment au fur et à mesure que des difficultés particulières sont affrontées.

Les caractéristiques du logiciel influencent aussi la nature des interactions qui se développent entre apprenants. Dans cette séance de travaux pratiques, on peut se demander si le programme utilisé ne les incite pas (peut-être à outrance) à recourir à une démarche d'essais et erreurs. En effet, la présentation rapide de multiples fenêtres et le nombre important de choix à opérer incitent les élèves à prendre des risques, et ceci d'autant plus que le temps à disposition est relativement limité. Pour s'orienter, ils semblent parfois cliquer presque au hasard sur des options ou des données, en comptant sur le feed-back de la machine pour réajuster leur choix. Notons encore que d'autres aspects de ce logiciel, en particulier la possibilité de simuler et de visualiser à tout moment l'état de l'usinage, sont très peu exploités par les étudiants. On peut faire l'hypothèse que l'usage de ces possibilités de visualisation aurait pu susciter d'autres relations interpersonnelles orientées moins vers la poursuite immédiate de l'activité que vers l'examen attentif du travail déjà fait.

L'ensemble de ces observations révèle sans aucun doute que les élèves collaborent, mais la forme de cette collaboration est assez particulière : elle consiste essentiellement en la mise en commun de ressources, sans que les partenaires ne se demandent l'un à l'autre des justifications ou des

explications. Dans l'urgence perçue, cette manière de procéder correspond probablement à la stratégie la plus rapide. Le travail se fait ainsi dans un dialogue constant, mais on ne voit pas les étudiants planifier les étapes, ni établir des objectifs partiels ; l'action semble se dérouler en un flux constant. Tout se passe comme si la responsabilité de celle-ci était laissée à la machine chargée de "tester" la valeur des décisions qui s'enchaînent. De plus, un des participants est perçu comme l'interlocuteur privilégié de l'ordinateur ; aussi cette attribution de responsabilité ne l'encourage pas à veiller à l'intégration du troisième partenaire dans la dynamique collective. Ils se situent dans une dynamique relationnelle qui ne ressemble en rien à un "tour de table" (pour s'exprimer par un contre-exemple : jamais on ne les voit faire ce "tour de table" pour recueillir l'opinion de chacun). D'autres travaux l'ont déjà rapporté, le travail par essais et erreurs n'encourage pas la concertation (Hoyles et al., 1990 ; Blaye et al., 1992).

En résumé, il y a donc collaboration, interaction pratiquement continue, distribution de rôles fortement dépendante de la nature du logiciel et de l'outil partagé (un écran, un clavier, une seule souris) et probablement aussi de la perception que les élèves ont du temps limité à disposition, ce qui les conduit à viser l'efficacité. La préoccupation de confronter et d'approfondir leurs compréhensions de la programmation d'un usinage, bien qu'il s'agisse en principe d'une situation de formation à laquelle l'école attribue une visée d'initiation, n'a pas l'air ici d'être centrale chez les apprenants, comme nous allons le voir maintenant dans la partie qui traite de l'interprétation du sens de l'activité proposée.

7. COMMENT INTERPRÈTENT-ILS LA SITUATION ?

Quelle représentation les élèves se font-ils de la tâche ?

Ils semblent comprendre leur rôle comme étant essentiellement de réaliser correctement l'usinage de leur pièce dans l'après-midi, tout en respectant quelques contraintes dont notamment celles de parvenir à un temps d'usinage optimal. D'une certaine manière, c'est bien ce que le maître leur a demandé dans la consigne initiale. Bien que ces travaux pratiques visent à faire le point sur un ensemble de savoirs et savoir-faire qu'ils sont censés avoir acquis, personne ne parle de ce qui serait ici encore à apprendre, ni ne semble s'en préoccuper.

Conformément à un contrat didactique implicite, et présent sans doute dans toute leur scolarité, ces élèves s'attendent à ce que la tâche présentée requière essentiellement des savoirs déjà appris et exercés précédemment en classe. Ils y font référence plusieurs fois : soit positivement pour s'appuyer dessus, soit négativement pour rouspéter contre cette tâche que

certains d'entre eux trouvent inadéquate et pour laquelle ils se sentent insuffisamment formés.

La tâche qu'ils se donnent cet après-midi-là n'est pas que cognitive : on sent à tout moment la nécessité chez l'un ou l'autre de ne pas perdre la face devant une difficulté. Des jeux de pouvoir se jouent entre eux. Ainsi, par exemple, quand Ted tente de contrôler la situation par des ordres donnés coup sur coup à Guy, la tension se met à monter, une agressivité se manifeste vis à vis de la machine mais aussi entre eux, chacun reportant la responsabilité de l'impasse sur autrui.

Un autre élément intéressant concerne la perception que les élèves ont du logiciel : celui-ci présente des imperfections, mais c'est une éventualité que les élèves ne semblent pas sérieusement envisager. Ils attendent implicitement du logiciel un fonctionnement parfait, le chargent de tout tester et lorsque sa réaction leur semble aberrante, ils le croient en panne (T116 : «*on met des 0 partout, ça marche ! elle hallucine !*»). Ceci reflète peut-être une compréhension partielle de la nature de l'outil qu'ils sont en train de manier et de sa logique de fonctionnement. Le logiciel peut admettre des solutions conduisant à des erreurs et ne supprime pas les pistes de recherche inutiles ; en cela c'est un instrument ouvert, conçu d'abord pour un usage professionnel et non pour la formation de novices encore à guider pas à pas, comme pourrait le faire un tutoriel. Ces caractéristiques de l'instrument et les conséquences qui en découlent pour leur manière de travailler, ne semblent ni vraiment perçues ni réfléchies comme telles par les élèves.

Cette appréhension partielle de cet étrange partenaire que représente pour eux la machine, leur fait probablement aussi manquer l'utilisation de certaines ressources symboliques, telle la possibilité de simuler à l'écran l'usinage déjà programmé et de visualiser les états successifs de la pièce. Ce qui est frappant c'est que, tout au long de ces séquences, ils ne recourent que très peu à ces possibilités de visualisation pour tenter de lever certaines incertitudes ou contrôler simplement l'adéquation du travail effectué.

Le sens que ces élèves techniciens accordent aux différents événements vécus en cours de tâche, voire à la situation elle-même, apparaît ainsi fortement marqué d'une part par le cadre scolaire, d'autre part par leur rapport utilitaire au dispositif technique qu'ils s'emploient à faire marcher quitte à ne pas le comprendre.

D'où viennent ces conduites ?

8. REFLETS DES ENJEUX PSYCHOLOGIQUES ET SOCIAUX PLUS LARGES

Nos observations nous renvoient à la question de l'efficacité d'une situation de formation et à la perception que les étudiants en ont. S'agit-il pour eux de conduire rapidement le travail demandé par le maître ? Ou l'efficacité réside-t-elle dans la capacité à prendre le temps que nécessite la visualisation, l'auto-contrôle du travail fait et l'anticipation de l'action concrète que la machine effectuera, ceci en vue de diminuer le risque d'errements et d'erreurs ? Il n'est pas sûr que les élèves se soient posé consciemment cette question, soit parce que leur longue scolarité n'a peut-être jamais sollicité une telle compétence d'évaluation de leur propre fonctionnement, de son efficacité et de son coût ; soit parce que cette compétence n'a été que trop partiellement mobilisée, en vue de gains scolaires perçus le plus souvent à très court terme. Et l'efficacité attendue pourrait aussi se situer ailleurs – mais personne ne semble y songer – à savoir dans les apprentissages qui pourraient être faits à l'occasion des difficultés rencontrées et donc des connaissances élaborées pour les surmonter.

D'autres enjeux importants, liés à la nature des équipements techniques, se reflètent encore dans nos observations. Par maintes remarques, les étudiants nous ont fait comprendre qu'ils n'étaient pas sûrs que la cellule d'usinage de leur école technique soit une vraie machine et que leur travaux pratiques correspondent à un véritable exercice industriel. En effet, ils usinent de la résine et non des métaux (pour des raisons de sécurité et de visibilité des opérations) et les logiciels utilisés sont peu présents dans les entreprises de la région. Comme il n'existe d'ailleurs aucun standard en la matière, et que chaque système d'automation présente des caractéristiques spécifiques, les élèves ne savent donc pas quelle est, pour eux, la valeur de cet exercice. Certains sont intéressés par la possibilité de faire fonctionner un tel dispositif complexe (cela se manifeste tout particulièrement par l'attrait, quelquefois même l'excitation, que suscite la mise en oeuvre finale de l'usinage automatique), mais d'autres restent sceptiques quant à l'intérêt de travailler sur un dispositif de conception didactique, qu'il ne retrouveront pas tel quel dans leur future activité professionnelle.

Cela renvoie à un problème d'identité ; on a vu les élèves lutter pour sauver la face et tenter de se mettre dans des relations où ils sont en position sociale haute. Cela n'est sans doute pas sans rapport avec leur insécurité quant à leur image professionnelle qui les laisse dans le doute : le plus important pour un technicien est-il de maîtriser un ensemble de tâches techniques précises ou de comprendre les principes généraux d'un dispositif

complexe ? L'ethos du métier de la mécanique de précision veut qu'on acquière, au fil des années d'apprentissage, la maîtrise quasi parfaite des machines-outils classiques. Or cette exigence ne peut pas être transposée sur des nouveaux dispositifs encore en développement et sur lesquels l'école n'a que des objectifs d'initiation. Qu'est-ce alors que se montrer bon élève ou bon ouvrier dans cette situation ? On voit ainsi que divers enjeux psychologiques et sociaux traversent ces situations d'apprentissage.

9. CONCLUSIONS

Nous avons présenté une recherche centrée sur les "perturbations" que crée l'introduction de nouvelles technologies de fabrication dans un établissement de formation et avons tenté d'articuler deux plans : celui d'une micro-analyse des interactions sociales au sein même d'un atelier de mécanique et celui des enjeux psychologiques, pédagogiques, techniques et sociaux à l'oeuvre dans la vie des élèves et de l'école.

Par une analyse détaillée de ce qui se fait et se dit au sein de groupes de travail, nous avons cherché à repérer des traces de ces divers enjeux qui marquent, d'une manière ou d'une autre, les modalités de collaboration adoptées et plus largement la manière dont les apprenants s'engagent dans leurs activités de formation.

Dans ce contexte d'activité complexe, nous nous sommes intéressés à saisir la manière dont les étudiants interprètent la tâche qui leur est demandée. Le sens que ces étudiants techniciens accordent à cette situation de travaux pratiques nous a paru fortement influencé par le cadre scolaire de leur formation et plus particulièrement par le cadre temporel dans lequel s'inscrivent ces travaux pratiques.

Les situations d'apprentissage observées se sont révélées, de manière encore plus prononcée que nous ne l'attendions, comprendre à la fois des enjeux cognitifs et techniques, mais aussi relationnels et identitaires. Confrontés à des difficultés, les étudiants mobilisent certes leurs connaissances pour chercher des solutions, mais on les voit aussi s'activer pour en finir au plus vite, tenter de sauver la face, manifester des attitudes ambivalentes à l'égard de l'automation, ou encore s'interroger sur le sens ou la pertinence de l'exercice proposé.

BIBLIOGRAPHIE

- AUSSENAC C., BESSARD R., CARLO G. & LEBAHAR J.-C. (1987). Des erreurs significatives dans les pratiques des machines-outils à commande numérique et des dessins spontanés. In P. Rabardel & A. Weill-Fassina (Éds), *Le dessin technique*. Paris, Hermès.
- BARCET A., LE BAS C. & MERCIER C. (1983). Dynamique du changement technique et transformation des savoir-faire de production. *La Documentation Française*, n° 8, pp. 51-75.
- BLAYE A., LIGHT P. & RUBTSOV V. (1992). Collaborative learning at the computer ; how social processes «interface» with human-computer interaction. *European Journal of Psychology of Education*, vol.7, n° 4, pp. 257-268.
- BORZEIX A. & LACOSTE M. (1991). Apprentissage et pratiques langagières : perspectives socio-linguistiques. In D. Chevallier & I. Chiva (Éds.), *Savoir-faire et pouvoir transmettre*. Paris, Maison des Sciences de l'Homme, pp. 23-32.
- CROOK C. (1994). *Computers and the collaborative experience of learning. A psychological perspective*. Londres, Routledge.
- DILLENBOURG P., BAKER M., BLAYE A. & O'MALLEY C. (1995). The Evolution of Research on Collaborative Learning. In P. Reimann & H. Spada (Éds.), *Learning in Humans and Machines*. London, Pergamon.
- ENGESTRÖM Y. & MIDDLETON D. (1996). *Cognition and communication at work*. Cambridge, Cambridge University Press.
- FALZON P. (1994). Dialogues fonctionnels et activités collectives. *Le Travail Humain*, vol. 57, n° 4, pp. 299-312.
- GROSSEN M., LIENGME BESSIRE M.-J. & PERRET-CLERMONT A.-N. (1997). Construction de l'interaction et dynamiques socio-cognitives. In M. Grossen & B. Py (Éds.), *Pratiques sociales et médiations symboliques*. Berne, Peter Lang.
- HOYLES C., HEALY L. & SUTHERLAND R. (1990). *The Role of Peer Group Discussion in Mathematical Environments*. Glasgow, Institute of Education, Departement of Mathematics, Statistics and Computing.
- HOYLES C., HEALY L. & POZZI S. (1992). Interdependance and autonomy : aspects of groupwork with computers. *Learning and Instruction*, vol. 2, pp. 239-257.
- LACOSTE M. (1995). Parole, activité, situation. In J. Boutet (Éd.), *Paroles au travail*. Paris, L'Harmattan, pp. 23-45.
- LEBAHAR J.-C. (1986). Graphisme technique et automatismes. Entre le naturel et l'artificiel, l'analyse du travail cognitif. In P. Rabardel & A. Weill-Fassina (Éds), *Le dessin technique*. Paris, Hermès.
- LEBAHAR J.-C. (1987). L'influence de l'apprentissage des machines-outils à commandes numériques sur la représentation de l'usinage et ses niveaux de formalisation. *Le Travail Humain*, vol. 50, n° 3, pp. 237-249.
- LIGHT P. & BLAYE A. (1989). Computer-based learning : the social dimension. In H. Foot, M. Morgan & R. Shute (Éds.), *Children helping children*. Chichester, John Wiley.
- LIGHT P. & PERRET-CLERMONT A.-N. (1989). Social context effects in learning and testing. In A. Gelatly, D. Rogers & J. A. Sloboda (Éds.), *Cognition and social worlds*. Oxford, Oxford Science Publications, pp. 99-112.
- MARTIN L.M.W. (1995). Linking thought and setting in the study of work place learning. In L. Martin, M. Nelson & E. Tobach (Éds.), *Sociocultural psychology. Theory and practice of doing and knowing*. Cambridge, Cambridge University Press.

- MARTIN L.M.W. & SCRIBNER S. (1991). Laboratory for Cognitive Studies of Work : A Case Study of the Intellectual Implications of a New Technology. *Teachers College Record*, vol. 92, n° 4.
- MARTIN L.M.W. & BEACH K. (1992). *Technical and symbolic knowledge in CNC machining : A study of technical workers of different backgrounds*. Berkeley, University of California.
- PARMENTIER C. & VIVET M. (1992). Nouvelles technologies : production, gestion ou formation ? Le cas de la robotique pédagogique. *Education permanente*, n° 111, pp. 71-86.
- PERRET-CLERMONT A.-N. (1979, revue et augm. 1996). *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne, Peter Lang.
- PERRET-CLERMONT A.-N. (1992a). Les implicites dans les situations d'apprentissage. *Cahiers de l'Institut Supérieur de Pédagogie de l'Université Catholique de Paris*, n° 19, pp. 20-53.
- PERRET-CLERMONT A.-N. (1992b). Transmitting knowledge : Implicit negotiations in the teacher-student relationship. In F.K. Oser, A. Dick & J.L. Patry (Éds.), *Effective and responsible teaching*. San Francisco, Jossey-Bass, pp. 329-341.
- PERRET-CLERMONT A.-N. & NICOLET M. (1988). *Interagir et connaître. Enjeux et régulations sociales dans le développement cognitif*. Cousset (Fribourg), DelVal.
- PERRET-CLERMONT A.-N., SCHUBAUER-LEONI M.-L. & GROSSEN M. (1991). Interactions sociales dans le développement cognitif : nouvelles directions de recherche. *Cahiers de Psychologie de l'Université de Neuchâtel*, n° 29, pp. 17-39.
- PERRET-CLERMONT A.-N., SCHUBAUER-LEONI M.-L. & TROGNON A. (1992). L'extorsion des réponses en situation asymétrique. *Verbum*, n° 1-2, pp. 3-32.
- POCHON L.-O. & GROSSEN M. (1994). Définition d'un espace interactif pour aborder l'étude de l'utilisation de l'ordinateur. *Cahiers de Psychologie de l'Université de Neuchâtel*, n° 32, pp. 27-47.
- SCHUBAUER-LEONI M.-L. & PERRET-CLERMONT A.-N. (1987). Atteggiamenti nei confronti del computer : che sapere ? Di chi ? Per chi ? *Rassegna di Psicologia*, vol. 4, n° 2-3, pp. 25-37.
- SCHUBAUER-LEONI M.-L., PERRET-CLERMONT A.-N. & GROSSEN M. (1992). The construction of adult-child intersubjectivity in psychological research and in school. In V. Cranach, W. Doise & G. Mugny (Éds.), *Social Representations and the social bases of knowledge*. Berne, New-York, Hogrefe & Huber Publishers.
- SCHUBAUER-LEONI M.-L. & PERRET-CLERMONT A.-N. (1997). Social interactions and mathematics learning. In T. Nunes & P. Bryant (Éds.), *Learning and teaching mathematics. An international perspective*. Hove, Psychology Press Ltd., pp. 265-283.
- VIVET M. (1992). Informatique et pédagogie dans l'entreprise. In D. Linhart, J. Perriault & A. Fouquet (Éds.), *Le travail en puces*. Paris, PUF.
- WILKINSON B. (1984). Technologie, compétence et formation. Une étude de cas sur les machines à commande numérique. *Sociologie du Travail*, n° 4, pp. 447-456.

Cette recherche a été réalisée avec l'appui du Fond National Suisse de la Recherche Scientifique (FNRS n° 4033-35846, A.-N. Perret-Clermont, R. Bachmann & L.-O. Pochon).

Nous reprenons dans cet article un ensemble d'observations qui font également l'objet de notre contribution à l'ouvrage : Littleton K. & Light P. (Éds), *Learning with Computers : Analysing productive interaction*. London, Routledge, (in press).



Formation des professeurs de sciences physiques par la didactique

Teacher training in physical sciences

Monique SAINT-GEORGES

IUFM du Limousin
209 boulevard de Vanteaux
87036 Limoges cedex, France.

Résumé

Cet article présente une formation didactique des professeurs de sciences physiques fondée sur une option constructiviste des apprentissages et utilisant les méthodes d'analyse de la didactique des sciences. Les processus qui se sont déroulés pendant l'expérimentation de ce module de formation centré sur les travaux pratiques ont fait l'objet d'une recherche, ce qui a conduit à mettre en évidence les conceptions de professeurs débutants concernant la physique et son enseignement.

Mots clés : *formation des maîtres, travaux pratiques de physique, constructivisme, conceptions.*

Abstract

This article presents a proposition of didactic training for teachers in physical sciences that is based on a constructivist option of learning and uses the analysis methods of the didactics of sciences. The processes implemented during the experimentation of this training module centered on practical work were the subject of a research, which led us to highlight the conceptions of trainee teachers concerning physics and the way it is taught.

Key words : *teacher training, practical work in physics, constructivism, conceptions.*

Resumen

Este artículo presenta una formación didáctica de los profesores de ciencias físicas, fundada sobre una opción constructivista de los aprendizajes, utilizando los métodos de análisis de la didáctica de las ciencias. Los procesos que se desarrollaron durante la experimentación de este módulo de formación centrado en los trabajos prácticos, han sido el objeto de una investigación, lo que conduce a poner en evidencia las concepciones de los profesores debutantes relacionados con la física y su enseñanza.

Palabras claves : *formación de profesores, trabajos prácticos de física, constructivismo, concepciones.*

INTRODUCTION

La didactique a été introduite dans les programmes de la deuxième année de formation des professeurs de lycée et collège en 1991, à la création des IUFM (Instituts Universitaires de Formation des Maîtres). Enseigner en IUFM conduit à s'interroger sur le rôle que peut jouer la didactique des sciences, jusque-là discipline de recherche, dans une formation professionnelle : comment les éléments apportés par la recherche didactique sont-ils conciliables, pour des professeurs débutants, avec les contraintes de l'enseignement sur le terrain ? La question est d'importance car cette formation en IUFM doit s'articuler avec des stages en lycée et collège, et avec une évaluation finale et sommative à caractère professionnel (Saint-Georges, 1996a).

L'article présente la construction d'un dispositif de formation didactique de professeurs de sciences physiques, qui a fait l'objet d'une recherche visant à analyser les processus qui s'y déroulent (Saint-Georges, 1996b).

1. QUELS CHOIX POUR UNE FORMATION PROFESSIONNELLE ?

1.1. L'objectif de la formation

Le module de formation ne prétend pas résoudre le problème d'une formation professionnelle dans son ensemble. L'objectif de départ consiste à privilégier une composante considérée comme indispensable pour une

formation professionnelle ; il s'agit de développer chez les stagiaires un attitude réflexive, «*critique et prospective*» (Martinand, 1994) :

– critique, dans le sens d'une critique constructive qui s'appuie sur une analyse de pratique ;

– prospective, dans le sens d'une recherche, de la part des stagiaires, d'une évolution dans leur pratique.

Ceci dans trois domaines qui concernent l'enseignement de la physique : le domaine disciplinaire (la physique elle-même en tant que science), celui de l'apprentissage des élèves et celui de la conduite de classe.

Pour atteindre un tel objectif, plusieurs moyens pourraient être mis en oeuvre. Il importe donc maintenant de préciser les choix faits pour la formation dont il est ici question, en référant aux pratiques de formation existantes.

1.2. La référence aux pratiques de formation

Il existe deux conceptions différentes, voire opposées, d'une formation professionnelle des enseignants débutants, attribuant chacune à la didactique disciplinaire une fonction différente. Soit la didactique est conçue comme une discipline théorique, à partir de laquelle les stagiaires construisent des compétences pédagogiques (l'enseignement de la didactique consiste alors à faire acquérir des savoirs constitués par des concepts élaborés par la recherche), soit elle intervient en interaction avec une situation pédagogique effective et à la suite d'un acte d'enseignement (Amade-Escot, 1992) : l'enseignement de la didactique consiste alors à faire acquérir des méthodes et des outils d'analyse de sa propre pratique.

1.3. Les choix pour réaliser l'objectif fixé à la formation

C'est la seconde des options présentées plus haut qui a été choisie pour mener l'expérimentation. Elle permet, en effet, d'attribuer à la didactique une fonction qui assure une relation étroite avec l'acte d'enseigner : ce que M. Altet (1994) appelle un «*va et vient entre pratique-théorie-pratique*». Ce choix est en cohérence avec les options affichées par les didacticiens des sciences (Giordan & De Vecchi, 1990 ; Johsua & Dupin, 1993 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1993), c'est-à-dire le cadre constructiviste : il se traduit ici dans l'option qui est prise de ne pas donner de réponses aux stagiaires avant qu'ils ne se soient posé les questions correspondantes. L'objectif est de les aider à construire, selon l'expression de M. Larochelle & J. Désautels

(1993, p. 56), «*des problèmes là où, pour eux, il ne semble y en avoir aucun (excepté des problèmes relevant des techniques de communication de l'information, de l'intérêt-motivation des élèves et de la discipline de classe).*» Car les questions soulevées par la recherche didactique ne correspondent pas, en général, à des signes extérieurs facilement repérables en cours d'enseignement, surtout pour des débutants ; de plus, la didactique n'apporte pas de solution standard réinvestissable dans l'immédiat, mais plutôt des outils d'investigation et d'analyse des situations d'enseignement. Pour ce faire, nous proposons :

- de placer les stagiaires dans des situations de classe élaborées spécifiquement dans un but de formation ;
- de faire de la didactique un outil de formation et non un objet de connaissance, c'est-à-dire viser plutôt le transfert des méthodes d'analyse de la didactique que l'enseignement frontal et *a priori* de ses concepts.

1.4. Les méthodes mises en oeuvre

Le choix qui est fait consiste donc à entrer dans la formation par l'action pédagogique en la faisant suivre d'une réflexion sur cette action. Les moyens utilisés pour le mettre en application sont les suivants :

- confronter les stagiaires à des situations effectives d'enseignement, qui soient génératrices de problèmes faisant émerger certaines difficultés d'apprentissage de la physique par les élèves ; les travaux pratiques de lycée, de type résolution de problèmes expérimentaux, peuvent répondre à ce critère ;
- donner aux stagiaires la possibilité d'utiliser les méthodes et les résultats de la recherche didactique pour analyser les situations de classe auxquelles ils ont été confrontés.

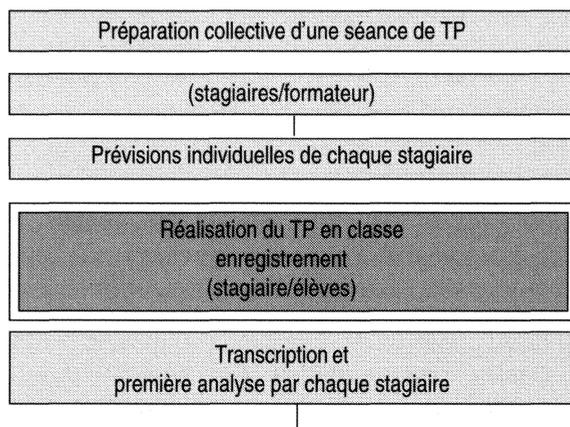
C'est à partir de ces principes que le dispositif de formation a été construit. La recherche consiste ensuite à s'interroger sur la pertinence des choix et des moyens mis en oeuvre.

Le formateur qui intervient dans le module de formation est aussi le chercheur qui en analyse les processus. Cette situation de recherche un peu particulière permet d'éviter l'intervention d'acteurs intermédiaires entre la conception du module de formation et sa réalisation. La méthodologie de recherche, en fournissant la transcription intégrale des situations de formation, permet d'ailleurs, si besoin est, d'analyser les interventions du formateur.

2. LE DISPOSITIF DE FORMATION, OBJET DE RECHERCHE

Le dispositif s'insère dans le cadre institutionnel de la formation en IUFM : les stagiaires en seconde année (promotions d'une dizaine chaque année) ont passé le concours du CAPES (Certificat d'Aptitude Professionnelle à l'Enseignement Secondaire) après une licence ou une maîtrise de sciences physiques, sans avoir enseigné auparavant. Ils viennent d'horizons divers (candidats libres, ou ayant suivi une première année de préparation dans un IUFM) et n'ont pas reçu de formation didactique préalable. Ils sont responsables de l'enseignement des sciences physiques auprès d'élèves de 15-16 ans, en classe de seconde, pendant six heures par semaine ; ils sont aussi en formation à l'institut pendant douze heures par semaine. La recherche ne porte que sur une partie très restreinte de la formation dispensée en IUFM. C'est un module de formation d'une douzaine d'heures seulement sur une année, situé entre novembre et février. Cette partie de l'année correspond, au lycée, à l'enseignement de l'électricité dans les classes de seconde. Cette précision a son importance, car la formation ne se déroule pas uniquement en IUFM : elle est, en fait, centrée sur la réalisation par les stagiaires, dans leur classe de seconde, d'une séance de travaux pratiques (TP) de type «résolution de problèmes», qui se situe donc à la fin de la partie du programme d'électricité. Le problème qui est posé aux élèves consiste à construire un circuit électrique clignotant.

Le module de formation en IUFM comporte trois phases : la préparation d'une séance de TP (résolution de problèmes), sa réalisation en lycée (enregistrée au magnétophone et transcrite ensuite par les stagiaires eux-mêmes) puis son analyse par les stagiaires. La chronologie des différentes phases de la formation peut se résumer ainsi :



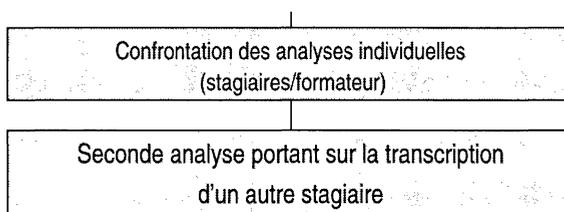


Schéma 1 : Déroulement de la formation

Avant la description de la séance de classe, quelques précisions sur les deux phases extrêmes permettront de mieux situer les séances de formation en IUFM. Il y a, en effet, un parallèle étroit entre les séances réalisées en classe par les stagiaires et qu'ils analyseront dans le cadre de leur formation, et les séances réalisées en IUFM (ayant pour objet la préparation de la séance et la réflexion à son sujet) et que nous analyserons dans le cadre de cette recherche.

La phase de préparation

Elle comporte une séance collective en IUFM où le formateur donne des règles du jeu d'intervention en classe pour que la séance corresponde bien à une résolution de problèmes par les élèves : les stagiaires ne doivent pas donner d'entrée le schéma du circuit, mais solliciter les suggestions de leurs élèves, leur faire confronter entre eux les schémas qu'ils proposent ; ils doivent justifier leurs refus ou acceptations des propositions de leurs élèves. Ce sont ces contraintes qui permettent que la séance de TP soit génératrice de problèmes, en donnant aux élèves la possibilité d'exprimer leurs idées et leurs difficultés.

Après la préparation collective, les stagiaires formulent par écrit leurs prévisions individuelles qui portent, non seulement sur le déroulement du TP, mais aussi sur les propositions et les difficultés supposées des élèves, leurs questions ou leurs réponses éventuelles.

La phase d'analyse

En travaillant, tout d'abord, sur leur propre transcription, en comparant leurs prévisions avec le déroulement effectif du TP, les stagiaires mettent en jeu les méthodes d'analyse de la didactique.

Par la suite, à l'occasion de la seconde séance en IUFM, l'intervention du formateur consiste à mettre l'accent sur les régularités qui se produisent lors des séances de TP dans les classes des stagiaires et qui correspondent à des phénomènes que la didactique a étudiés, visibles pour un chercheur

en didactique, mais peu lisibles pour un novice. C'est la fréquence des phénomènes qui permet, tout d'abord, d'attirer l'attention des stagiaires. Puis les concepts et les apports de la recherche sont introduits (sous forme d'articles de recherche didactique) comme éléments de lecture et d'analyse des situations de classe ; ils sont proposés aux stagiaires en raison de leur pertinence pour traiter les problèmes repérés et pour aller plus loin dans leurs prémices d'analyse.

Enfin, chaque stagiaire analyse, cette fois, la transcription d'un autre, en faisant fonctionner les outils didactiques qu'il a acquis précédemment : les méthodes d'analyses et les informations apportées par les articles de recherche.

La séance de classe (le TP-problème)

La partie centrale du module de formation est la séance de classe. Sa description a pour but de montrer les circonstances dans lesquelles agissent les stagiaires ; les phénomènes qui s'y déroulent, du point de vue de l'apprentissage des élèves, ne font pas, en eux-mêmes, l'objet de cette recherche. Ces phénomènes, déjà bien explorés par les didacticiens, comme par exemple les conceptions d'élèves sur le courant, ne sont exposés ici que parce qu'ils permettent de voir comment les stagiaires réagissent quand ils y sont confrontés.

Le TP est présenté aux élèves comme un problème à résoudre (d'où son nom de «TP-problème») : ils doivent élaborer puis construire un circuit électrique qui assure une fonction précise, celle de clignotant. La consigne exacte exige que ce clignotant soit formé de «deux composants qui clignotent alternativement». Voici le circuit (schéma 2) que peut imaginer un élève de seconde, en justifiant ses choix : deux diodes électroluminescentes D1 et D2, montées en parallèle et en sens inverse, sont alimentées par un générateur de basses fréquences BF (tension rectangulaire), et protégées par une résistance R en série avec le générateur. Même si les élèves ne proposent pas tous ces composants, ils sont nombreux à faire appel à des diodes électroluminescentes (DEL) ou à des lampes à incandescence associées à des diodes, alors que, pour ne pas influencer leur choix, aucun matériel n'est visible dans la salle de TP.

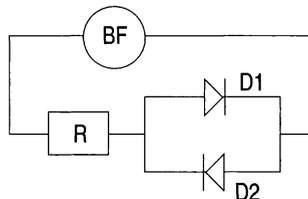


Schéma 2 : Circuit qui peut être proposé par les élèves de seconde

Le circuit en lui-même n'a rien d'original ; ce qui change, par rapport aux pratiques habituelles de TP, c'est qu'il résulte de l'aboutissement d'une recherche faite par les élèves. Tous ne proposent pas d'emblée le schéma ci-dessus ; c'est justement l'argumentation des schémas produits par chacun qui est recherchée dans cette étape, où les élèves ont l'occasion de parler de physique avec leurs camarades et avec leur professeur. L'intérêt de ce montage est de présenter peu de composants, ce qui permet de tester la fonctionnalité des connaissances des élèves en fin de premier trimestre. Il ne s'agit pas d'un enseignement technique qui viserait à réaliser, au moindre coût, un objet fonctionnel comme, par exemple, une guirlande clignotante. Le problème posé est envisagé comme un test de la fonctionnalité des concepts appris dans un contexte d'enseignement général de la physique.

Pour répondre à la consigne et construire le circuit, les élèves doivent au préalable passer par les étapes suivantes :

- élaborer un schéma du montage ; chacun suggère des composants, propose un schéma ; les différentes productions écrites sont ensuite confrontées entre elles et discutées par toute la classe ;

- pour passer de ce schéma à la réalisation effective, il faut déterminer les valeurs des composants, et, pour cela, obtenir sur la diode, par exemple, des informations quantitatives sur son comportement dans un circuit : il est ainsi nécessaire de faire un montage annexe qui permet de tracer sa caractéristique.

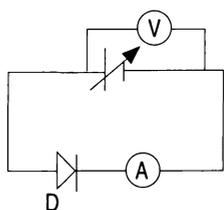


Schéma 3 :
**Circuit relatif au tracé
de la caractéristique d'une diode**

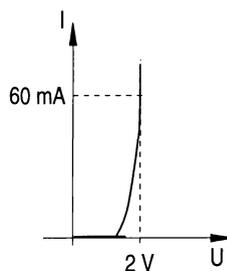


Schéma 4 :
Caractéristique d'une diode

Les valeurs numériques obtenues permettent de déterminer le point de fonctionnement de la diode, de calculer la valeur de la résistance de protection, puis de monter le clignotant.

Cette étape correspond au réinvestissement et à la mise en oeuvre des concepts de courant et de tension appris depuis le début de l'année.

C'est ce module, tel qu'il vient d'être décrit ici, qui fait l'objet de la recherche.

3. QUESTIONS DE RECHERCHE ET MÉTHODOLOGIE

Les questions que l'on peut se poser sur ce dispositif sont liées à la pertinence des choix de formation et concernent la possibilité d'acquisition à court terme (après cinq mois de formation), par les stagiaires, d'une attitude réflexive :

– **la première question** porte sur le choix du TP-problème ; génère-t-il des situations où les stagiaires peuvent être confrontés, d'une part à des difficultés d'apprentissage de leurs élèves (qui se révèlent rarement dans les pratiques habituelles) ; d'autre part à des problèmes de conduite de classe qui soient propres à provoquer un questionnement sur leurs pratiques ?

– **la seconde question** porte sur l'attitude réflexive (critique et prospective) dont font preuve les stagiaires : sur quels domaines s'exerce-t-elle et comment évolue-t-elle en cours de formation ? En faisant référence à Larochelle et Désautels (1993), les résultats concernant la réflexion critique et prospective des stagiaires sur la conduite de la classe peuvent être analysés à la lumière de leurs conceptions sur l'enseignement de la physique, ce qui ouvre la recherche sur la question suivante ;

– **la troisième question** : quelles sont les conceptions des stagiaires, concernant la physique et son enseignement, qui permettent d'analyser la façon dont se manifeste et évolue leur attitude réflexive en cours de formation ?

L'expérience a duré deux ans ; la première année, les stagiaires étaient au nombre de onze, la seconde année de sept. Le chercheur dispose d'un corpus qui rend compte de toutes les phases précédemment décrites : les transcriptions de TP-problèmes par les stagiaires et leurs travaux écrits sur deux ans ; toutes les séances de formation en IUFM ont été également enregistrées : leurs transcriptions apportent des informations sur les propos tenus par les stagiaires concernant la séance de TP-problèmes et, de façon plus générale, les TP de lycée.

Une méthodologie d'exploitation du corpus, a été mise en oeuvre pour répondre aux questions de recherche. Il est difficile de trouver une méthode standard dans ce type de recherche. Celle qui est mise en oeuvre ici tient, à la fois, de l'analyse de cas (dans la mesure où il est fait une analyse détaillée de ce que dit et fait chaque stagiaire, chacun étant identifiable) et d'une analyse quantitative (dans la mesure où le nombre de cas étudiés est suffisamment grand pour repérer des répétitions). L'analyse, fondée ainsi sur des régularités et des ressemblances, n'exclut pas, cependant, le

repérage des différences éventuelles entre stagiaires et de la singularité de l'évolution de chacun d'eux.

Pour la réponse à la première question, la partie du corpus qui a fait l'objet de l'analyse est l'ensemble de dix transcriptions de classe : trois en première promotion (c'était une année exploratoire où la réalisation de la séance n'était pas encore obligatoire) et sept en seconde promotion. L'analyse consiste à relever, dans chaque transcription de classe, les expressions qui traduisent les comportements de chaque stagiaire pendant sa séance de TP ; de plus, le fait de disposer de dix transcriptions permet de faire émerger des constantes dans ces comportements et de faire une étude quantitative.

Pour traiter de la seconde question, il s'est agi de repérer comment les stagiaires perçoivent les problèmes d'enseignement et comment évolue leur perception. Le travail de recherche a consisté à confronter les propos qu'ils tiennent dans leur première et dans leur seconde analyse écrite, en ce qui concerne les trois domaines, disciplinaire, apprentissage des élèves, et conduite de classe. Ceci a été fait sur les productions de la seconde promotion pour laquelle l'expérimentation a été menée dans son intégralité.

Pour traiter de la troisième question (l'analyse des conceptions des stagiaires), la méthodologie employée se démarque des méthodes dites «*directes*» (Charlier, 1989), qui s'appuient exclusivement sur des questionnaires ou des entretiens ; la voie d'accès par trace directe présente en effet des inconvénients : d'une part, les questions, par leur nature et leur forme, risquent d'influencer les réponses et, d'autre part, les comportements en situations d'enseignement ne sont pas nécessairement en accord avec les représentations exprimées en réponse à un questionnaire. Les circonstances de la formation, telle qu'elle est conçue, permettent de mettre en oeuvre ce que E. Charlier (1989) appelle «*la méthode d'accès indirect*» : elle consiste à décoder les conceptions à partir des comportements et des conduites des stagiaires ; ce sont, en quelque sorte, ce que nous pourrions appeler «les conceptions en acte» qui sont ainsi analysées. Les conclusions tirées de cette analyse sont fondées sur la recherche de faisceaux de cohérence entre les déclarations des stagiaires (avant et après le TP) et leurs conduites (pendant le TP), avec mise en évidence de régularités qui se retrouvent chez les différents stagiaires des deux promotions concernées ; les informations sont obtenues à partir de deux sortes de données, croisées et confrontées entre elles :

- les transcriptions de séances de TP qui informent sur les actes de stagiaires ;

- les échanges oraux avec les stagiaires, à propos de la séance de TP, soit pendant la séance de préparation, soit pendant la séance de confrontation des analyses, où ils parlent de ces mêmes actes d'enseignement.

Différentes catégories de conceptions sont identifiables, pour lesquelles l'interprétation ne laisse pas de doute, en référence aux études déjà faites par les didacticiens auprès des professeurs en exercice. Même si ces conceptions n'apparaissent pas toujours majoritairement par rapport au nombre de stagiaires, ce qui importe, c'est qu'elles se manifestent de façon répétitive.

4. ÉLÉMENTS DE RÉPONSE APPORTÉS AUX QUESTIONS DE RECHERCHE

4.1. La pertinence du choix du TP-problème

Le TP-problème s'avère pertinent pour confronter les stagiaires à des difficultés de leurs élèves qu'ils ne soupçonnaient pas précédemment : plusieurs épisodes, que nous appellerons «problématiques», se reproduisent avec régularité. Deux d'entre eux seront tout particulièrement évoqués ici, car ils suscitent un comportement quasi-unanime de la part des stagiaires. Si nous décrivons les deux phénomènes qui se produisent dans les classes, ce n'est pas pour faire une analyse didactique de problèmes déjà étudiés par les chercheurs, mais pour mettre en évidence la façon dont les stagiaires gèrent ces situations.

4.1.1. L'épisode concernant les propriétés du courant électrique

Une des étapes importantes de la séance du TP-problème consiste à confronter entre eux les schémas de circuits produits par les élèves : elle leur permet d'exprimer leurs conceptions des propriétés du courant ; ils pensent souvent, en effet, que le courant se comporte comme un fluide qui s'épuiserait à la traversée des composants, tout particulièrement des résistances. Avec une telle conception, les élèves placent souvent, dans leurs schémas, la diode «après» la résistance (si on tient compte du sens conventionnel du courant). Ce phénomène a fait l'objet de recherches approfondies en didactique (Closset, 1989), mais il n'apparaît pas en classe si les élèves n'ont pas la possibilité de s'exprimer ou si le professeur n'a pas le temps de les écouter. Ici, c'est la confrontation de leurs différents schémas qui permet aux élèves d'explicitier leurs idées sur les propriétés du courant. Ce phénomène se manifeste dans les dix séances de TP enregistrées par les stagiaires.

Voici un extrait de transcription où les élèves ont proposé un montage dans lequel les deux diodes du schéma 1 sont dans le même sens ; pour respecter la consigne : «clignoter alternativement», il faut en retourner une.

Mais pour certains élèves le courant, lors d'une alternance, traverserait alors la «deuxième diode» retournée avant d'atteindre la résistance : il faudrait donc une deuxième résistance de protection de l'autre côté.

Élève 1 : *«Il faut deux résistances : une qui reste où elle est et une autre qui reste de l'autre côté pour la deuxième diode... les résistances, il faut les mettre avant.»*

Élève 2 : *«Si elles sont après, elles servent à rien.»*

Le stagiaire : *«La caractéristique de l'intensité dans un circuit série, c'est quoi ?»*

Plusieurs élèves : *«C'est la même partout.»*

Élève 2 : *«Mais l'intensité après la résistance, c'est pas la même ; la résistance, ça sert à diminuer l'intensité.»*

(un peu plus tard)

Élève 1 : *«Oui, mais le courant, il arrive : il passe d'abord dans la diode puis dans la résistance. Je ne comprends pas pourquoi la diode est protégée.»*

Le stagiaire : *«Pour ce circuit, ça va. Une seule résistance suffit !»*

Dans cet épisode, en début de citation, deux élèves expriment explicitement leur conception du courant. En réponse, le stagiaire rappelle la loi étudiée en cours ; les élèves la connaissent bien. Mais, pour certains (comme l'élève 2), la loi n'est pas fonctionnelle quand une résistance est dans le circuit. L'élève 1 pose encore des questions à ce propos, dans la suite de la séance, questions non relevées par le stagiaire qui passe d'autorité à la suite.

De guerre lasse, tous les stagiaires, comme celui qui est cité ci-dessus, terminent les discussions par un argument d'autorité pour poursuivre la séance. Il est à remarquer qu'aucun d'eux n'a su expliquer de façon claire ce que signifie exactement la phrase qu'ils utilisent d'ailleurs souvent eux-mêmes : *«la résistance diminue l'intensité»*. Or cette expression ne fait que renforcer l'idée que le courant s'épuise en traversant une résistance, car elle comporte une omission : la comparaison, dans ce cas, est faite entre deux circuits différents, l'un avec le conducteur ohmique, l'autre sans lui.

Rappelons que le formateur n'attend pas des stagiaires qu'ils maîtrisent parfaitement le guidage des élèves et le dialogue ; le but de cette séance est de les placer dans des situations où leurs élèves expriment leurs conceptions dans le déroulement même du TP, de faire en sorte que cet épisode reste en mémoire pour être confronté à ce qui se passe chez les autres stagiaires et qu'il serve de point de départ à une réflexion sur l'apprentissage des élèves.

4.1.2. *L'épisode concernant l'exploitation des mesures*

Le tracé point par point, par les élèves, de la caractéristique de la diode permet de percevoir leurs difficultés quand il s'agit d'exploiter les résultats de mesures. Les élèves pensent souvent que les mesures qu'ils ont faites correspondent à la valeur exacte de la grandeur mesurée : ils tracent donc une ligne brisée qui passe par tous les points. Ce phénomène, lui aussi, a fait l'objet de recherches didactiques (Brenasin, 1993 ; Séré, 1993) ; pour justifier le lissage de la courbe, il est indispensable de faire appel à l'incertitude sur les mesures (Coelho, 1992). Le phénomène se manifeste dans la majorité des séances de TP. Comment réagissent les stagiaires ? Aucun ne parle d'incertitudes. L'extrait suivant d'une séance de TP illustre leur comportement général, quand ils sont confrontés aux caractéristiques en forme de ligne brisée que tracent leurs élèves. Le stagiaire cité ici répond à ses élèves par des jugements de valeur ou des règles de comportement, sans pouvoir faire appel à une argumentation scientifique.

Un stagiaire : *«Oh que c'est vilain ! C'est même affreux. Quand on trace une caractéristique, on ne passe pas par tous les points, on extrapole. Quand on voit des points qui sont faux, on passe à côté, on ne fait pas de zigzags comme ici !»*

Ainsi, les séances de TP-problèmes ont généré plusieurs épisodes problématiques (dont les deux qui ont été présentés ici) qui peuvent provoquer, lors de l'analyse, un questionnement par exemple sur les difficultés des élèves concernant le courant électrique ou la signification des mesures et, par là même, conduire les stagiaires à approfondir ces aspects du domaine disciplinaire. De plus, les difficultés rencontrées par les stagiaires dans le dialogue de classe (où ils doivent souvent user d'arguments d'autorité pour assurer le déroulement de la séance) peuvent les amener à s'interroger sur la façon de répondre efficacement à leurs élèves.

4.2. Les manifestations et l'évolution de la pratique réflexive des stagiaires

4.2.1. *Les domaines où les stagiaires font preuve d'une pratique réflexive*

À propos de l'apprentissage des élèves

C'est dans le domaine de l'apprentissage des élèves, et tout particulièrement celui de leurs conceptions des propriétés du courant, que

l'évolution des stagiaires est générale. Alors qu'en première analyse, aucun d'eux n'accorde d'attention aux questions des élèves sur la place de la résistance par rapport à la diode, la majorité d'entre eux, en seconde analyse, repère l'épisode problématique dans la transcription d'un autre. Entre leurs deux analyses se situe la séance de confrontation des transcriptions (en IUFM) et la constatation de régularités dans les propositions d'élèves de différentes classes, à propos de la place de la résistance et de la diode ; c'est la mise en évidence de cette régularité qui a permis d'introduire le concept de «représentation» ou de «conception» d'élèves. Les stagiaires peuvent alors reconnaître les difficultés de leurs élèves et des autres, par exemple la non-fonctionnalité du concept de courant, comme dans l'extrait suivant :

Un stagiaire : *«Même les élèves qui ont répondu à la question sur les propriétés du courant dans un circuit série («c'est le même partout») persistent à croire que la résistance diminue le courant, une fois que celui-ci l'a traversée. Les élèves ressortent ce que le professeur a dit en cours mais cependant ils sont persuadés du contraire quand ils rencontrent le problème expérimentalement. On leur a fait admettre une loi qui va à l'encontre de leurs représentations spontanées.*

C'est peut-être à partir de cette description du courant que l'on peut déceler l'origine des difficultés : le courant, pour l'élève, est un phénomène que l'on peut suivre, qui va d'un point à l'autre et qui est freiné par une résistance sur son passage.»

Les stagiaires peuvent ainsi identifier les conceptions de leurs élèves et analyser leurs réponses. Le fait de reconnaître les difficultés des apprenants et de les analyser conduit les stagiaires à s'impliquer et à se poser des questions sur leur façon d'enseigner. Ils vont même jusqu'à envisager de faire évoluer leur façon d'enseigner l'électricité, comme dans l'extrait suivant où le stagiaire propose un aménagement de son cours pour mettre l'accent sur le concept de courant.

Un stagiaire : *«Peut-être faudrait-il, avant de regarder le comportement du courant dans les différents composants, montrer que, dans un circuit électrique, la valeur du courant est imposée par le choix des composants et qu'à partir de là, il serait le même partout car il a "pris en compte" tous les composants présents dans le circuit.»*

Les stagiaires ont ainsi l'occasion de développer un point de vue critique et prospectif, dans le domaine de l'apprentissage et de la perception des difficultés d'élèves

A propos de la conduite de classe

Tous les stagiaires se posent des questions sur l'efficacité de leurs guidages, et ceci dès leur première analyse. Ce qui évolue, en cours de formation, c'est la **nature** de leur questionnement.

En première analyse, le questionnement est provoqué par la comparaison entre les prévisions de chaque stagiaire et le déroulement effectif de la séance de TP. Il porte sur le fait que les réponses d'élèves aux questions des stagiaires sont différentes de ce qu'ils attendaient, et il les conduit à la nécessité de reformuler leurs questions, ce qu'illustre l'exemple suivant :

Un stagiaire : *«À plusieurs reprises, les élèves répondent à côté de la question ; il s'agissait de questions vagues. C'est pour cela qu'il faut reprendre les questions en les précisant.»*

Un autre stagiaire : *«Lorsque les élèves font appel à un raisonnement, ils ont du mal à répondre ; ils cherchent toujours une solution d'après les souvenirs du cours, ce qui fait qu'ils ne structurent guère leurs réponses et lancent des mots ou des expressions. Il est nécessaire de poser des questions intermédiaires et de faire avec eux le chemin du raisonnement.»*

De même, à l'occasion de la séance de confrontation des analyses, les stagiaires s'interrogent sur le statut de leurs questions : ils attribuent en partie l'origine des réponses brèves et peu structurées de leurs élèves à la façon de poser les questions et aux contenus implicites du dialogue de classe :

Extrait de dialogue, à l'occasion de la séance de confrontation des analyses :

Stagiaire 1 : *«Si les élèves ne prennent pas le temps de structurer leurs réponses, c'est peut-être dû à nous, en tant qu'enseignants. On les interroge et, s'ils ne savent pas, on les cartonne, alors...»*

Stagiaire 2 : *«Souvent nos questions, c'est pour des vérifications de connaissances.»*

Stagiaire 3 : *«Mais si on fait de temps en temps autrement, ça viendra.»*

En seconde analyse, cette réflexion, qui portait au départ sur la façon d'amener les élèves à répondre ce qu'on attend d'eux, évolue et porte alors sur la façon dont les stagiaires peuvent s'adapter à leurs élèves, en tenant compte de leurs difficultés pour les guider. Ceci conduit les stagiaires à repérer les épisodes problématiques dans les transcriptions de leurs

collègues, à en analyser les processus, à identifier les arguments d'autorité dont ils font usage pour clore les épisodes, comme dans l'extrait suivant d'une seconde analyse de stagiaire :

Analyse faite par un stagiaire sur la transcription d'un autre :

«Il y a un réel débat mis en place entre l'élève et le professeur : l'élève ne comprend pas pourquoi son montage est faux. Je ne suis pas persuadé qu'il en sera sûr à la suite de ce débat ; le professeur clôt le débat sans expliquer nettement pourquoi il refusait le montage que proposait l'élève.»

Plusieurs stagiaires repèrent aussi l'insuffisance de leurs argumentations face aux élèves. C'est le cas dans l'exemple suivant, extrait d'une seconde analyse, où l'un d'eux cite des passages du discours en classe de l'un de ses collègues (qu'il appelle ici : «le professeur») :

Le stagiaire cite la transcription qu'il analyse.	Le commentaire qu'en fait le stagiaire.
<p>Le professeur : <i>«Il ne faut pas relier tous les points à la règle ; il n'y a que les droites qu'on trace à la règle.»</i> (un peu plus tard, de nouveau :)</p>	<p><i>«L'ambiguïté reste : dans quel cas peut-on considérer qu'il faille tracer la droite moyenne ou alors la courbe ?»</i></p>
<p>Le professeur : <i>«Il ne faut pas tracer à la règle, sauf quand la courbe obtenue est une droite.»</i></p>	<p><i>«Les élèves, n'ayant pas de raisons justifiant la méthode, ne sont toujours pas convaincus.»</i></p>

La réflexion critique sur la conduite de classe fonctionne bien, dans ce cas, et ceci pour tous les stagiaires sans exception.

4.2.2. Un domaine où la pratique réflexive ne se manifeste pratiquement pas : le domaine disciplinaire

Si nous revenons sur les commentaires du stagiaire dont les propos ci-dessus sont cités intégralement, il est à remarquer qu'il ne propose lui-même aucune argumentation disciplinaire qui permettrait de progresser. Et ceci se retrouve chez tous les stagiaires. Aucun ne cherche à approfondir le domaine de la physique correspondant aux arguments qu'il juge, cependant, insuffisants.

C'est là l'obstacle principal que cette recherche met en évidence : les stagiaires se trouvent, à un moment de leur réflexion, devant la nécessité d'approfondir le domaine disciplinaire. Or aucun ne le fait. Ils ne peuvent

alors aller plus loin dans une démarche prospective et se réfugient tous dans la justification de leur pratique («*On ne peut pas faire autrement*», disent-ils).

Nous avons recherché les raisons de ce blocage. Il peut s'interpréter par le fait que les connaissances qu'utilisent habituellement les stagiaires ne leur donnent pas les moyens de soutenir une argumentation lors d'une séance de TP-problèmes. Leurs connaissances, en effet, ne sont fonctionnelles que dans un cadre qui correspond aux conceptions qu'ils ont de l'enseignement de la physique et dans lequel n'entre pas la situation-problème. Nous avons analysé ces conceptions en confrontant les conduites des stagiaires aux explications qu'ils en donnent et nous avons mis ainsi quelques grands points en évidence.

4.3. Les conceptions des stagiaires, qui permettent d'analyser certains de leurs blocages

La pratique de classe fait intervenir des conceptions d'ordre divers qui forment un réseau et qui se renforcent les unes les autres.

4.3.1. Des conceptions d'ordre épistémologique

Pour les stagiaires, l'enseignement de la physique est un enseignement de lois «théoriques». Les activités expérimentales s'avèrent donc secondaires ; ils n'y font appel que pour illustrer et appliquer les lois qu'ils enseignent :

Extrait d'une séance de confrontation des analyses :

Un stagiaire : «*Moi, j'utilise l'esprit théorique et formel du cours pour préparer les TP. Là, on donne des choses. Ensuite, on passe aux TP ; en gros, j'essaie de faire un maximum en application du cours.*»

Un autre stagiaire : «*Oui, il faut bien qu'il y ait la pratique ; le cours, avant, c'est la théorie.*»

Le premier dit «donner des choses» pendant ses cours. L'expression est caractéristique du fait qu'il ne connaît pas le statut de ce qu'il enseigne et ne voit donc pas de façon de faire autrement que de le «donner». Cette même démarche apparaît au second stagiaire comme une évidence.

Il est donc absolument nécessaire, dans ce cadre-là, qu'il y ait concordance entre les modèles enseignés et les objets réels qui interviennent dans les situations expérimentales proposées aux élèves : il suffit pour cela

de concevoir *a priori* des situations de TP où le choix implicite des «bons» composants ou des «bonnes» conditions expérimentales permettent cette concordance. Il n'est pas besoin, dans ce cas, de se préoccuper d'arguments, pour le lissage de la courbe par exemple, puisque le professeur et l'élève savent déjà quelle courbe on «doit» obtenir. Par exemple, dans la séance de confrontation de leurs analyses, certains stagiaires parlent de la «vérification» de la loi d'Ohm :

Stagiaire 1 : *«Un professeur qui est conscient de son métier , il va faire l'expérience avant, il va éliminer toutes les sources d'erreurs pour qu'il n'y ait pas de perturbation dans l'esprit de l'élève ; il a sa droite.»*

Stagiaire 2 : *«C'est important pour la validité de notre enseignement.»*

Stagiaire 3 : *«Il faut bien qu'il ait conscience de la validité d'une loi !»*

Le second stagiaire exprime sans doute ici son inquiétude de débutant face aux élèves ; dans ces conditions, il lui est difficile d'aborder la question de la limite de validité d'une loi, car il craindrait de mettre en cause la crédibilité d'un enseignement pour lequel il ne se sent déjà pas très sûr de lui.

Les stagiaires préfèrent d'ailleurs éviter que les élèves fassent eux-mêmes des mesures, si ce n'est dans une situation qu'ils ont, eux, épurée. Ceci leur permet aussi de contourner la question des incertitudes de mesure qu'ils maîtrisent mal. Ils sont alors conduits, comme dans l'exemple suivant, à mettre en oeuvre des procédures qui éviteront de faire faire les mesures par les élèves. Voici un extrait de dialogue de la séance de préparation du TP-problème, où les stagiaires cherchent à éviter que les élèves ne se posent des problèmes de tracé ; ils préfèrent proposer un graphe qu'ils ont représenté eux-mêmes, conforme à ce qu'ils attendent. Ils sont même prêts à tricher pour contourner le problème posé par les mesures et leur signification.

Stagiaire 1 : *«On peut leur amener la caractéristique toute tracée en disant : voilà, le constructeur dit ça ; on analyse le schéma, on regarde à quoi ça correspond ; à partir de là on en déduit comment il faut qu'on se place pour que la diode éclaire.»*

Stagiaire 2 : *«Je ne trouve pas la caractéristique, dans les catalogues.»*

Stagiaire 3 : *«Mais je suis sûr que ça existe, cette caractéristique ! On peut faire comme si on l'avait trouvée, du moment qu'on sait que ça peut exister.»*

Stagiaire 4 : *«Et si on en fait une et si on dit que c'est le constructeur qui l'a fournie.»*

Les stagiaires envisagent difficilement que leurs connaissances disciplinaires ne soient pas opérationnelles pour gérer le TP-problème. Pour éviter tout conflit déstabilisant, ils évitent de les mettre à l'épreuve dans l'analyse des argumentations qui interviennent en dialogue de classe. En fait, si les stagiaires ne disposent pas des connaissances nécessaires pour argumenter, c'est qu'ils se sont toujours situés dans un cadre où ils n'en ont pas eu besoin, soit en tant qu'étudiants, soit en tant qu'enseignants dans les séances qu'ils conduisent habituellement en classe. Le lien est étroit, comme le font remarquer J. Désautels & M. Laroche, entre conception de la science et pédagogie : *«La représentation de la science que se font les enseignants oriente, au moins en partie, les stratégies pédagogiques qu'ils mettent en oeuvre dans la classe et dans le laboratoire»* (Laroche & Desautels, 1993, p. 55).

4.3.2. Des conceptions d'ordre pédagogique

Il est difficile, pour les stagiaires, d'envisager que leurs élèves élaborent eux-mêmes une situation expérimentale. De même, par crainte de l'imprévu ou d'une exploitation difficile dans l'immédiat, ils envisagent difficilement de tenir compte des connaissances préalables de leurs élèves. Dans le dialogue qui suit, extrait d'une séance de confrontation des analyses, les deux premiers stagiaires reconnaissent que les questions et suggestions de leurs élèves les ont parfois gênés, car ils ont manqué, sur le champ, des connaissances nécessaires ; en réponse à ces remarques, pour ne pas être confronté aux suggestions délicates de ses élèves, le troisième stagiaire décrit une procédure d'évitement qui consiste à les mettre tout de suite en défaut :

Stagiaire 1 : *«Moi, je n'ai pas vraiment répondu à toutes les questions d'élèves parce que je ne connaissais pas vraiment la réponse.»*

Stagiaire 2 : *«Moi aussi, quand un élève m'a parlé de transistor, c'était pareil.»*

Stagiaire 3 : *«Tu leur demandes de t'expliquer : tu le bloques, s'il te bloque.»*

Donc les stagiaires conçoivent mal de faire résoudre des problèmes expérimentaux où les élèves testeraient la fonctionnalité de leurs connaissances. La situation-problème n'est pas une situation de classe qui paraisse raisonnablement imaginable et gérable. C'est ce qu'exprime l'un d'eux par la suite, en reconnaissant ses difficultés à imaginer une situation-problème et à guider les élèves sans leur dire tout ce qu'ils doivent faire :

Un stagiaire : *«C'est ça, le problème : comment amener les élèves à faire quelque chose en TP; c'est ça, notre problème, c'est de leur poser un problème ! (...)*

Comment faire pour que les élèves ne s'appuient que de manière minimum sur le savoir de l'enseignant ? Peut-être en jouant, pour le professeur, le rôle de candide total : je ne sais pas, moi, je cherche en même temps que vous.»

Le stagiaire ci-dessus ne peut envisager d'autre méthode que d'enseigner par imitation : pour justifier aux élèves qu'il ne leur dit pas immédiatement ce qu'ils doivent faire ou savoir, il ne peut que faire semblant de ne pas savoir. Pour les inciter à chercher, il leur demande alors de l'imiter.

Le rôle du professeur étant de transmettre son savoir, il n'est pas nécessaire de faire en sorte que les élèves construisent ce savoir (puisque le professeur le met à leur disposition), ni de prendre du temps pour cette élaboration. Il n'est pas utile non plus de tenir compte de leurs connaissances préalables, sans doute peu fiables. Le professeur communique son savoir sous une forme établie et claire, qui doit permettre à l'élève de tout comprendre. C'est ainsi que s'exprime un des stagiaires dans son analyse de séances de TP, et le mot «message» qu'il emploie évoque bien un discours à sens unique, du professeur vers l'élève, récepteur du savoir.

«Au lieu de se baser sur les acquis antérieurs (des élèves), il serait bon de rappeler souvent les notions fondamentales de notre enseignement et l'utilisation pratique de ces notions. Ainsi, nous devons anticiper les questions et répéter un grand nombre de fois le même message jusqu'à ce qu'on soit sûr d'avoir été compris. En d'autres termes, un élève qui a bien acquis les notions rencontrées dans les chapitres antérieurs ne doit pas trouver de difficulté à mener à bien cette séquence.»

Si la transmission du savoir, du professeur vers l'élève, est conçue ainsi de façon frontale, les questions qui pourraient guider les élèves dans leur raisonnement paraissent difficiles à imaginer. Les stagiaires préfèrent éviter, autant que possible, la manifestation des erreurs de leurs élèves ainsi que leurs questions, car elles apparaissent comme une manifestation d'un dysfonctionnement de leur cours, cours qui n'aurait pas été assez clair et précis. Ils cherchent donc, tout comme le stagiaire cité précédemment, à anticiper les questions des élèves et à placer ces derniers dans des situations où ils n'auront pas la possibilité de se tromper, ce qui élimine toute étape de tâtonnement et de recherche en classe. Il faut noter cependant que lorsqu'ils sont confrontés à certains types d'erreurs en relation avec les

conceptions erronées des élèves, ils peuvent envisager de les exploiter ; sans doute ne se sentent-ils pas, dans ce cas, responsables d'erreurs dues à des conceptions préalables.

Un phénomène fréquent : «l'élève-alibi»

Ainsi, les conceptions, aussi bien épistémologiques que pédagogiques, qui entrent en jeu dans la pratique de classe constituent-elles un réseau étroit et s'étayent-elles les unes les autres. Celles qui concernent les élèves, en particulier, interviennent pour éviter toute remise en cause des conceptions d'ordre épistémologique : c'est ce que nous appelons le phénomène de «l'élève-alibi». Il se manifeste dans toutes les circonstances où les stagiaires utilisent les élèves pour éviter de remettre en cause certaines de leurs conceptions de la physique, comme la validité universelle des modèles, par exemple, dans le cas suivant :

Extrait de séance de confrontation des analyses :

Le formateur : *«Mais le modèle ne s'applique pas forcément dans toutes les conditions.»*

Un stagiaire : *«Comment dire, je suis un peu réticent par rapport à ce genre de chose. Ils (les élèves) ont pas mal de choses à retenir. Si on commence à les embrouiller tout le temps en disant : ça ne marche pas tout le temps... je ne sais pas ce qui va en sortir, à la fin.»*

D'après les stagiaires, le besoin de certitude des élèves ferait en sorte que la limite de la validité d'un modèle serait un obstacle à l'apprentissage. De même, un autre (le stagiaire¹ ci-après), qui utilise lui-même, en cours, le raisonnement séquentiel pour décrire les propriétés du courant électrique, justifie sa pratique en assurant que les élèves ne pourraient comprendre autrement.

Autre extrait de la séance de confrontation des analyses :

Stagiaire 1 : *«Si on a un élève qui essaie de faire un exercice au tableau et qui sèche, moi, je lui fais visualiser (par une flèche) le courant qui circule et s'arrête (à l'interrupteur ouvert). Comment faire autrement ?»*

Stagiaire 2 : *« Il vaut mieux lui dire dès le début que le courant ne passe pas... qu'il ne part pas.»*

Stagiaire 1 : *«Il ne comprendra pas, à mon avis.»*

Un conflit institutionnel

Ainsi, même si quelques domaines de la gestion de classe peuvent être source d'interrogation pour les stagiaires, ils sont peu nombreux à donner lieu à une démarche prospective. Car, en même temps qu'ils mettent en cause certains points des pratiques habituelles des stagiaires, tout autre type de conduite de classe apparaît à ces derniers comme difficilement gérable. Et pourtant, dans le courant de la séance de TP, suivant en cela les règles du jeu fixées par le formateur, ces enseignants débutants ont, pour la plupart d'entre eux, conduit sans difficulté particulière la confrontation des schémas proposés par les élèves ainsi que leurs échanges à propos des divers composants à utiliser dans le circuit. Si, malgré cette réussite, ils envisagent difficilement de poser aux élèves un problème d'ordre expérimental, c'est qu'ils n'ont pas de référence de ce type de situation sur les lieux mêmes de leur stage. Les pratiques que peuvent concevoir les stagiaires sont en effet fortement inspirées de celles de leurs tuteurs, conseillers pédagogiques. Or ceux-ci, dans le cadre de notre expérimentation, utilisent essentiellement des protocoles expérimentaux très guidés et à caractère transmissif. Les stagiaires se conforment, en général, aux pratiques de leurs tuteurs, d'autant plus qu'au niveau institutionnel, ces derniers sont juges de leurs compétences pédagogiques sur le terrain. Ils sont alors confrontés à un conflit d'ordre institutionnel entre les objectifs visés par la formation (qui préconise une diversification des pratiques) et ceux de leurs conseillers pédagogiques.

5. CONCLUSION

Le travail de recherche présenté ici vise, rappelons-le, à apporter des informations sur la possibilité d'utiliser les méthodes d'analyse de la didactique en formation professionnelle. Les résultats montrent que la situation de TP-problèmes, telle qu'elle a été construite dans un but de formation, est bien opérationnelle : elle est en effet révélatrice, pour les stagiaires, de conceptions que les élèves ont des propriétés du courant, ou de difficultés qu'ils éprouvent à exploiter les données expérimentales, et ceci sans artifices, dans le déroulement même de la séance de TP. Les choix faits pour le rôle de la didactique, comme outil de formation aidant à la lecture de situations d'enseignement effectives, se révèlent pertinents dans la mesure où ils conduisent les stagiaires à identifier certaines difficultés de leurs élèves, qu'ils ne soupçonnaient pas, à s'interroger sur les conditions d'un apprentissage efficace, et à s'engager dans une réflexion critique sur les processus d'enseignement.

Nous avons montré, cependant, que la réalisation des choix de formation se heurte à des limites : la situation de formation, si elle est bien prétexte à faire exprimer aux stagiaires leurs conceptions et à se questionner sur leur pratique, n'ouvre pas vraiment sur une réflexion dans le domaine disciplinaire, ce qui les empêche de progresser et d'envisager une diversification dans la conduite de classe. Une pratique réflexive menée à partir de l'exploitation didactique d'une séance de résolution de problèmes expérimentaux, conduit en effet à remettre en cause, non seulement le statut de certaines connaissances, mais encore les modèles d'enseignement que donne l'environnement professionnel. Elle passe alors nécessairement par une évolution des conceptions des stagiaires sur l'enseignement de la physique et sur la physique elle-même. Les résultats de cette recherche montrent que c'est un bouleversement qui ne peut se faire, certes, en quelques heures de formation, mais que la gestion et l'analyse de situations différentes des pratiques habituelles peuvent constituer une amorce à une réflexion pédagogique. Une réflexion n'est sans doute pas suffisante en soi, mais peut avoir des retombées à plus longue échéance, fournissant aux stagiaires des éléments de base et quelques outils pour construire des situations de classe interactives ou tenir compte, dans leur pratique, de l'analyse des propos et des erreurs de leurs élèves. Le fait que tous les obstacles n'aient pas été surmontés en quelques heures de formation ne signifie sans doute pas que les choix de départ doivent être abandonnés. Les conditions nécessaires pour qu'ils soient un jour surmontés ont été créées.

Enfin, et en conclusion, les résultats confirment que c'est bien l'association nécessaire et harmonisée des réflexions sur les trois domaines que sont la discipline, l'apprentissage des élèves et la conduite de classe qui peut permettre à des enseignants débutants de progresser professionnellement.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLET M. (1994). *La formation professionnelle des enseignants*. Paris, PUF.
- AMADE-ESCOT C. (1992). Contribution à la modélisation des phénomènes de formation à la didactique. *Recherches en didactique : contribution à la formation des maîtres*. Paris, INRP, pp. 209-217.
- BRENASIN J. (1993). Signification de la mesure en sciences expérimentales. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 740, pp. 75-85.
- CHARLIER E. (1989). *Planifier un cours*. Bruxelles, De Boeck.
- CLOSSET J.-L. (1989). Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *Bulletin de l'Union de Physiciens*, n° 716, pp. 931-949.
- COELHO S. (1992). *Contribution à l'étude didactique du mesurage en Physique dans l'enseignement secondaire : description et analyse de l'activité intellectuelle et pratique*

- des élèves et des enseignants*. Thèse de doctorat en didactique des Sciences. Paris, Université Paris 7.
- GIORDAN A. & DE VECCHI G. (1990). *La construction du savoir*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
- JOHSUA S. & DUPIN, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des Sciences et des Mathématiques*. Paris, PUF.
- LAROCHELLE M. & DESAUTELS J. (1993). La formation à l'enseignement des Sciences : le virage épistémologique. *Didaskalia*, n° 1, pp. 49-68.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993). *Construire des concepts en Physique*. Paris, Hachette.
- MARTINAND J.-L. (1994). La didactique des sciences et de la technologie et la formation des enseignants. *Aster*, n° 19, pp. 61-76.
- SAINT-GEORGES M. (1996a). Place et rôle de la didactique dans la formation des professeurs de sciences physiques. *Les cahiers du CeRF* n° 4, pp. 339-344.
- SAINT-GEORGES M. (1996b). *Formation des professeurs de sciences physiques par la didactique*. Thèse de doctorat en didactique des sciences. Paris, Université Paris 7.
- SÉRÉ M.-G. (1993). Le déterminisme et le hasard dans la tête des élèves. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 740, pp. 87-96.



Raisonnements simples d'étudiants et de lycéens à propos du plan incliné

Secondary school and university students' simple reasoning about inclined plane

Richard LEFÈVRE

Laboratoire d'Études des Méthodes Modernes d'Enseignement
Bâtiment 3R2
Université Paul Sabatier
31062 Toulouse cedex 4, France.

Pierre ALLEVY

École Ste Marie
13 boulevard Carnot
81000 Albi, France.

Résumé

Ce travail propose un modèle cognitif simple permettant de représenter les connaissances des lycéens de classe terminale scientifique et des étudiants de première année universitaire, à propos du plan incliné. La notion de «schéma de connaissance» nous a conduits à stratifier en plusieurs niveaux de modélisation les schémas construits par les élèves. Une description particulière de ces niveaux est présentée, à partir des réponses données à des questions posées au cours

d'entretiens individuels ou de tests écrits. Quelques interprétations utiles pour l'enseignement en sont tirées.

Mots clés : *plan incliné, schémas de connaissance, modèle enseigné, modèle appris.*

Abstract

The aim of this study is to test an elementary cognitive model representing graphically the scientific models learned by students achieving the secondary course, or beginning the university. It is supported by an apparatus called «the inclined plane». The building blocks of cognition constructed by students are stratified into several levels. The description of these levels are specified from individual interviews responses or tests responses. Some useful interpretations for teaching are dropped out.

Key words : *inclined plane, building blocks of cognition, taught model, learned model.*

Resumen

Este trabajo propone un modelo cognitivo simple permitiendo representar los conocimientos de estudiantes pertenecientes a la clase terminal científica y de aquellos del primer año universitario, a propósito del plano inclinado. La noción de «esquema de conocimiento» nos ha conducido a estratificar en varios niveles de modelización los esquemas construidos por los alumnos. Una descripción particular de estos niveles es presentada, a partir de las respuestas dadas a preguntas planteadas en el transcurso de entrevistas individuales o de pruebas escritas. Algunas interpretaciones útiles para la enseñanza han sido generadas.

Palabras claves : *Plan inclinado, esquemas de conocimiento, modelo enseñado, modelo aprendido.*

1. INTRODUCTION

La plupart des travaux de didactique en physique montrent l'existence de conceptions naïves chez les élèves et les étudiants, qui perdurent au cours de la scolarité. Cela est particulièrement vrai en mécanique, qui est certainement l'un des domaines de la physique ayant donné lieu au plus grand nombre de recherches sur ce thème. Les investigations que nous présentons dans ce qui suit n'apportent d'ailleurs pas de résultats expérimentaux vraiment nouveaux par rapport à ceux déjà publiés par de nombreux auteurs.

Nous avons cherché plutôt à modéliser les raisonnements simples développés par les élèves et les étudiants interrogés, en empruntant à la

psychologie cognitive la notion de **schéma de connaissance** proposée par Rumelhart (1978).

Les situations que nous avons utilisées mettent en œuvre un plan incliné, dispositif que les élèves de l'enseignement secondaire ont rencontré à diverses occasions au cours de leurs études en physique et dont on retrouve régulièrement des illustrations dans la vie quotidienne : descente en ski, montée ou descente d'une côte en bicyclette, etc. Une première étude exploratoire avait montré l'intérêt de l'étude de ce dispositif (Allevy, 1994). Bien que peu mentionné explicitement dans les programmes officiels de 1988, le plan incliné apparaît dans tous les manuels des classes de seconde, première et terminale scientifiques de l'époque (ces programmes ont été modifiés à partir de 1993). Dans le système français, ces classes correspondent aux 5^e, 6^e et 7^e années d'enseignement de la physique. En seconde, le plan incliné était l'occasion d'exercices traitant du bilan des forces et de l'équilibre statique. En première scientifique, l'aérobanc ou la table à mobiles autoporteurs illustraient les problèmes relatifs au travail des forces et aux théorèmes sur l'énergie (énergie cinétique, énergie mécanique). Enfin, on abordait, en terminale scientifique, le théorème du centre d'inertie $\Sigma \mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}_G$ (**nous noterons les grandeurs vectorielles en caractères gras**) que les élèves devaient savoir appliquer au plan incliné. Ce sont ces programmes que les élèves testés ont étudiés.

2. CADRE THÉORIQUE

Pour le physicien, le champ empirique est un espace dans lequel il manipule un certain nombre d'objets, et où il observe le déroulement de phénomènes. Ces objets et ces phénomènes sont repérés comme «intéressants», dans la mesure où ils permettent un questionnement fécond. Comme il ne peut pas rendre compte de l'ensemble des variables qui agissent sur ses objets d'études, le scientifique crée des modèles qui sont censés représenter les phénomènes observés (Halbwachs, 1974). La construction des modèles de la physique obéit à un certain nombre de règles : ces modèles sont souvent réducteurs, ils idéalisent les situations, ils ont un champ de validité borné et ne s'appliquent bien que sous certaines conditions qu'il faut toujours préciser.

Les objets et les phénomènes du champ empirique sont liés par un certain nombre de relations qui constituent la structure praxéologique de ce champ (Halbwachs, cité par Robardet & Guillaud, 1994, p. 80). Ces relations sont formalisées par des structures syntaxiques au niveau du modèle.

Certains modèles élaborés par les physiciens deviennent des objets d'enseignement. Nous désignerons dans la suite ces modèles de la

physique présentés dans le cadre scolaire, par les termes «**modèles enseignés**». Le travail effectué sur le modèle pour qu'il passe du statut de modèle savant au statut de modèle enseigné est l'objet de la transposition didactique.

La physique est enseignée à l'école, au collège, au lycée et à l'université en présentant successivement des modèles plus ou moins aboutis. Le cas de la diode à semi-conducteur, étudié par Martinand (1995), montre bien comment un même objet peut être présenté avec différents degrés d'approximation. Ces degrés d'approximation peuvent être reliés à différents niveaux de scolarité.

Si l'apprentissage est effectif, on peut penser que les modèles enseignés donnent lieu, chez l'élève, à l'élaboration de structures mentales «à peu près homomorphes» à ces modèles enseignés. Nous considérerons que l'image du modèle enseigné, construite chez l'apprenant, constitue le **modèle appris**.

À chacune de ces étapes, les relations se réorganisent, souvent dans le sens de la simplification, d'où notre proposition d'ensembles «à peu près homomorphes».

Les structures construites chez l'apprenant ne sont pas aussi facilement repérables que celles qui sont présentes dans le modèle enseigné : elles représentent ce que l'élève a compris du modèle enseigné. Il existe donc des écarts entre modèle enseigné et modèle appris.

Nous reprendrons le terme de **schéma de connaissance**, emprunté à Rumelhart (1978), pour désigner cette structure particulière de connaissance. Chaque modèle appris constitue un schéma de connaissance particulier. Ces schémas peuvent être plus ou moins complexes, selon le degré de complexité du modèle appris. Selon Rumelhart, les schémas sont des **blocs de connaissance construits** (Building Blocks of Cognition), c'est-à-dire des structures qui comportent des relations. Ces relations font intervenir des variables (quantitatives, qualitatives ou logiques) dont les valeurs ne sont pas fixées. Ce sont les instanciations de ces schémas dans des situations particulières qui fixeront les valeurs de ces variables. Prenons un exemple élémentaire : le schéma «*acheter un produit*» met en relation un acheteur, un vendeur, de l'argent, un produit et une négociation. Le prix de vente peut prendre différentes valeurs (variable quantitative), la négociation peut être inexistante ou être l'objet de longs palabres (variable qualitative), etc. Une relation classique de ce schéma est la suivante : plus le produit a de la valeur, plus il faut d'argent pour l'acheter.

Les schémas de connaissance peuvent être comparés aux **schèmes** proposés par Piaget (1967) et spécifiés par Vergnaud (1987) qui les décrit comme des structures mentales invariantes pour des classes de situations données. Ils s'en distinguent cependant par le fait que les schémas existent

indépendamment des situations. Ce sont des structures qui sont en attente d'instanciation : selon le contexte, certains schémas particuliers sont instanciés par le sujet. Une situation particulière va donner des valeurs spécifiques aux variables constituant le schéma. Une autre situation donnera d'autres valeurs à ces variables.

Comme les schèmes, les schémas sont très adhérents aux situations au cours desquelles ils ont été élaborés initialement ; ces situations acquièrent un statut de prototype : elles représentent en fait une classe de situations (Richard, 1990, parle de «*représentation particularisée de situation*»). Mais si les schèmes restent très liés aux actions du sujet, le schéma peut s'en distancier ; «*sauter à la perche*» constitue un schème chez un sujet ayant pratiqué cette activité, mais le schéma correspondant peut exister avant même que le sujet tente son premier saut.

On peut inférer l'utilisation de schémas lorsque le sujet s'exprime à l'aide d'un certain nombre de langages symboliques, qui peuvent être mathématiques, verbaux, graphiques, gestuels ou autres.

2.1. Un modèle cognitif élémentaire de l'élève

Nous allons maintenant proposer une modélisation simple du fonctionnement cognitif de l'élève, en identifiant les schémas de connaissance avec les modèles appris. Il est évident que beaucoup d'autres schémas existent, en dehors des modèles appris, mais cette option nous paraît raisonnable dans la mesure où nous visons la description de situations simples. Nous prenons le parti de représenter graphiquement les différents schémas de connaissance à l'aide d'éléments géométriques élémentaires (par exemple : un cercle). Ceci permettra de les situer les uns par rapport aux autres, les distances entre les cercles figurant les schémas étant représentatives de leurs éloignements relatifs, sans que nous puissions quantifier cette distance avec précision. Notre point de vue est qualitatif et développé dans le but de conduire les interprétations les plus simples possibles.

Pour un niveau de scolarité donné, nous regrouperons graphiquement ces différents schémas dans un plan horizontal P_0 (figure 1), que nous nommerons **niveau de modélisation**.

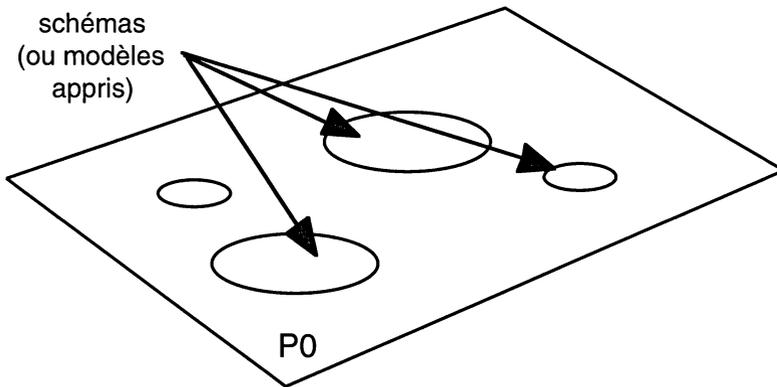


Figure 1 : Niveau de modélisation représenté par un plan

Ce niveau accueille des structures syntaxiques plus ou moins rigoureuses selon le degré de compréhension du modèle enseigné ; lorsqu'elles sont construites chez l'élève, ces structures sont plus ou moins solides, en fonction des circonstances de leur élaboration, de leur fréquence d'utilisation, de leur pertinence à résoudre certaines difficultés, de l'habitude à les utiliser, etc.

Nous représenterons les situations étudiées en classe par des axes orthogonaux au plan de modélisation P_0 (figure 2).

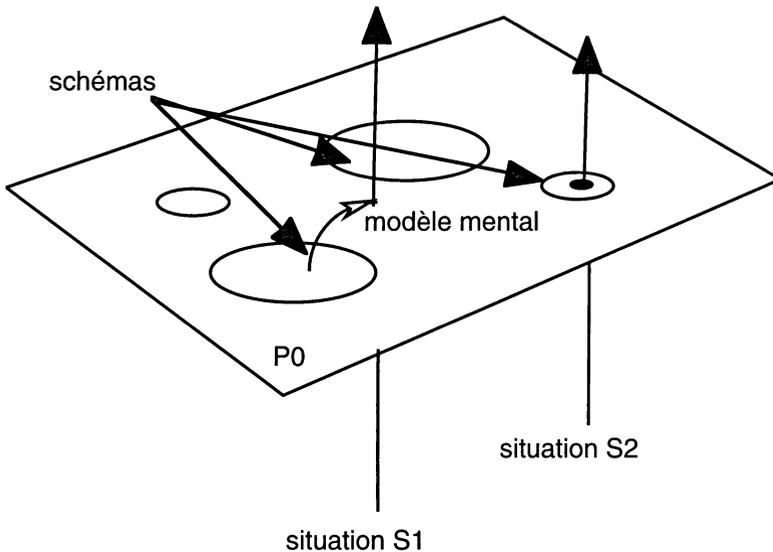


Figure 2 : Représentation graphique des situations et du niveau de modélisation P_0

Par «situation», nous comprenons les propositions de l'enseignant ou du manuel scolaire pour présenter le phénomène, pour en faire la monstration (Johsua S. & Johsua M.-A., 1987), ou même pour le considérer et le traiter sans qu'il y ait eu nécessairement manipulation dans le champ empirique (à l'occasion d'un exercice, par exemple).

Soient S_1, S_2, \dots les différentes situations possibles. Leurs intersections avec le niveau de modélisation P_0 sont plus ou moins proches de certains schémas. Ainsi lorsqu'un élève sera confronté à la situation S_1 , il instanciera certains schémas pour la traiter ; ce seront souvent les plus familiers. Cette instanciation d'un schéma de connaissance dans une situation particulière est représentée sur les figures par une flèche courbe. L'intersection axe-plan (situation-niveau de modélisation) constitue, pour nous, un **modèle mental**, au sens que Johnson-Laird (1983, 1993) a donné à ce terme, dans le cadre d'études de textes littéraires.

En général, le contrat didactique invite l'enseignant à proposer des situations qui sont en adéquation avec les schémas (situation S_2 , sur la figure 2). Si, au contraire, la situation est trop «exotique», elle perce le plan de modélisation en un point éloigné des schémas familiers et elle pourra ne pas être traitée par l'élève, soit parce qu'elle n'est pas reconnue comme appartenant à la classe des situations «traitables», soit parce que le schéma est trop éloigné de l'intersection situation-plan de modélisation (situation S_1 sur la figure 2). L'instanciation du schéma ne se fait pas, ou, en d'autres termes, l'élève ne sait pas quel modèle appris il doit utiliser pour traiter la situation. On peut penser que les élèves «forts» vont réorganiser les schémas disponibles pour traiter la situation, ce qui demande un effort d'adaptation. Ceci les distinguera des élèves «moyens» qui traitent facilement les situations classiques, mais ne font pas cet effort d'adaptation.

2.2. Des niveaux de modélisation hiérarchisés

Les différents modèles enseignés sont généralement hiérarchisés. En mécanique, par exemple, le modèle du point matériel est enseigné avant le modèle du solide. On continue par l'étude de solides indéformables avant d'étudier les solides rigides articulés, puis on s'intéresse aux solides déformables, élastiques, etc. Ces différents modèles, lorsqu'ils sont appris, donnent ainsi naissance à des schémas répartis dans des niveaux de modélisation hiérarchisés ; les plus élevés contiennent les schémas les plus complexes, permettant de traiter avec plus de raffinement les mêmes situations que le niveau P_0 (figure 3).

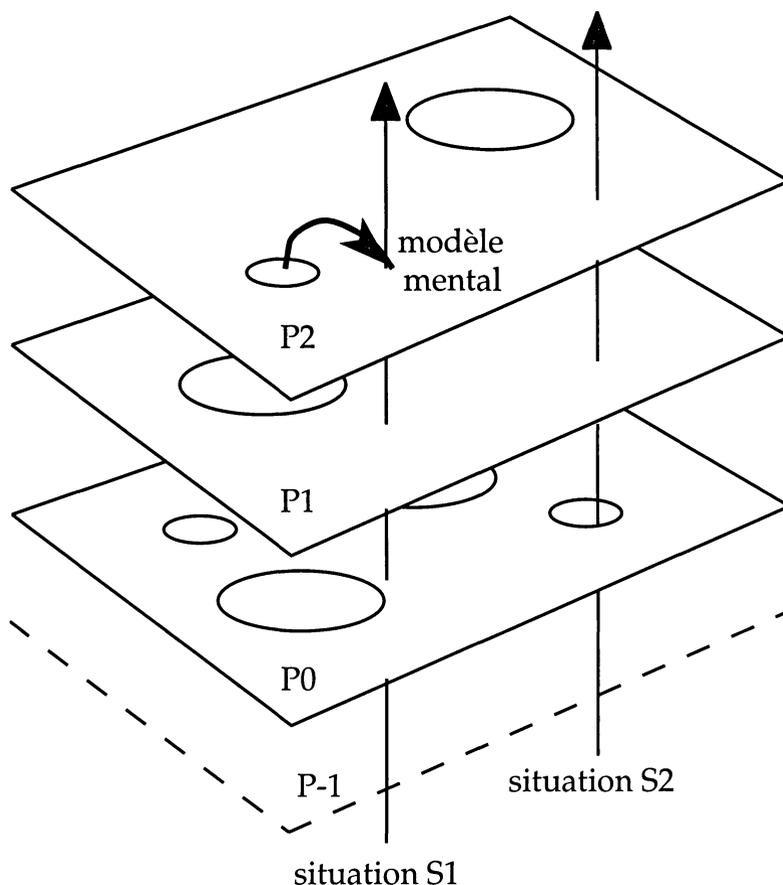


Figure 3 : Représentation symbolique des situations et des niveaux possibles de modélisation

Lorsqu'une même situation peut être «expliquée» par différents niveaux, il est intéressant de voir quel est le modèle mental (intersection situation-niveau de modélisation) qui est privilégié par l'élève. Notre modèle cognitif prend ainsi, graphiquement, l'allure d'un feuilleteur hiérarchisé contenant les différents schémas de connaissance construits au cours de la scolarité d'un élève. Les plans P_0, P_1, P_2, \dots , peuvent correspondre, en première approximation, à des années de scolarité. Tel modèle est appris en seconde, tel autre en première, etc.

On peut aussi envisager l'existence d'un niveau de modélisation P_{-1} , constitué des schémas construits à l'occasion des expériences personnelles du sujet en dehors du système d'enseignement *stricto sensu*; les didacticiens ont quelquefois appelé «représentations spontanées» ces schémas construits dans des situations non didactiques.

Notons également que le terme de **niveau de modélisation** n'est pas nouveau en didactique des sciences physiques : A. Tiberghien (1994) propose une approche de la modélisation par les élèves sous forme de «niveaux» qui représentent plutôt des registres de référence (théorie, modèle, champ empirique). Le processus de modélisation étudié par cet auteur aboutit à l'élaboration, par l'élève, de modèles internes de raisonnement qui ne sont pas nécessairement, comme dans notre proposition, isomorphes aux modèles enseignés.

Nous allons maintenant contextualiser le modèle cognitif proposé dans quelques situations élémentaires de mécanique, et nous en servir pour conduire quelques interprétations.

3. SITUATION N°1 : SOLIDE SUR UN PLAN INCLINÉ

La situation choisie est très classique : un solide descend en glissant sans frottement le long de la ligne de plus grande pente d'un plan incliné après avoir été libéré sans vitesse initiale. On peut réaliser ces conditions expérimentalement en utilisant un aérobanc incliné ; le mobile se déplace alors sur un «coussin d'air». Sur la figure 4, nous avons représenté ce coussin d'air en laissant un espace entre le mobile et le support. Cette représentation est conforme à la majorité de celles que l'on trouve dans les manuels scolaires (voir par exemple : Baurant et al., 1987 ; Fontaine & Tomasino, 1987 ; Hébert et al., 1984).

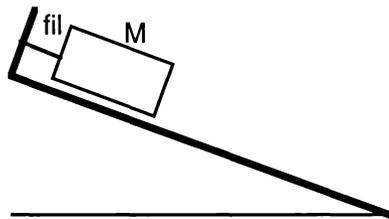


Figure 4 : Solide glissant sans frottement

L'analyse physique qui est faite de cette situation est la suivante : le mobile, une fois libéré de l'action du fil qui le retient, n'est plus soumis qu'à son poids **P**, constant, vertical dirigé vers le bas, et à l'action **R** de l'aérobanc sur le solide, constante et perpendiculaire à la surface de contact. La résultante de ces forces est (figure 5) :

$$\mathbf{F} = \mathbf{P} + \mathbf{R}$$

Sous l'action de ces forces, le mobile est animé d'un mouvement dont l'accélération est a_G (G est le centre d'inertie du mobile). Le théorème du centre d'inertie s'écrit :

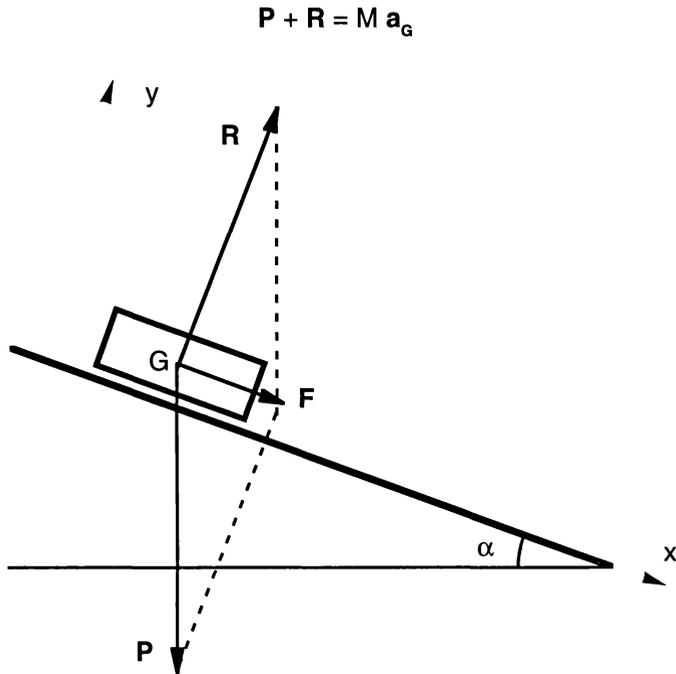


Figure 5 : Forces agissant sur le solide et résultante F (l'action R du plan a été reportée au centre de masse G pour les besoins de la construction)

On peut en déduire l'accélération du mouvement :

$$a_G = g \sin \alpha \text{ (g est l'intensité de la pesanteur)}$$

L'accélération est donc constante au cours du mouvement. La vitesse atteinte par le mobile en un point d'abscisse x est donnée par l'expression $v^2 = 2 a_G x$. Soit :

$$v = (2 g x \sin \alpha)^{1/2}$$

où l'on constate que la vitesse ne dépend pas de la masse du mobile. Dans ces conditions, des solides de masses différentes atteindront le bas du plan avec la même vitesse. On peut dire aussi que les temps de parcours de solides de masses différentes seront les mêmes.

3.1. Recueil des données

Nous avons demandé à des élèves, au cours d'entretiens individuels, de prévoir et de décrire le mouvement du mobile, placé sur un aérobanc incliné, lorsqu'on brûle le fil qui le retient. Nous ne disposions pas de matériel expérimental, le support utilisé pour les entretiens était le dessin de la figure 4.

Au cours de ces entretiens, nous avons posé à chaque élève les questions suivantes :

- «*Que se passe-t-il lorsqu'on abandonne sans vitesse initiale le mobile en haut du plan incliné ?*»
- «*Que peut-on dire à propos de son mouvement ?*»
- «*Justifier.*»

Onze élèves de terminale D (scientifique), issus de deux lycées différents ont été interrogés. Les entretiens, d'une durée de 20 à 30 minutes chacun, ont eu lieu à la fin de l'enseignement de mécanique de leur programme de physique et se sont déroulés sur environ deux mois. L'intégralité des entretiens a été enregistrée, puis retranscrite. Les réponses des élèves s'appuyaient sur des dessins de la situation sur lesquels ils pouvaient faire figurer les forces. Les 11 élèves concernés, 8 garçons et 3 filles, seront désignés dans la suite par les lettres G (garçon) ou F (fille) suivies d'un numéro.

3.2. Utilisation des modèles cinématiques

On constate que, de façon très générale (9/11), les premiers éléments de réponse décrivent le mouvement du solide sans utilisation des modèles scientifiques :

G1 : «*Le solide va glisser sur le plan incliné.*»

G3 et F3 : «*Le mobile descend.*»

F2 : «*Cet objet va tomber.*»

Ces réponses relèvent du sens commun. L'interviewer n'étant pas reconnu comme un enseignant par les élèves interrogés, ces derniers peuvent très bien fournir ce genre de réponse, même si des réponses plus scientifiques sont disponibles.

Au cours de la progression des entretiens, une majorité d'élèves (8/11) indique le caractère **constant** de l'accélération du mobile. La justification avancée réside dans le fait que la vitesse augmente, sans réaliser que ce n'est pas une condition suffisante pour que l'accélération soit constante (tous, sauf un, indiquent de manière explicite le fait que la vitesse augmente).

G1 : *«S'il accélère, il va être uniformément accéléré.»*

Il est vrai que la quasi totalité des mouvements rectilignes accélérés que les élèves ont étudiés au lycée sont uniformément accélérés.

Enfin, 4 élèves précisent que le solide, immobile au départ, possède également une accélération nulle, ce qui ne leur paraît pas incompatible avec le fait qu'il va y avoir mise en mouvement.

G2 : *«Au départ, le mouvement est immobile. Donc, il n'y a pas d'accélération, il n'y a pas de vitesse.»*

On repère des difficultés de séparation des vecteurs vitesse et accélération :

G4 : *«L'accélération, on fait la différence de vitesse sur le temps. Elle peut varier parce que le solide, il a ... sa vitesse augmente. Ou bien, c'est que l'accélération est une constante et sa vitesse doit être constante, alors.»*

G5 : *«Le vecteur accélération doit suivre le mouvement.»*

3.3. Utilisation des modèles dynamiques

Lorsqu'on demande aux élèves de préciser leur opinion au sujet des forces responsables du mouvement, l'analyse dynamique qu'ils font de la situation peut se résumer de la façon qui va suivre.

L'action du plan sur le solide (dite réaction), est parfois omise (3/11), ou bien considérée comme nulle (2/11). Les raisons invoquées sont :

– soit qu'il n'y a pas de frottements ;

G3 : *«La réaction, elle y est. Enfin, non. Il est autoporté.»*

– soit que cette force ne travaille pas, étant perpendiculaire au plan le long duquel se fait le mouvement.

G7 : *«Elle ne compte pas ! La réaction du support, elle est nulle puisqu'elle est perpendiculaire au déplacement.»*

En comparaison, le poids du solide semble valorisé par son rôle actif :

G7 : *«C'est une force qui travaille : si le solide accélère, c'est dû à son poids (...) qui l'entraîne plus rapidement. C'est-à-dire que son poids exerce un travail moteur.»*

Dans le cas de deux élèves (G4 et F2), nous avons constaté l'introduction d'une troisième force qui s'ajoute à \mathbf{P} et à \mathbf{R} , mais qui, en fin de compte, ne serait que la résultante $\mathbf{P} + \mathbf{R}$. Cette proposition offre l'avantage de présenter une force évidemment compatible avec le mouvement. Il leur est néanmoins difficile d'expliquer l'origine de cette force :

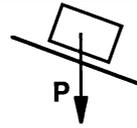
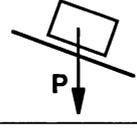
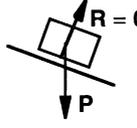
G4 : «Une force (...) due au mouvement du solide. Je ne vois pas comment l'expliquer.»

F2 : «Ben, **R**, c'est la réaction ... Non. C'est attiré ... Je ne sais pas comment le dire.»

On voit réapparaître cette force dans la deuxième partie de l'entretien :

F2 : «Il y aura une force, mais c'est la somme des ... Enfin, je veux dire, la force sera tangentielle ...»

Les principales réponses des 11 élèves interrogés oralement sont synthétisées dans le tableau 1.

	Mouvement rectiligne uniformément accéléré	La vitesse augmente	Relation accélération-vitesse	$A t = 0 :$	Bilan des forces
G1	OUI				
G2	OUI	OUI	$a = \frac{dv}{dt}$	$a = 0$ \Rightarrow $v = 0$	
G3	OUI	OUI		$v = 0$ et $a = g$	
G4		OUI	$a = \text{cte}$ \Rightarrow $v = \text{cte}$		
G5	OUI	OUI	variation de la vitesse	$v = 0$ \Rightarrow $a = 0$	
G6		OUI	variation de la vitesse	$v = 0$ \Rightarrow $a = 0$	
G7	OUI	OUI	$a = \frac{dv}{dt}$		

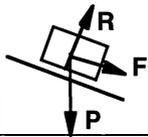
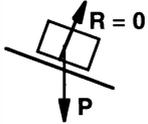
G8	OUI	OUI	$a = \frac{dv}{dt}$	$v = 0$ et $a = g$	
F1	OUI	OUI		a dépend de v	
F2				$a = 0$ \Rightarrow $v = 0$	
F3	OUI	OUI	$a = \frac{dv}{dt}$	$v = 0$ et $a = 0$	

Tableau 1 : Synthèse des réponses des élèves au cours des entretiens

3.4. Interprétation

Nous proposons maintenant une interprétation des réponses fournies par les élèves à ce problème généralement considéré comme facile, à l'aide de notre modèle feuilleté présenté au paragraphe 2. Nous considérerons deux situations :

- celle que nous étudions : un solide glissant sans frottement sur un plan incliné ;
- une situation de chute libre, prototype qui nous permet de faire des comparaisons avec la situation précédente.

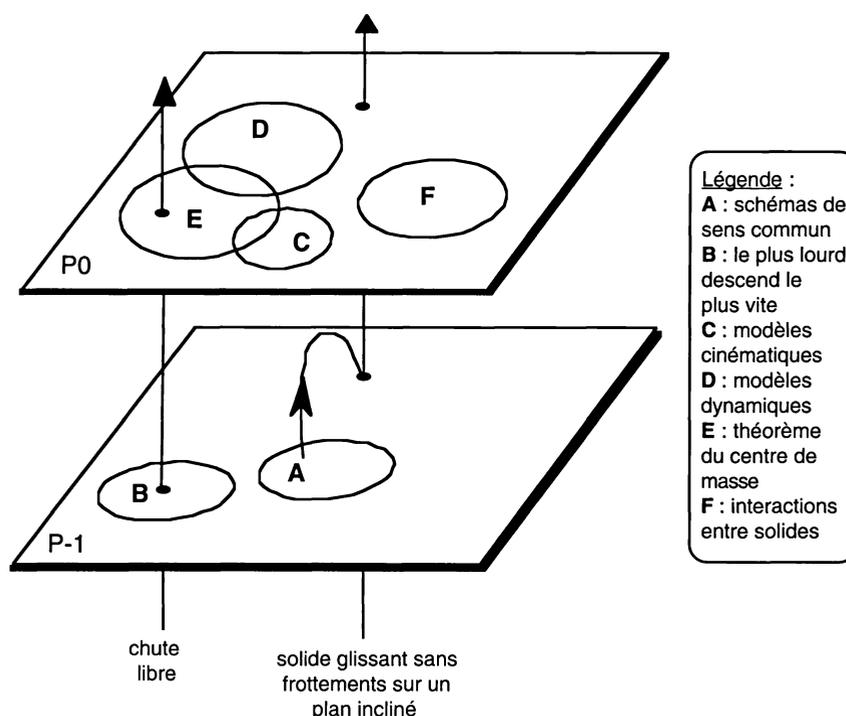


Figure 6 : Représentation des plans de modélisation pour la situation n° 1

Deux niveaux de modélisation peuvent être en cause (figure 6) : P_{-1} et P_0 .

– le niveau P_{-1} est celui des modèles naïfs, construits en dehors du système d'enseignement *stricto sensu*.

Nous pensons que les réponses très générales évoquées en 3.2. et 3.3. (*le solide va glisser sur le plan incliné ; le mobile descend, etc.*), la confusion possible entre force et vitesse, relèvent de schémas de connaissance élémentaires construits à l'occasion d'expériences personnelles des élèves, en dehors de tout contrat didactique. Nous situons ces schémas au niveau P_{-1} . Ils sont repérés par le cercle A.

En B, un schéma naïf classique : «le solide le plus lourd descend plus vite que le plus léger». Ce schéma se construit à partir de situations réelles, quand les frottements interviennent, mais peut aussi être intuitif. Comme nous le verrons dans la suite, ce schéma est instancié dans de nombreuses situations où se pose la question du rôle de la masse. La situation de chute libre est évidemment très adhérente au schéma B.

On constate que les explicitations demandées au cours des entretiens obligent les élèves à donner des réponses de niveau P_0 .

– le niveau P_0 est celui de la mécanique du point.

Il contient plusieurs schémas cinématiques et dynamiques : en C, le modèle de l'accélération comme taux de variation de la vitesse instantanée, $a = dv/dt$. En D, le modèle de la construction de la résultante de deux ou plusieurs forces. En E, le théorème du centre de masse. Aucun de ces schémas n'est correctement instancié dans la situation proposée.

On constate que ces modèles enseignés sont «détruits» :

– de la relation $a = dv/dt$, les élèves retiennent des inférences du type «si v augmente, alors a est constante», «à l'instant initial, $v = 0$ implique $a = 0$ et réciproquement» ;

– la construction de la résultante les amène à considérer la résultante comme une troisième force agissant sur le système.

Le théorème du centre de masse semble être acquis, mais son schéma est trop loin de la situation avec plan incliné, donc pas instancié.

Ces constatations nous ont amené à tracer l'axe représentant la situation étudiée (solide sur plan incliné) assez loin des schémas C, D et E.

4. SITUATION N°2 : SOLIDES LIÉS ENTRE EUX

On considère maintenant le cas de deux solides, (S) et (s), de masses différentes, respectivement M et m , reliés par un fil inextensible et sans masse, et dont on pourra intervertir les positions respectives (figure 7). Ces deux solides sont abandonnés sans vitesse initiale sur un plan incliné sans frottement (aérobanc).

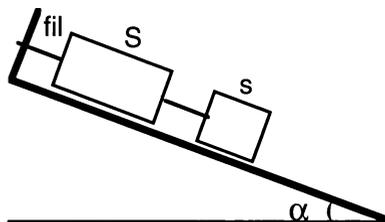


Figure 7 : Deux solides reliés par un fil et glissant sans frottement

Compte tenu du fait que les frottements sont négligeables, les mobiles placés sur le plan incliné sont animés tous deux de mouvements identiques au mouvement du mobile seul vu précédemment. En effet, le même raisonnement que celui tenu dans la question précédente peut être appliqué successivement aux solides (S) et (s).

Pour le solide (S), de masse M , on trouve $a_M = g \sin \alpha$ et pour le solide (s), de masse m : $a_m = g \sin \alpha$ également.

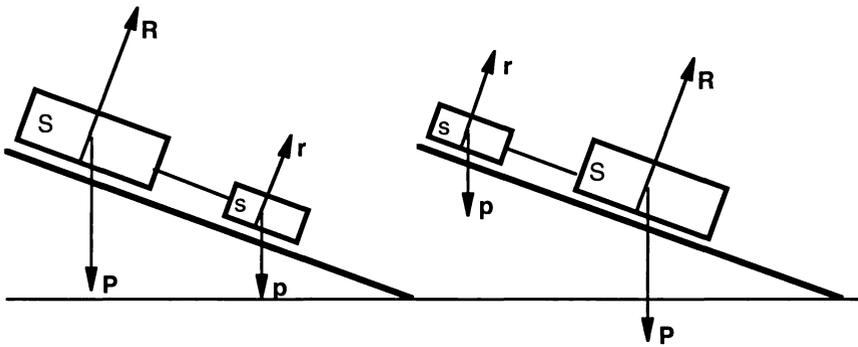


Figure 8 : Les deux situations expérimentales possibles

Une fois l'ensemble lâché, les deux mobiles se mettent en mouvement avec la même accélération, qui ne dépend pas de la masse. À tout instant, ils seront animés de la même vitesse et le fil qui les relie entre eux ne joue par conséquent aucun rôle, quelle que soit la façon dont les mobiles sont disposés entre eux (figure 8).

4.1. Recueil des données

Le fil joue ici un rôle perturbateur et permet de mettre à l'épreuve certains raisonnements tenus par les élèves. Pour les amener à préciser le rôle joué par le fil, on leur demande d'imaginer les mouvements du solide (S) tout seul et du même solide (S) lorsqu'on y a accroché le solide (s). Dans un premier temps, le solide le plus lourd est placé en amont, dans un deuxième, il est en aval. Enfin, pour certains élèves (F1, F3, G3), et dans le but de leur faire approfondir leurs raisonnements, on a même évoqué le cas où le solide le plus léger serait simplement posé sur le plus lourd. Les entretiens se sont déroulés sans matériel expérimental ; le support de questionnement utilisé est le dessin de la figure 7.

Les questions posées étaient les suivantes :

- «*Que se passe-t-il lorsqu'on abandonne sans vitesse initiale les deux solides reliés par un fil en haut du plan incliné, le plus léger en amont ?*»
- «*Qu'est-ce qui change si on place le plus lourd en amont ?*»
- «*Quel est le rôle du fil ?*»

4.2. Mouvement des solides

En étudiant les réponses obtenues au cours des entretiens, il ressort que, pour la majorité des élèves (8/11), le mobile le plus lourd va plus vite que le plus léger. Ceci est d'autant plus évident pour eux que le plus massif est situé en amont du plus léger.

G1 : *«Celui qui a la plus forte masse va rattraper celui qui a la plus faible. (...) Parce que le poids est plus important.»*

G6 : *«(S) étant plus lourd que (s), tous les deux vont avoir un mouvement rectiligne accéléré, mais (S) va sûrement rattraper (s).»*

De même pour l'association des deux :

F3 : *«Ils (le gros et le petit mobile) vont descendre plus vite (...) parce que la masse formée par les deux solides est plus importante.»*

Il semble que les élèves ne raisonnent qu'à partir du poids, qu'ils savent proportionnel à la masse, et non à partir de l'accélération qui, dans ce cas, ne dépend pas de la masse. C'est ainsi que l'on retrouve des raisonnements du type :

G8 : *«Tous les deux se déplacent (...) avec une accélération différente puisque l'accélération est en relation avec les forces, suivant la formule $F = m a$.»*

En fait, les élèves ne prennent plus en compte l'action **R** du plan sur le solide : 3 réponses seulement sur 11 mentionnent cette action du plan sur le solide (dont 1 pour signaler qu'elle est nulle) alors que, dans la situation précédente (un mobile sur le plan incliné), 8 élèves sur 11 la mentionnaient (2 indiquaient qu'elle était nulle). En aucun cas, il n'est fait mention de la relation vue en classe ($R = M g \cos \alpha$) entre cette action **R** et la masse du mobile.

Par contre, deux élèves, (G1 et G6), après avoir affirmé que le mouvement des deux solides sur le plan incliné n'est pas le même à cause de la différence des masses, soutiennent que si les solides étaient en chute libre, leurs mouvements seraient identiques car la masse n'intervient pas.

4.3. Rôle du fil de liaison

D'une manière générale, les élèves interrogés ont du mal à admettre que le fil, une fois les mobiles abandonnés, ne sert à rien.

G2 : *«Au départ, il est tendu. Après, il doit se resserrer, puisque ... ça va se rapprocher.»*

Ils ont plutôt tendance à attribuer un rôle actif à l'un ou à l'autre des solides.

Dans le cas où le solide (S) est en aval :

F3 : «*Le gros va entraîner le petit.*»

G8 : «*Le petit va freiner le grand.*»

On note fréquemment (F1, F3, G2, G4, G7) que le solide (S), le plus lourd, placé en amont, va rattraper, puis, éventuellement, pousser le plus léger et que, lorsqu'il est situé en aval, son rôle consiste à tirer le solide (s) qui, par conséquent, soit jouera le rôle de frein, soit ira plus vite que dans le cas précédent. La raison avancée reste l'influence du poids, donc de la masse, sur le mouvement des mobiles.

La plupart des élèves sont persuadés que, dans le cas où le solide (S) est en aval de (s), le fil reste tendu. Ils omettent cependant de tenir compte de la tension du fil dans le bilan des forces. L'action du fil sur les solides est un élément qui les dérange :

G3 : «*Normalement, les deux tensions sont les mêmes. [...] Et bé, elles vont s'annuler.*»

G6 : «*Je crois qu'elle n'est que d'un côté, la tension du fil.*»

Et même (G4) : «*Elle (la tension du fil) aura tendance à le pousser vers le haut, tiens !*»

Un élève propose une procédure de vérification expérimentale :

G5 : «*Oui, mais le fil ..., je ne sais pas si le fil exerce une force [...] Il faudrait pendant le trajet couper le fil pour voir si les deux s'écartent, se rapprochent ou continuent à la même distance.*»

Enfin, à la question : «*Le fil qui relie les deux masses, à quoi il sert ?*», la dernière élève interrogée (F3), répond : «*À nous faire tromper !* »

Les principales réponses aux questions posées au cours des entretiens sont résumées dans le tableau 2.

PLAN INCLINÉ	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	F1	F2	F3
Mouvements différents car poids (masses) différents	OUI	OUI	?	OUI		OUI	OUI	OUI	OUI	?	OUI
Un solide agit sur l'autre		OUI				OUI		OUI			OUI
Le fil exerce une action	OUI			OUI		OUI		OUI	OUI	?	OUI
Action du plan mentionnée		$R_n=0$						OUI	OUI		

Tableau 2 : Cas des deux solides reliés (résultats des entretiens)

4.4. Interprétation

Dans cette deuxième situation, on a pu constater que la grande majorité des élèves considère que le solide le plus lourd (S) descend le plan incliné plus rapidement que le plus léger (s). Pour eux, lorsque les mobiles sont reliés, soit le fil reste tendu lorsque (s) est en amont, soit (S) rattrape (s) lorsque ce dernier est en aval et le fil ne sert plus à rien.

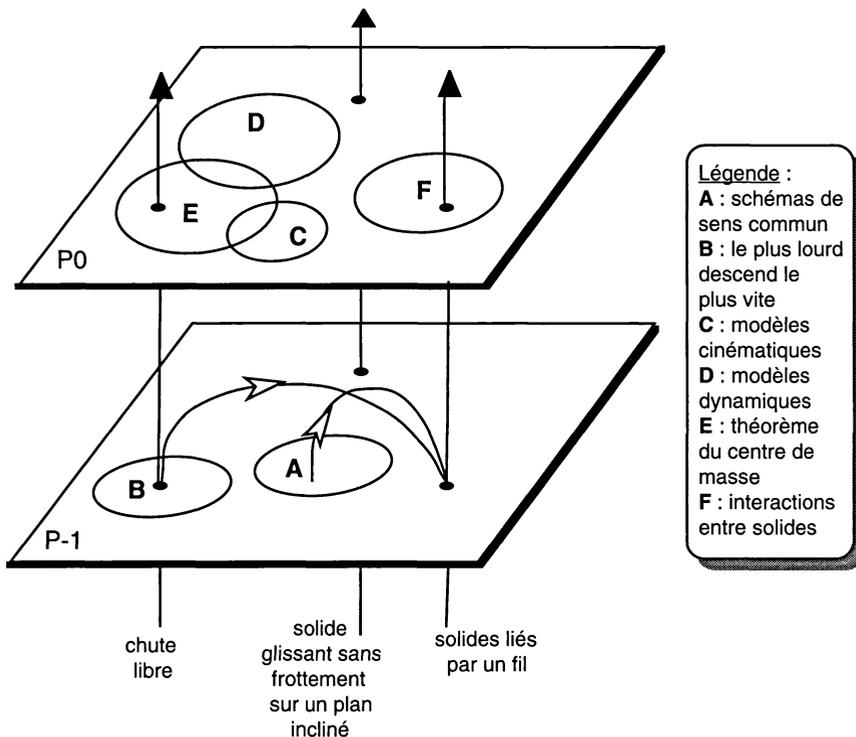


Figure 9 : Représentation des plans de modélisation pour la situation n°2

La représentation des plans de modélisation pour la situation n°2 est sensiblement la même que celle de la situation n°1 (figure 9). Nous avons figuré la nouvelle situation (solides liés par un fil) par un axe relativement éloigné des schémas existants. Il semble, en effet, qu'aucun des schémas disponibles ne soit proche de cette situation, ce qui rend leur instanciation difficile. Comme, de plus, les schémas présents sont relativement déstructurés, on ne doit pas être étonné du faible nombre d'interprétations correctes que les élèves sont en mesure de formuler :

– le niveau P_{-1} (modèles naïfs) est toujours bien présent, en particulier par son schéma B, «le plus lourd descend plus vite que le plus léger» qui est instancié dans pratiquement toutes les situations dans lesquelles des solides de masses différentes descendent des pentes, et par le schéma A traduisant la confusion entre force et vitesse ;

– le niveau P_0 est peu opératoire, bien que contenant les schémas suffisants pour interpréter la situation. On constate que les schémas «cinématiques» (C) ne sont plus instanciés pour laisser la place aux seuls schémas «dynamiques» (D et E), pour lesquels on note quelques rares instanciations. Le schéma F, correspondant à l'interaction entre solides, est celui qui est le plus mobilisé dans cette situation. Il permet d'expliquer les actions réciproques entre les solides glissants et le support, et l'interaction entre les deux solides *via* le fil de liaison (qui est nulle, comme nous l'avons montré). Comme c'est souvent le cas, ce schéma est instancié de manière incorrecte. D'une part, les élèves attribuent un rôle effectif au fil de liaison, d'autre part ils négligent complètement l'action du plan sur les mobiles.

5. SITUATION N°3 : PROBLÈME DE CHOCS

Nous avons souhaité proposer aux élèves une situation qui leur permettrait de développer des raisonnements simples, mais qui n'est pas étudiée dans le cadre scolaire. Nous avons choisi un problème de chocs afin de pointer les schémas qui seraient mobilisés dans ce cas.

Le problème, posé sous forme de question écrite, était libellé de la façon suivante :

Deux mobiles de masses différentes sont abandonnés à tour de rôle sans vitesse initiale depuis le haut d'un même plan incliné. Ils glissent sans frottements (figure 10).

Après un déplacement d le long du plan incliné, ils heurtent un obstacle fixe, fragile (brique, plaque de verre,...). On constate que le mobile le plus léger est arrêté par l'obstacle (éventuellement, il rebondit) alors que le plus lourd le brise.

Comment expliquez-vous cela ?

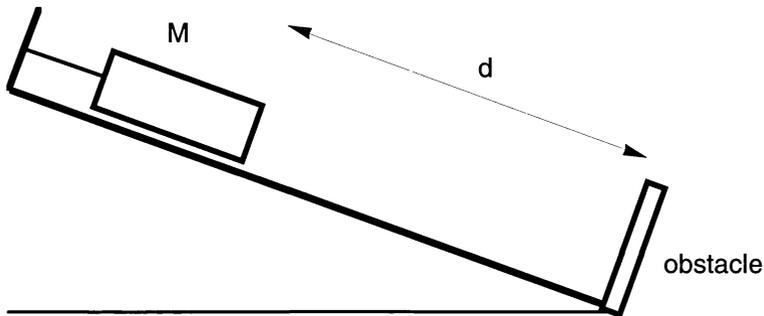


Figure 10 : Plan incliné avec obstacle

En «mécanique de la rupture», on peut interpréter la rupture de l'obstacle en termes d'énergie : énergie de rupture, caractéristique des dimensions et de la nature du matériau constituant l'obstacle, ou bien en termes de force : résistance de l'objet (à la compression, la traction, la flexion).

Dans le premier cas, l'obstacle se brise si l'énergie qu'il absorbe au cours du choc, énergie apportée par le mobile pendant une durée Δt suffisamment petite, est supérieure à son énergie de rupture.

Dans le deuxième cas, il est nécessaire de faire intervenir la notion d'impulsion, variation de la quantité de mouvement du projectile au cours de l'impact de durée Δt , et de la comparer à la résistance de l'obstacle.

5.1. Recueil des données

Répondre à cet exercice implique donc de décider de l'aspect, énergétique ou dynamique, du problème. Nous avons cherché dans les réponses en quels termes les élèves énoncent les conditions de rupture et pour quelles raisons le mobile le plus lourd arrive à briser l'obstacle et pas le mobile le plus léger.

Nous souhaitons repérer les ensembles de schémas relatifs soit à la notion d'énergie, soit à la notion de force, qui seraient mobilisés par les élèves, et éventuellement de pointer des recouvrements de ces ensembles.

Par exemple, si on considère l'énergie absorbée au cours du choc, l'obstacle doit être caractérisé par son énergie de rupture ; il faut la comparer à l'énergie acquise par chacun des mobiles.

Le problème a été posé, sous forme de test écrit, à 30 lycéens de terminale scientifique et 30 étudiants de première année d'université inscrits en DEUG A (diplôme décerné après les deux premières années d'études scientifiques à l'université). Dans ce qui suit, les lycéens seront désignés par la lettre (L) et les étudiants par (E). Les réponses ont fait l'objet d'une analyse de contenu thématique classique.

5.2. Force ou énergie ?

Le tableau 3 présente la synthèse des notions choisies par les répondants pour expliquer le problème.

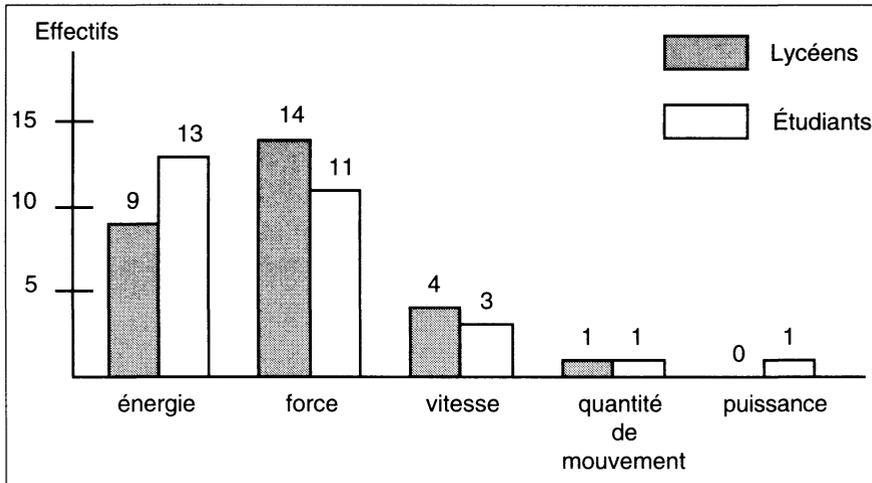


Tableau 3 : Synthèse des notions choisies par les répondants

Ce tableau montre effectivement que la voie «énergie» et la voie «force» apparaissent comme celles qui ont le plus séduit les élèves. On constate que 13 étudiants et 9 lycéens (38% des réponses) ont choisi de traiter ce problème sous l'angle de l'énergie et que 11 étudiants et 14 lycéens (43% des réponses) ont préféré l'aborder en termes de force ; 7 répondants (4L et 3E) en restent à un point de vue purement cinématique fondé sur la vitesse.

Détaillons chacun des deux ensembles, force ou énergie.

5.2.1. La force : point de vue dynamique

Dans les réponses en termes de force, on trouve des expressions telles que *la réaction*, *la résistance de l'obstacle*, *la force exercée par l'obstacle*, *la force acquise par le mobile*.

On peut lire également des expressions qui se rattachent à la notion de force : *impact moins violent, choc plus brutal, le solide va heurter l'obstacle plus doucement (ou plus violemment)*. Un étudiant fait mention d'une *force d'entraînement*.

Aucune des réponses utilisant ce point de vue n'est vraiment satisfaisante. Il est clair que la principale difficulté rencontrée consiste à déterminer l'origine de cette force «acquise» par le mobile et exercée sur l'obstacle. On peut y voir la manifestation de ce que Viennot (1979, 1996) appelle un «*capital de force*».

Ainsi, on constate différents groupes de réponses :

– cinq étudiants et huit lycéens indiquent que cette force est directement liée à la vitesse du mobile juste avant l'impact. Le raisonnement caractéristique chez ces élèves peut se résumer par : «*Si la masse est plus grande, alors la vitesse du mobile est plus élevée, donc la force (acquise ou exercée) est plus importante*» ;

– trois étudiants utilisent le théorème du centre d'inertie pour justifier le fait que la force exercée sur l'obstacle par le solide le plus lourd est plus importante. Par exemple :

$\Sigma F = m \cdot a$ donc, plus m est grand, plus ΣF est importante ou $T + P + R > M a$ (il semble que cet étudiant ait hésité entre $>$ et $=$) où T est la force exercée par l'obstacle ou encore, pour le mobile qui ne brise pas l'obstacle : $T + P + R = 0$;

– deux étudiants et un lycéen relient plus ou moins directement la force acquise par le mobile ou exercée par l'obstacle au poids du mobile : «*son poids est plus fort que la réaction créée par l'obstacle*» ou «*sa vitesse plus son poids vont détruire l'obstacle*» ;

– un étudiant et trois lycéens lient la force exercée sur l'obstacle à la masse des mobiles : «*la force exercée sur l'obstacle renforcée par la masse...*»

5.2.2. Point de vue énergétique

Comme le montre le tableau 3, sur les 60 répondants, 22 ont choisi la voie énergétique. Le tableau 4 donne la répartition des réponses de ces 22 répondants en fonction du type d'énergie invoqué.

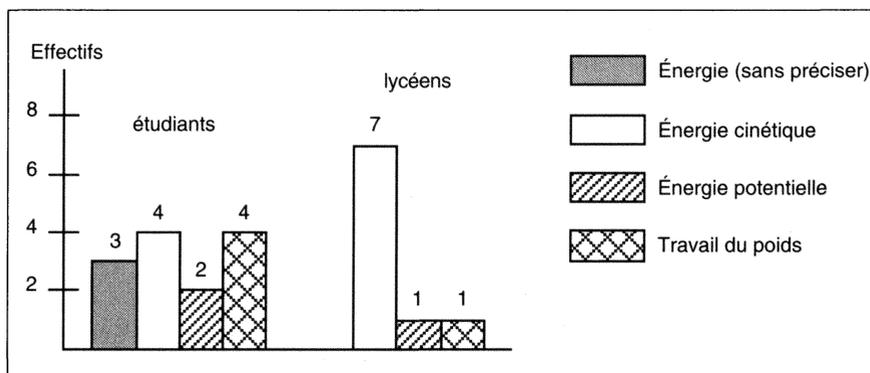


Tableau 4 : Répartition des réponses en fonction des types d'énergie

On remarque que les lycéens font appel principalement à l'énergie cinétique alors que les choix des étudiants se répartissent entre les différents types d'énergie possibles. Dans l'ensemble, nous avons pu considérer que seulement 2 parmi ces 22 réponses étaient correctement rédigées.

Les réponses suivantes sont caractéristiques des types d'énergie invoqués :

1) Trois étudiants (3E) parlent d'énergie en général (énergie, énergie mécanique). Certaines réponses sont clairement exprimées : «*énergie nécessaire, suffisante, trop petite, pour briser, casser l'obstacle, etc.*»

2) Onze répondants (4E et 7L) font intervenir l'énergie **cinétique** pour exprimer la condition de rupture de l'obstacle au moment de l'impact.

Parmi ceux-là :

– trois (2E et 1L) se bornent à affirmer que $E_c(M) > E_c(m)$ au moment de l'impact. «*Le mobile le plus lourd brise l'obstacle car l'énergie cinétique ($1/2 Mv^2$) absorbée par l'obstacle lors de l'impact est plus importante, car proportionnelle à la masse du corps*» ;

– quatre (2E et 2L) utilisent la chaîne causale erronée suivante, dont seuls le point de départ et la conclusion sont justes :

$M > m$ donc $V > v$ et, par conséquent $E_c(M) > E_c(m)$

où M , V et $E_c(M)$ représentent respectivement la masse, la vitesse et l'énergie cinétique du solide le plus lourd (m , v et $E_c(m)$ pour le plus léger) ;

– un étudiant fait mention de l'énergie cinétique **de l'obstacle** en voulant appliquer le théorème de l'énergie cinétique, sans préciser quel système il considère.

3) Trois répondants (2E et 1L) mettent en avant l'énergie **potentielle** initiale du mobile (en haut du plan incliné). Le mobile brise l'obstacle si cette

énergie est suffisante. Ces réponses précisent que $E_p(M) > E_p(m)$ sans fournir de justification. L'obstacle (*ne*) résiste (*pas*) à l'énergie potentielle.

4) Cinq répondants (4E et 1L) mentionnent le **travail du poids** des mobiles, celui du mobile le plus lourd étant plus important que celui du mobile le plus léger.

Un lycéen, en appliquant le théorème de l'énergie cinétique successivement à un mobile puis à l'autre, est arrivé à montrer (presque) correctement qu'ils ont la même vitesse à l'arrivée sur l'obstacle, mais que *«le choc avec l'obstacle sera plus important pour le mobile le plus lourd.»*

On relève la présence de la formule : $\Delta E_c = \Sigma W(\mathbf{F})$. Elle n'est pas assortie de justification sur la rupture de l'obstacle.

5.2.3. Autres explications

Trois autres grandeurs ont été utilisées par les élèves dans leurs explications.

Quatre lycéens et trois étudiants (soit 12% des réponses) donnent la vitesse du mobile comme critère de rupture de l'obstacle. À nouveau, il faut envisager l'hypothèse de l'existence d'une conception selon laquelle le mouvement est vu comme une force, et non comme le résultat d'une force (Viennot, 1979, 1996). Ainsi, on peut lire : *«...car son mouvement a acquis une plus grande force ...»* ou encore : *«le vecteur vitesse peut être plus important que la force qu'oppose l'obstacle.»*

Un lycéen et un étudiant expliquent les conditions de rupture en faisant intervenir la quantité de mouvement des mobiles : *«quantité de mouvement suffisante pour briser l'obstacle.»* En effet, tous les deux affirment que la quantité de mouvement $p = mv$ est plus grande pour le mobile le plus lourd, le lycéen rajoutant que, pour le mobile le plus léger, il s'agira d'un choc mou.

Enfin, un étudiant tient un raisonnement en termes de puissance : *« $P = F.v$... $P(P) = Mg.v$. Plus la masse M est grande, plus la puissance P augmente.»* Il n'a pu aboutir à une solution acceptable.

5.3. Interprétation

Dans le tableau 5, nous avons représenté (partiellement) les étapes de diverses explications rencontrées. Le mot FIN signale que la relation placée dans l'encadré juste précédent indique la condition de rupture. Les nombres indiqués sur les flèches représentent les effectifs des répondants ; on peut ainsi suivre les flux entre chaque étape de raisonnement. Les parcours grisés sont incorrects au sens du physicien : ce sont pourtant les parcours les plus importants numériquement.

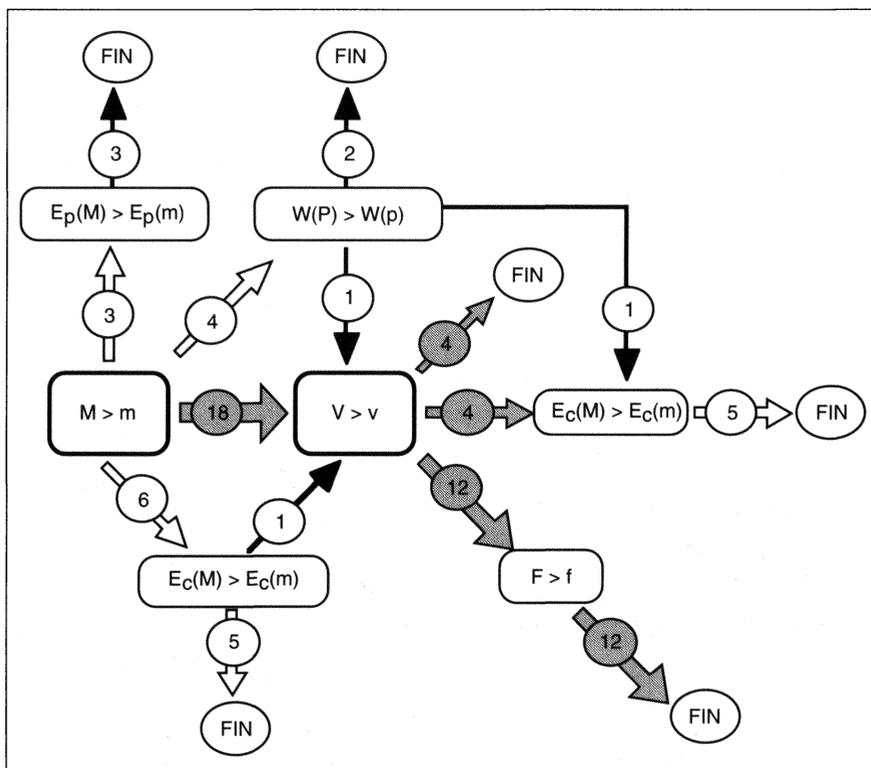


Tableau 5 : Étapes des explications données par les répondants

On peut constater immédiatement que, partant de la condition $M > m$, la comparaison des vitesses occupe une position centrale : 20 réponses partent de l'encadré $V > v$ sur les 31 réponses du départ. L'inégalité $V > v$, qui traduit le schéma naïf de niveau P_1 selon lequel « le mobile le plus lourd descend le plus vite », est donc encore instancié majoritairement sur cette situation.

Le tableau 5 montre que 4 répondants concluent leur raisonnement sur cette affirmation fautive ; 4 autres en tirent des conclusions (justes !) sur l'énergie cinétique des mobiles.

Le tableau montre aussi que les 12 réponses qui traduisent la condition de rupture de l'obstacle par $F > f$ appuient également cette affirmation sur la condition $V > v$. L'action exercée par le solide sur l'obstacle ne peut, dans ces conditions, qu'être le résultat d'une force acquise progressivement par le mobile au cours de sa descente. Comment imaginer et expliquer le processus d'acquisition de cette force sinon par le mouvement lui-même qui précède le choc ? Là encore, nous pensons pouvoir interpréter

ces réponses par l'instanciation d'un schéma de niveau P_{-1} : l'adhérence et la confusion force-vitesse.

Lorsque la condition de rupture est exprimée en termes d'énergie : $E_p(M) > E_p(m)$ ou $E_c(M) > E_c(m)$ ou de travail $W(P) > W(p)$, la difficulté semble résider dans la manière de caractériser l'obstacle lui-même. Le transfert d'énergie entre le mobile et l'obstacle n'est pratiquement jamais envisagé (2 réponses seulement en font état).

La figure 11 reprend notre proposition de modélisation en précisant la place que nous pourrions attribuer aux nouveaux schémas.

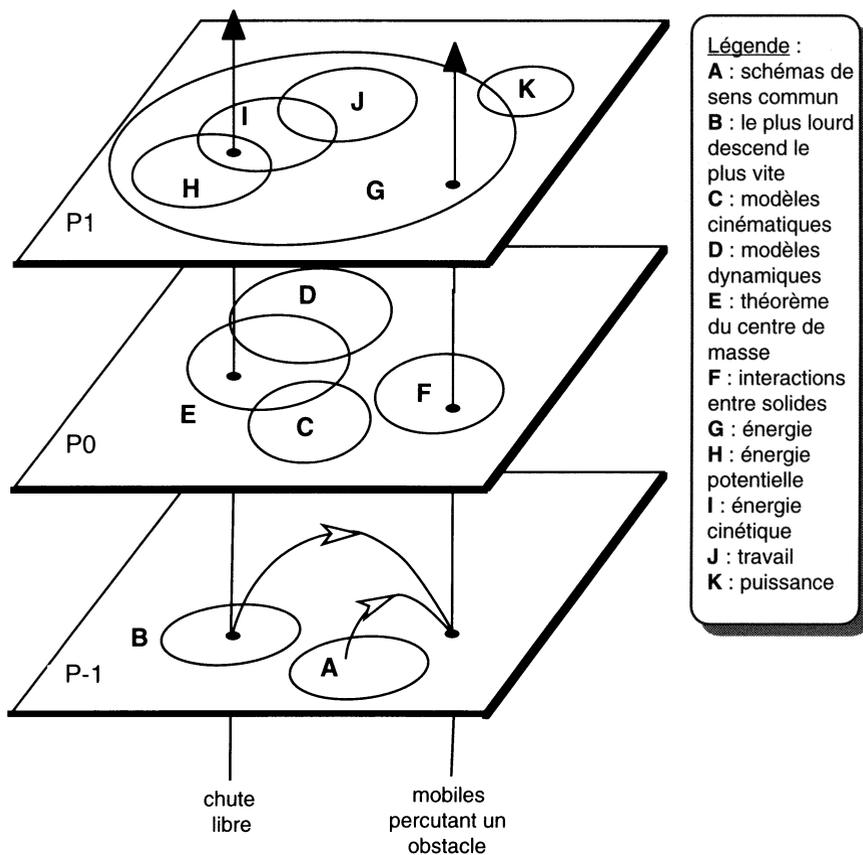


Figure 11 : **Représentation des plans de modélisation pour la situation n°3**

La situation proposée (mobiles percuteurs un obstacle) est assez éloignée de la situation prototypique (chute libre), ce qui est figuré par deux axes verticaux distants.

Le niveau P_{-1} , caractérisé par les modèles construits par l'élève, mais non scolaires, contient des schémas déjà rencontrés. Nous en spécifierons deux :

- en A : le schéma identifiant et confondant force et vitesse, particulièrement disponible dans cette situation où il est question de rupture d'un obstacle. Force et vitesse sont des concepts souvent mobilisés pour interpréter cette situation (32 fois sur 60) ;

- en B : le schéma naïf «le mobile le plus lourd descend le plus vite», très lié à la situation de chute libre, mais facile à instancier dans beaucoup d'autres situations de chute, du fait de sa faible structuration.

Le niveau P_0 contient les schémas déjà rencontrés dans les situations précédentes :

- en D, les modèles dynamiques, très peu opératoires dans cette situation, alors qu'ils pourraient donner des solutions convenables. Ces schémas nous paraissent relativement éloignés de l'intersection entre la situation et le plan P_0 . La confusion fréquente entre la force et la vitesse nous porte à inférer que ce sont plutôt des schémas de niveau P_{-1} qui seront instanciés lorsque la notion de force sera invoquée ;

- en E, le théorème du centre de masse, facile à instancier dans des situations prototypes comme la chute libre, mais peu opératoire pour les situations nouvelles, les répondants ne sachant pas à quel système appliquer ce théorème : doit-on ou non inclure l'obstacle dans le système ? Ce théorème fait intervenir la notion de force (résultante), mais les interprétations des répondants en termes de force viendront principalement du schéma B, de niveau P_{-1} .

Nous avons regroupé sur un niveau de modélisation P_1 l'ensemble des schémas relatifs à l'énergie, ces schémas correspondant à des modèles enseignés postérieurement aux notions cinématiques et dynamiques au cours de la scolarité.

- G est un schéma général relatif à l'énergie, assez étendu pour contenir d'autres schémas plus spécifiques (c'est donc un schéma de schémas), mais certainement peu structuré, donc peu opératoire ;

- H, I et J représentent plusieurs schémas relatifs à l'énergie ; ils correspondent à des modèles enseignés : énergie potentielle, énergie cinétique ou travail d'une force. Ces différents schémas ont des recouvrements, H et I étant très liés à la situation prototypique de chute libre. On peut considérer que la structuration de ces schémas est probablement faible puisque, dans la situation «mobiles percutant un obstacle», seulement 2 répondants sur 22 les ont correctement instanciés.

6. CONCLUSION

Le plan incliné est une situation qui, dans le cadre de l'enseignement de la mécanique, donne lieu à des problèmes considérés comme classiques, voire faciles. Pourtant, les questions que nous avons posées au cours des entretiens ou à l'occasion du test écrit révèlent que, dans l'esprit des élèves, tout n'est pas aussi clair que nous aurions pu l'espérer.

En fait, ce dispositif du plan incliné nous a servi à mettre à l'épreuve un modèle cognitif simple de l'apprenant, montrant graphiquement les dispositions relatives des schémas de connaissances, des niveaux de modélisation et des situations physiques traitées. Ce modèle a, pour l'instant, une visée descriptive et de clarification. Nous envisagerons ultérieurement des implications possibles de ce modèle pour l'enseignant et le formateur.

Trois situations physiques utilisant le plan incliné ont été proposées. Dans chacune de ces situations, nous avons montré la contextualisation possible de notre modèle. D'autres situations, en optique (Lefèvre & Escout, 1997) et en électricité (Lascours et al., 1997) ont été étudiées, qui laissent penser que ce modèle est assez général.

La situation n°1 (mobile descendant sur un aérobanc) nous a permis de mettre en évidence que :

- ce sont souvent les schémas de niveau P_{-1} qui sont instanciés lorsque l'on questionne un élève hors contrat didactique. Si la situation n'est pas une situation de classe, proposée par le professeur de cette classe, mais par un chercheur extérieur dont l'élève ne connaît pas forcément bien les intentions, il peut se contenter de réponses naïves issues de schémas élémentaires ;
- lorsque l'on incite l'élève à aller plus loin dans ses explications, c'est-à-dire lorsque l'on «force» le passage vers un niveau supérieur, on constate que les schémas présents à ce niveau peuvent être à l'origine de réponses incorrectes, soit par déstructuration du schéma (schéma mal compris ou partiellement oublié), soit par éloignement d'un schéma correctement appris de la situation proposée (l'élève ne saisit pas que c'est ce schéma qu'il conviendrait d'instancier).

La situation n°2 (mobiles reliés par un fil) a confirmé la première représentation et a apporté quelques éléments nouveaux :

- le passage de un à deux mobiles focalise l'attention de l'élève sur l'interaction entre les mobiles, laissant de côté l'interaction avec le plan incliné (l'aérobanc) ;
- on constate une augmentation du nombre de schémas dynamiques, faisant intervenir les forces, au détriment des schémas cinématiques, les notions de vitesse et d'accélération étant manifestement délaissées.

La situation n°3 (mobiles percutant un obstacle) a permis de montrer l'existence de schémas relatifs à l'énergie. Ces schémas sont plus diversifiés chez les étudiants que chez les lycéens, ce qui s'explique par la «re-vision» des modèles enseignés. Un niveau de modélisation P_1 permet de rendre compte de la localisation de ces nouveaux schémas. Nous avons montré, à cette occasion, qu'un schéma de niveau P_{-1} («le plus lourd descend plus vite que le plus léger») devait retenir notre attention, car il reste central dans pratiquement tous les raisonnements effectués sur cette situation.

D'une façon générale, nous avons constaté la difficulté rencontrée par la plupart des répondants à instancier des schémas sur des situations «exotiques», c'est-à-dire des situations éloignées des prototypes qui ont servi à la monstration. Lorsqu'ils sont forcés à répondre, les élèves font généralement appel au niveau de modélisation le plus bas qu'ils estiment encore maîtriser. Il est très rare de voir deux schémas différents instanciés pour expliquer une même situation ; il semble que le modèle mental formé au point d'instanciation s'accommode mal de solutions alternatives. Un choc est expliqué, soit par la notion de force, soit par la notion d'énergie, mais pas par les deux.

On peut penser qu'il existe un principe d'économie cognitive qui veut que l'élève se place préférentiellement sur le niveau qui lui permet de donner une réponse satisfaisante de son propre point de vue, en fonction de sa perception de la situation de questionnement.

Bien entendu, comme tous les modèles, celui que nous proposons a un champ de validité qui n'est pas extensible à l'infini. Nous ne pensons pas, par exemple, qu'il puisse permettre de traiter de raisonnements complexes, comme ceux mis en jeu dans la résolution de problèmes. Nous nous sommes prudemment limités à des schémas correspondants à des modèles enseignés (élémentaires) de physique pouvant être instanciés dans des situations de physique relativement élémentaires, elles aussi. Son intérêt réside dans sa simplicité de présentation et dans les multiples situations d'enseignement et d'apprentissage qu'il permet de traiter.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEVY P. (1994). *Le plan incliné*. Mémoire de DEA de Didactique des Disciplines Scientifiques. Toulouse, Université Paul Sabatier.
- BAUTRANT R., BRAMAND P., FAYE P., JAUBERT A. & THOMASSIER G. (1987). *Physique et chimie*. Paris, Hachette.
- FONTAINE G. & TOMASINO A. (1987). *Physique*. Paris, Nathan.
- HALBWACHS F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.

- HÉBERT A., ECKERT A., HOFFER A., LAMARCHE M. & SCHWAB C. (1984). *Physique*. Paris, Bordas.
- JOHNSON-LAIRD P.-N. (1983). *Mental models*. New-York, Cambridge University Press.
- JOHNSON-LAIRD P.-N. (1993). La théorie des modèles mentaux. In M.-F. Ehrlich, H. Tardieu & M. Cavazza (coord.), *Les modèles mentaux. Approche cognitive des représentations*. Paris, Masson, pp. 1-22.
- JOHNSUA M.-A. & JOHNSUA S. (1987). Les fonctions didactiques de l'expérimental dans l'enseignement scientifique. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 8, n° 3, pp. 231-266.
- LASCOURS J., LEFÈVRE R. & CALMETTES B. (à paraître). Difficultés d'étudiants à propos des circuits RC en courant alternatif. *Actes du 6^e séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques*. Lyon.
- LEFÈVRE R. & ESCAUT A. (à paraître). Un modèle interprétatif de raisonnements simples d'étudiants : situations physiques et niveaux de modélisation. *Actes du 6^e séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques*. Lyon.
- MARTINAND J.-L. (1995). Introduction à la modélisation. *Séminaire de didactique des disciplines technologiques*. Cachan, ENS, Association Tour 123, pp. 7-19.
- PIAGET J. (1967). *La psychologie de l'intelligence*. Paris, Colin.
- RICHARD J.-F. (1990). *Les activités mentales*. Paris, Colin.
- ROBARDET G. & GUILLAUD J.-C. (1994). *Éléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques*. Grenoble, IUFM.
- RUMELHART D.-E. (1978). *Schemata : the building blocks of cognition. Theoretical issues in reading comprehension*. Hillsdale, New Jersey, Erlbaum Associates.
- TIBERGHIE A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, vol. 4, pp. 71-87.
- VERGNAUD G. (1987). Les fonctions de l'action et de la symbolisation dans la formation des connaissances chez l'enfant. In J. Piaget, P. Mounoud & J.-P. Bronckart (dir.), *Psychologie*. Paris, Gallimard, pp. 821-844.
- VIENNOT L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris, Hermann.
- VIENNOT L. (1996). *Raisonner en physique*. Paris, De Boeck.

La formation professionnelle et la création d'activités

Professional training and jobs creation

Bernard DECOMPS

Directeur de l'école normale supérieure de Cachan
ENS de Cachan
61 avenue du Président Wilson
94235 Cachan cedex, France.

Résumé

La formation des ingénieurs ne concourt-elle pas involontairement à fragiliser son objectif principal, c'est-à-dire la création d'activités et la cohésion sociale ? Pour dynamiser la capacité créative des diplômés, il ne faudrait pas hésiter à remettre en question la logique d'un schéma éducatif qui part du savoir pour aller vers l'action et donner la prééminence au projet d'activité qui devient alors un guide de la formation. Cette perspective conduit à imaginer de nouveaux modes de repérage des «bons candidats», à apprendre à évaluer les acquis professionnels ou culturels à la lumière d'un projet avant de proposer de mobiliser un réseau d'institutions pour en optimiser les chances de succès. Ainsi remises en situation, nos «Grandes écoles» comme les «Nouvelles Filières d'Ingénieurs» devraient plus aisément répondre aux attentes individuelles de jeunes «qui ont des idées» comme à celles des pouvoirs publics et des collectivités.

Mots clés : enseignement professionnel, création d'activités, évaluation des acquis, réseau d'Écoles .

Abstract

Progress in training of future engineers may unintentionally endanger its main purposes, i.e. job creation and social cohesion. In order to enhance the creative capacities of graduates, we must challenge the traditional educational structure, which goes from theory to application. We suggest a system, which emphasises projects as the main pedagogical instrument. To be successful, this approach requires new recruitment criteria and new tools for evaluating professional experience and cultural accomplishments before setting up a network of training institutions. Within the proposed framework, our «Grandes Ecoles» and the «Nouvelles Filières d'Ingénieurs» should be in a better position to meet the expectations of individual students «brimming with ideas» as well as those of local communities and the nation.

Key words : *training, job creation, evaluation tools, educational network.*

Resumen

La formación profesional, mejorando progresivamente su eficiencia en la adquisición de las competencias necesarias para la obtención del primer empleo, no corresponde involuntariamente a fragilizar su objetivo principal, es decir, la creación de actividades y la cohesión social.

Ante la timidez de las Grandes Escuelas en exhibir los objetivos de estandarización y la aparente de las formaciones basadas en el compañerismo, puede ser necesario de recurrir a fórmulas más nuevas como aquellas que han sido involucradas desde hace algunos años por instituciones extranjeras para atraer y dinamizar creadores de actividades.

Palabras claves : *formación profesional, creación de actividades*

INTRODUCTION

La formation professionnelle, en améliorant progressivement son efficacité dans l'acquisition des compétences nécessaires à l'obtention du premier emploi, ne concourt-elle pas involontairement à fragiliser son objectif principal, c'est-à-dire la création d'activités et la cohésion sociale ? Devant la timidité des «Grandes écoles» à afficher des objectifs de cette nature et le piètement apparent des formations basées sur le compagnonnage, il peut être nécessaire de recourir à des formules plus novatrices comme celles qu'ont engagées depuis quelques années des institutions étrangères pour attirer et dynamiser des créateurs d'activités.

1. LES LIMITES DE LA MÉRITOCRATIE RÉPUBLICAINE ET DU COMPAGNONNAGE

1.1. Deux modes de formation dans la grande tradition française

Il existe aujourd'hui deux modes de formation professionnelle dans notre pays, le premier type étant fondé sur la méritocratie républicaine de la connaissance académique alors que le second est basé sur les valeurs et les savoir-faire transmis par le compagnonnage.

Le mode le plus largement implanté est fondé sur la méritocratie républicaine. Il procède en général d'un pré-recrutement ou d'un recrutement sur concours ou sur titre académique sans vérification particulière d'aptitudes professionnelles. Le concours de recrutement constitue dans les faits un choix culturel préalable à la formation professionnelle proprement dite. Constatons que ce mode de formation, dominant pour les agents de l'état, est le mode dominant des filières de formation de la voie technologique et, notamment, celles qui relèvent des «Grandes écoles». Sans en revêtir l'aspect caricatural, les instituts universitaires de technologie et, dans une assez large mesure, les sections de techniciens supérieurs privilégient aussi la qualité académique sur l'aptitude professionnelle.

À côté de ce premier mode de formation, on a développé, plus récemment, des formations supérieures qui s'appuient sur le compagnonnage. Ces formations procèdent d'un partage de responsabilités entre l'école et l'entreprise et cette dernière se charge d'un filtrage de compétences qui repose, en général, sur des critères professionnels. On identifie deux itinéraires qui se rapportent à ce second mode de formation professionnelle, l'alternance dans le cadre de la formation continue – ou plutôt, de la formation différée – et l'apprentissage quand il s'agit d'une formation initiale. Longtemps cantonnés aux formations relatives aux emplois peu qualifiés et destinés par priorité aux élèves jugés incapables de tirer leur épingle du jeu des formations fondées sur la méritocratie républicaine, l'alternance et l'apprentissage ont récemment acquis de nouvelles lettres de noblesse, ce qui permet d'envisager l'élargissement de leur champ d'application à des formations à tous niveaux de qualification. Il faut noter que l'extension de ce nouveau mode de formation des élites se heurte à bien des obstacles de nature culturelle, sociale et financière. Dans leur ensemble, les entreprises ne sont pas prêtes à faire face aux coûts de formation que la réglementation leur impose de supporter dans ce type de formation.

1.2. L'aptitude des élites à la création d'activités nouvelles

On manque de recul pour apprécier les qualités intrinsèques des diplômés issus des filières par alternance et apprentissage et, en particulier, on a encore du mal à mesurer leur aptitude à la création d'activités. Toutefois, si rien n'est encore perdu pour les formations calées sur le compagnonnage, force est de constater, en revanche, que les filières de la méritocratie républicaine ne semblent plus répondre à leur vocation première de moteur de l'activité du pays. C'est un constat angoissant quoique banal : pourquoi un mode de recrutement pensé en fonction des compétences requises des agents de l'état et des garants de l'organisation de la société – la caste des « militaires » des sociétés primitives – serait-il naturellement adapté à l'émergence des producteurs de la richesse nationale, autrement dit, les héritiers de la caste « des agriculteurs » des civilisations primitives du monde indo-européen ?

Cette interrogation sur la pertinence du mode de formation de nos élites devrait conduire à nous interroger sur le système de formation pris dans sa globalité ; la reproduction de schémas anciens assimilés par les « Grandes écoles » et celle de pratiques de travail issues du compagnonnage ne risquent-elles pas de masquer l'essentiel de la mission éducative ? Dit autrement, à force de vouloir bien faire, la jeunesse ne pourrait plus exprimer sa créativité dans un carcan de formations et de stratégies conçues en vue d'un accès à un premier emploi.

La clé de la problématique est là : si on ne peut que déplorer que la méritocratie républicaine et le compagnonnage soient très insuffisamment tendus vers l'innovation et la création d'activités, il serait à la fois injuste et, sans doute, inefficace de faire porter la responsabilité première du drame du chômage au système de formation. Le nœud de la question est ailleurs. Le diplôme et l'ensemble des formations qui permettent son obtention sont devenus pour beaucoup une *police d'assurance* – celle qui permettrait d'éviter le chômage – alors qu'ils devaient être un *investissement* en vue de la réalisation d'un projet personnel et d'une activité choisie. Par sa valeur symbolique, le mode de formation fondé sur la méritocratie républicaine accroît les risques de confusion entre le diplôme et l'assurance.

1.3. Une erreur de perspective initiale qui concourt à l'exclusion

Or, la confusion entre une police d'assurance et la réalisation d'un investissement personnel est perverse dans la mesure où elle est devenue une caution à un allongement incontrôlé de la durée des études. L'origine du

dérapiage est facile à comprendre. Les raisonnements macroscopiques, fondés sur la recherche d'une certaine adéquation entre les emplois potentiels et les formations professionnelles qui permettent d'en briguer l'accès, conduisent, en effet, à définir un intérêt général qui s'oppose à chaque intérêt particulier. Il découle de l'obsession de la meilleure adéquation possible une série de décisions individuelles en contradiction avec l'intérêt général.

L'intérêt général conduirait, en effet, à recommander des sorties aux différents niveaux de formation en harmonie avec les places à prendre, justifiant ainsi une sélection fondée sur le nombre des accès à l'emploi. Sans avoir besoin d'évoquer le caractère incertain des prévisions qui fondent le nombre d'accès potentiels cinq à dix ans à l'avance – délai de pertinence pour une saine orientation des futurs diplômés –, cette recommandation de portée générale ne concerne que «les autres». En effet, chaque étudiant éprouve le sentiment qu'il a toujours intérêt à poursuivre ses études et reculer le moment de l'accès à un premier emploi. Aux avantages traditionnels d'une fonction dotée de responsabilités plus étendues et généralement mieux considérée qu'il peut briguer avec un diplôme de niveau plus élevé, à l'attrait d'une rémunération plus satisfaisante, s'ajoute une attente statistiquement plus courte pour accéder à un premier emploi. Dans le même temps, pour tenter de contenir à très court terme la montée inexorable du chômage, la société encourage la poursuite d'études. Il faudrait être, par conséquent, parfaitement inconscient ou masochiste pour interrompre la formation initiale tant qu'on n'y est pas contraint par une force majeure, c'est-à-dire un échec universitaire ou l'obligation absolue de trouver des ressources financières. Ainsi, une combinaison de la méritocratie républicaine et de la peur du chômage induit une montée en régime de l'enseignement supérieur que les formations basées sur le compagnonnage ne parviennent pas à enrayer sans qu'il en résulte pour autant une relance visible de la création d'activités.

De façon plus générale, on peut penser qu'un idéal professionnel qui se calerait sur une adéquation entre les compétences acquises et le mode d'action de l'entreprise n'aurait de pertinence qu'en période d'expansion économique. Un professionnalisme étroit, purement adéquationniste, ne porterait certainement pas la responsabilité première du chômage des jeunes ; il n'en accroîtrait pas moins les effets les plus dangereux pour la cohésion sociale et notamment les risques d'exclusion de ceux qui ne suivent pas la norme.

2. L'INTÉGRATION DE LA FORMATION DANS UN PROJET PERSONNEL

On ne peut lever l'obstacle sans repenser en profondeur la nature du lien entre la formation et l'accès à un premier emploi. Depuis une dizaine d'années, l'alternance et l'apprentissage ont été introduits dans cette perspective, avec l'espoir que ce nouveau type de formation professionnelle deviendrait, avec le temps, une alternative suffisamment crédible au déterminisme de la formation initiale, conduirait à une meilleure répartition des niveaux de diplômes initiaux et assurerait une relance des activités en donnant un nouveau souffle aux activités économiques. Manque de clairvoyance de l'entreprise ou, plus simplement, difficulté pour elle de se substituer à une responsabilité plus collective, ce second type de formation ne décolle pas. Chacun loue ses mérites, mais de trop nombreux obstacles se lèvent sur sa route pour qu'on puisse fonder autour d'elle l'espoir, à court terme, d'un véritable renouveau. Ce constat conduit à explorer les mérites potentiels d'une troisième voie qui reposerait davantage sur l'initiative personnelle des futurs diplômés. Cette formule pourrait porter un nom, celui de l'intégration de la formation dans un projet personnel.

Bien entendu, on ne saurait opposer, sans nuances, un tel mode de formation aux modes qui le précèdent. La méritocratie républicaine a constitué un parcours initiatique pour les pionniers des technologies nouvelles, qu'il s'agisse de l'aéronautique au tournant du siècle ou de l'informatique et des télécommunications plus récemment, demain peut-être des biotechnologies. De même, la forme la plus noble de l'apprentissage moderne, par exemple celle que vit au quotidien l'interne en médecine, se situe dans la perspective d'un projet. Certes, il y aurait beaucoup à dire de l'orientation forcée vers telle ou telle spécialité qu'impose le système méritocratique actuel du concours de l'internat, pour ne pas parler de tous ces ingénieurs qui sont devenus chimistes ou mécaniciens parce que le rang obtenu au concours d'entrée a barré la route de leur véritable vocation.

Cette intégration de la formation dans un projet est plus souvent développée dans des pays qui n'ont pas confié la formation de leurs élites économiques à un système méritocratique fondé sur la maîtrise de connaissances fondamentales. En particulier, certaines formations dites «formations sandwiches» constituent des tentatives intéressantes pour concilier formation et projet personnel sur une base volontariste. L'exemple le plus achevé pourrait être celui des MBA (Master in Business & Administration) des très grandes institutions de l'Amérique du Nord, pratiquement réservés aujourd'hui à des étudiants qui peuvent faire état d'une activité professionnelle en position de responsabilité avant de commencer le cycle d'études correspondant. Dans certaines de ces

institutions, la performance professionnelle est devenue le critère déterminant pour l'accès à la formation.

En France, la formation autour d'un projet personnel relève encore de l'exception. Quelques «Grandes écoles» développent des «expériences» intéressantes, notamment lorsque ces dernières s'ingénient à associer plusieurs compétences complémentaires autour d'un même projet. Ces expériences demeurent encore trop marginales pour qu'on puisse parler d'un courant significatif. De plus, il s'agit presque toujours d'un projet sans véritable risque pour celui qui le conduit, le futur ingénieur poursuivant un cycle d'études spécifiques sous un statut d'étudiant ordinaire.

Aussi, ce qui s'apparente le plus à la formation intégrée dans un projet sur un modèle anglo-saxon est probablement offert dans les cycles de formation qui relèvent du Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM). Les stagiaires du CNAM poursuivent simultanément une activité professionnelle et des études en vue de la réalisation d'un projet personnel. Par ailleurs, le Conservatoire peut s'enorgueillir de parcours de la réussite incontestables, démontrant du même coup que l'intégration est praticable en France. Force est de constater, toutefois, que les traditions de l'institution et, notamment, la durée de la formation sont très difficilement compatibles avec l'exercice d'une fonction à temps plein. Les tensions auxquelles sont soumis les futurs diplômés ne constituent que de façon exceptionnelle ce parcours pour les «battants» dont le pays a besoin pour la relance de ses activités. Le cadre existe, mais la pratique mériterait sans doute d'être réformée en profondeur pour apporter une réponse totalement satisfaisante.

3. LES OBSTACLES À L'INTÉGRATION DE LA FORMATION DANS UN PROJET

L'intégration est une idée simple, dans la droite ligne de la formation différée dont elle aurait dû constituer le volet essentiel. Elle peut également se conjuguer avec l'esprit des nouvelles filières d'ingénieurs inspirée par la tradition du compagnonnage. Si elle ne s'est pas encore trouvée au rendez-vous de l'histoire de la formation professionnelle en France, c'est sans doute que la méthode soulève des difficultés importantes qu'il convient de bien situer. Sans prétendre à l'exhaustivité, on identifie assez facilement les difficultés de repérage des «bons» projets et des «bons» porteurs de projet, les difficultés d'accompagnement des porteurs sans étouffer leurs projets et des difficultés liées au contrôle du système.

3.1. Les difficultés du repérage

Doit-on privilégier le repérage de «bons» projets ou le repérage de «bons» porteurs de projet ? C'est une question plus fondamentale qu'il n'y paraît, car elle conditionne largement l'avenir de la filière. Sans répondre directement à la question, constatons qu'on devrait s'entendre assez facilement sur la qualité d'un projet dès lors que son objectif est clairement défini comme créateur d'activités. En revanche, il est plus délicat de repérer *a priori* les «bons» porteurs de projet sans les voir à l'œuvre. Comme chacun sait que la qualité du porteur contribue pour une part déterminante aux chances de succès du projet, il paraît difficile de faire l'impasse sur le second volet.

Or, pour mettre l'accent sur la qualité du porteur d'un projet, il semble bien aléatoire de se contenter de critères académiques et de se priver de l'expérience professionnelle, du passé de réalisation dans des contextes variés – contexte académique, contexte associatif, contexte professionnel – du candidat à la formation. Par conséquent, le repérage de «bons» porteurs de projets sera d'autant plus facile que le candidat pourra mettre en avant un vécu dans l'action. On devrait donc s'orienter vers des entrées dans la formation «intégrée», au terme d'une première activité – pas nécessairement salariée – qui permettrait de mesurer la capacité de création et de maîtrise d'un projet ou d'une action. Dans le même temps, il faudrait éviter des délais d'attente inconsidérée qui pourraient faire perdre leur fraîcheur aux idées les plus innovantes et casseraient l'enthousiasme des jeunes générations.

Cette réflexion sur le repérage des «bons» porteurs de projet est, en soi, intéressante à plus d'un titre. En repoussant l'entrée dans un cycle de formation au terme d'une première réalisation, elle souligne, en effet, l'adaptation de la méthode intégrée à l'objectif de création d'activités. Le monde académique sait assez bien gérer ce mixage de deux paris, un pari sur le projet et un pari sur son porteur dans le domaine de la recherche. Une transposition des méthodes utilisées à cet usage dans le repérage de «bons» porteurs de projet paraît envisageable, dès lors qu'on ferait intervenir des créateurs d'activité dans le dispositif de sélection. À titre d'exemple, les équipes mixtes «université – entreprises» qui se sont montées pour gérer les «nouvelles filières d'ingénieurs» ou encore les conseils de perfectionnement des «Grandes écoles» pourraient devenir assez rapidement opérationnels pour répondre à l'objectif poursuivi.

Ce repérage poursuivrait une triple finalité. Il s'agirait, tout d'abord, de conforter le candidat à un parcours d'intégration ou, à l'inverse, décourager les sujets paraissant peu disposés à en tirer profit. Ce repérage servirait aussi à optimiser le chemin de formation qui resterait à parcourir en vue

d'une réalisation totale – ou par étape – du projet. Enfin, il permettrait de fournir des références à divers bailleurs de fonds publics – fonds européens, fonds nationaux ou fonds de collectivités territoriales attachés à la création d'activités – ou privés – systèmes bancaires notamment – qui pourraient être mobilisés pour accompagner financièrement le porteur de projet pendant son cycle de formation complémentaire.

3.2. Les difficultés rencontrées dans leur accompagnement

Un tel accompagnement est nécessaire. *A contrario*, une des explications de la tension trop souvent démobilisatrice des stagiaires du Conservatoire est liée à l'absence d'un accompagnement financier de la formation. Cette faiblesse d'un accompagnement satisfaisant amène les stagiaires du CNAM à conduire de front une activité professionnelle – généralement à temps plein – et un cycle de formation, trop souvent au préjudice de chacune des deux activités. Il faudrait donc inventer des formules souples, plus incitatives, afin d'attirer véritablement des «battants» dans ce cycle de formation. Les «nouvelles filières d'ingénieurs», qualifiées ci-dessus de filières de compagnonnage, ne répondent que de manière partielle à l'objectif. En effet, le lien avec l'entreprise prime dans la définition du parcours ; il ne coïncide pas toujours avec un projet personnel du futur ingénieur.

Il convient donc d'élargir le vivier des candidats à des formules économes en durée de formation avec des partants pour l'intégration de la formation à un projet personnel. S'agissant d'une action volontaire, il conviendrait de dégager des formules complémentaires de celles qui ont été conçues et mises en œuvre pour le traitement du chômage, tout en s'attachant, par priorité, à garantir la couverture sociale des candidats et de leur famille et, en deuxième lieu, une allocation de ressources.

Sans écarter des formules plus originales qui procéderaient d'évolutions réglementaires ou législatives, on peut noter que les contrats de formation à durée déterminée constituent une solution globalement satisfaisante au problème posé. Par ailleurs, on pourrait également songer à exploiter le statut de Volontaire du service national, tout au moins pour répondre au problème des plus jeunes créateurs d'activités.

En tout état de cause, une meilleure articulation des régimes de couverture sociale étudiante et générale faciliterait grandement la mise en œuvre de nouveaux parcours de la réussite dans le cadre du dispositif de formation intégrée. Au-delà de son intérêt pratique, une telle articulation revêtirait une valeur symbolique, celle d'atténuer la rupture conceptuelle et pratique entre la formation initiale et la formation différée.

3.3. Le contrôle du dispositif

On ne saurait concevoir un système d'émulation et de désignation des élites sans un dispositif de contrôle à court terme et à moyen terme. En règle générale, le contrôle à court terme sert à calibrer la qualité des étudiants alors que le contrôle à long terme joue sur la qualité de la formation elle-même. Dans les formations basées sur la méritocratie républicaine, les Grandes écoles exercent un contrôle des flux à court terme alors que la Commission des titres de l'ingénieur est présente sur le moyen et le long termes. Pour les nouvelles filières d'ingénieur, l'entreprise qui recrute un apprenti ou l'entreprise qui adresse un de ses agents à l'institut de formation ajoute un échelon de contrôle supplémentaire sur les apprenants, alors que la Commission des titres de l'ingénieur et la branche professionnelle peuvent jouer sur le contrôle à moyen terme. Aux États Unis d'Amérique, c'est l'institution universitaire elle-même ou, plutôt, l'école de gestion qui dispense la formation et délivre le MBA qui exerce un contrôle qualitatif à moyen terme alors que le mode de financement des études exerce un contrôle à court terme des motivations et des revenus – ou des réserves financières – des postulants.

Il est peu probable que les vertus du libéralisme atteignent une reconnaissance suffisante en France pour qu'on puisse transposer le système américain dans le rôle de contrôle à court terme. Par conséquent, il faudra aussi innover sur ce terrain si on veut lui donner ses chances.

4. QUELQUES PISTES POUR RÉCONCILIER LA FORMATION PROFESSIONNELLE ET LA CRÉATION D'ACTIVITÉS

Comment donner les meilleures chances à la création d'activités dans la montée en régime de la formation professionnelle ? Sans doute convient-il d'explorer la voie de la formation intégrée. Toutefois, sans renoncer à expérimenter cette voie nouvelle, ne serait-il pas plus sécurisant et plus réaliste de conserver aussi leurs chances aux modes de formation traditionnels, quitte à infléchir leur vocation actuelle ? C'est probablement autour de cette seconde alternative qu'il conviendrait d'organiser le futur, sans pour autant ralentir l'application des réformes indispensables à chacune des filières.

4.1. La création d'activités dans les formations traditionnelles

La création d'activités passe parfois par la création d'une entreprise. En revanche, il serait déraisonnable et, de plus largement inefficace, de lier obligatoirement les deux notions. Il vaut mieux concevoir la création d'activités comme une vocation qui, pour s'exercer, aura à emprunter des parcours complémentaires, parfois en situation de salarié au sein d'une structure existante – éventuellement publique – parfois au sein d'une structure à créer. Par voie de conséquence, le créateur d'activités devra disposer d'un bagage juridique et administratif important. Si sa formation n'a pu le lui donner, il aura intérêt à s'associer à un expert en la matière.

Les formations traditionnelles fondées sur l'élitisme républicain pourraient retrouver leur vocation première de création d'activités dès lors qu'elles sauraient encourager les créateurs tout en leur donnant ce bagage juridique et administratif. Certaines écoles d'ingénieurs le font déjà, à échelle réduite certes, en ouvrant des cursus spécifiques pour des élèves volontaires. Ces écoles «pilotes» semblent relever plus spécifiquement des chambres de commerce et d'industrie ; elles trouvent alors facilement un partenariat avec une école de commerce qui leur permet d'associer au projet de création d'activités un élève ingénieur et un futur cadre administratif.

Toutefois, on ne trouvera pas le véritable moteur de la création d'activités dans des activités supplémentaires ou marginales. Pour y parvenir, il faudrait une mobilisation des écoles, à commencer par celles qui jouissent de la réputation la plus prestigieuse. Que leur manque-t-il pour cela si ce n'est la conviction de son utilité et la décision de le faire ? Car il faudra de la volonté et de l'obstination pour engager une refonte complète du plan de formation, des méthodes d'évaluation, du mode de relation entre les enseignants et les élèves. Il faudrait aussi prendre en compte les activités parascolaires qui constituent souvent un indice de goût pour la création d'activités. Quatre idées devraient présider à cette refonte :

– **la substitution au programme de référence d'un contrat de formation spécifique entre chaque élève et son école**, articulé autour de son projet personnel. Ce contrat contient les éléments de la scolarité spécifique reconnue comme la meilleure pour la réalisation du projet à partir d'une analyse soigneuse des acquis. Le contrat définit les objectifs à atteindre, y compris des séquences qui pourraient être acquises en dehors de l'institution elle-même. Le diplôme deviendrait alors la sanction naturelle de la réalisation du contrat ;

– **l'institution d'un tuteur académique ou professionnel chargé de guider le futur créateur dans sa progression**. À côté du tutorat académique bien connu, il paraît intéressant d'explorer des formules de tutorat

professionnel, formule qui réconcilie déjà les formations méritocratiques traditionnelles et l'apprentissage, par exemple à l'INAPG (Institut National Agronomique Paris-Grignon) ou à l'ESSEC (École Supérieure des Sciences Économiques et Commerciales) ;

– **le renouvellement des modalités de recrutement des élèves.** L'introduction des travaux d'initiative personnelle encadrée (TIPE), pour utile qu'elle soit dans un renouvellement de l'ambiance des classes préparatoires ne semble pas avoir bouleversé jusqu'à présent les critères de sélection, notamment en raison du faible poids accordé à la présentation du TIPE dans l'oral des concours. On pourrait concevoir qu'une fraction des places offertes (par exemple 10 % d'entre elles) soit réservée à des candidats choisis sur une base où cette épreuve aurait un poids beaucoup plus significatif ;

– **le remplacement d'une durée d'études formelle (trois ans) par une durée de référence.** C'est le rythme de la création qui doit imprimer celui de l'acquisition de connaissances et non l'inverse. On pourrait concevoir les bases d'une dualité de diplômes, l'un pour le bon serviteur d'un champ technologique qui serait dès lors assimilé au «bachelor» international alors que le second niveau qui permettrait de reconnaître une véritable capacité de création d'activités se rattacherait légitimement au fameux «master». En règle générale, ce second niveau ne devrait être abordé que dans le cadre d'une formation «différée», au terme d'une première expérience professionnelle.

4.2. La création d'activités dans le compagnonnage

La législation sur l'apprentissage ne s'applique qu'aux entreprises de droit privé qui comportent un nombre minimum de salariés. De ce fait, les entreprises publiques et les systèmes associatifs ne reçoivent pas cette même incitation parafiscale qui conduit leurs partenaires du secteur privé à faire bénéficier des apprentis de leur capacité d'encadrement en leur confiant la responsabilité de mener des projets qui visent à la création d'activités.

Or, le secteur associatif pourrait se révéler riche de cadres pratiques et conceptuels adaptés à une finalité de création d'activités. Encore faudrait-il accompagner cette offre potentielle de moyens financiers adéquats. Une fondation nationale, en partie abondée par la contribution de collectivités locales intéressées à la création d'activités sur leur territoire serait la bienvenue et se substituerait alors à la prise en charge des entreprises et de l'état qui régit l'apprentissage traditionnel. Pour appuyer cette initiative, on peut faire remarquer que certaines collectivités territoriales du Nord de

l'Europe ont déjà expérimenté des aides analogues au profit de jeunes de 18-20 ans avec un certain succès dans le contexte de la création d'activités agricoles.

Il demeure encore aujourd'hui des freins considérables à la formation continue diplômante comme en témoignent les pas bien trop mesurés accomplis par les «nouvelles filières d'ingénieurs». Le malthusianisme des entreprises et la peur de perdre l'emploi sur lequel le technicien est placé ont tôt fait de dissuader les projets les plus entreprenants. Il est probable, en revanche, qu'une fraction des techniciens supérieurs qui sont souvent des auditeurs assidus du Conservatoire national des arts et métiers, disposant d'une expérience professionnelle affirmée, seraient attirés par la création d'activités au sein d'une structure associative, conférant alors aux «nouvelles filières» une fonction irremplaçable.

Il faudrait aussi modifier l'accueil des candidats dans les institutions de formation par une évolution – le terme «révolution» conviendrait mieux – dans l'évaluation des acquis professionnels. En effet, quand il s'agit de construire un projet, ce ne sont plus les pré-requis nécessaires pour suivre avec profit telle ou telle formation désincarnée qui importent. Ce qu'il faut identifier, c'est le plus court chemin susceptible de conduire le candidat à la réalisation de son projet. L'expérience du Conservatoire en la matière est considérable. Elle mériterait d'être largement exploitée.

EN GUISE DE CONCLUSION

Interrogé sur la pertinence des «nouvelles filières d'ingénieurs», l'auteur du rapport qui a présidé à leur création continue à croire à leur pertinence. L'intelligence de la méthode pédagogique qui a su réaliser la synthèse d'une culture fondamentale, de savoir-faire technologiques et de savoir-être construits sur un mélange d'outils de communication et de compétences relationnelles conduit naturellement ces filières à s'intégrer totalement dans le paysage français des formations professionnelles supérieures. On est en droit de penser que la voie du compagnonnage qu'elles ont permis de ressusciter a toutes les chances de se retrouver à égalité dans la compétition engagée avec les voies plus traditionnelles de la méritocratie républicaine. En concentrant son projet sur la création d'activités, elle peut servir de pilote à une mutation indispensable de notre système de formation professionnelle supérieure.

Comment rendre compte, dès lors, d'un démarrage aussi laborieux ?

Certes, les filières qui se fondent sur l'apprentissage connaissent un bon départ et jouissent d'une très bonne image auprès des entreprises de toutes tailles.

En revanche, il manque sensiblement un ordre de grandeur dans les flux engagés jusqu'à présent dans les filières offertes en formation continue. L'origine du déficit est facile à comprendre dans le conflit qui oppose l'intérêt collectif et l'intérêt individuel.

Il y a un conflit d'intérêt au niveau des jeunes. Les filières de formation continue restent encore perçues comme des voies de la seconde chance alors qu'elles mériteraient la même réputation que les filières de formation initiale. L'origine de ce décalage tient à la place du diplôme dans l'imaginaire collectif. En effet, aux yeux de chaque jeune en formation initiale, le diplôme constitue d'abord une assurance contre le chômage. Il était, il y a vingt ou trente ans, un investissement pour un projet personnel. Ce renversement des priorités explique largement les poursuites d'études le plus loin possible dans le cadre de la formation initiale et la défiance vis-à-vis des parcours ultérieurs en formation continue qui assureraient pourtant un bien meilleur équilibre collectif des sorties du système de formation.

C'est le même conflit d'intérêt qui préside à l'attitude des entreprises. Bien entendu, il va de l'intérêt collectif des entreprises de recruter des jeunes à fort potentiel sans attendre que ces derniers aient fait l'expérience de leurs limites par un échec terminal. Pour ce faire, elles devraient encourager les salariés à s'engager dans des formations complémentaires qualifiantes et diplômantes. Mais pourquoi une entreprise particulière prendrait-elle tous les risques et supporterait-elle l'intégrité de la charge du financement d'une formation qui va momentanément peser sur l'activité immédiate d'un collaborateur efficace ?

Pour sortir de cette contradiction entre l'intérêt individuel et l'intérêt collectif, il est indispensable de resituer l'ingénieur dans sa fonction essentielle, celle de **concepteur et de créateur d'activités nouvelles**. Il y a une place considérable à redécouvrir pour toute personne qui dispose, à la fois, d'un projet et d'un bagage qui lui permet de le conduire à bien. Il est probable qu'il faudra aussi trouver les voies d'une meilleure lisibilité internationale des diplômes. Au niveau d'un «bachelor» pourrait correspondre le bon serviteur d'un champ technologique, c'est-à-dire l'ingénieur diplômé traditionnel, alors que le titre de «master» serait reconnu à un authentique créateur d'activités.

La capacité créatrice est difficile à anticiper en dehors de l'exercice de responsabilités effectives. C'est pourquoi ce second niveau devrait être normalement acquis dans le cadre de la formation différée.

Dans ce grand projet, véritable projet de société, les formations de la méritocratie républicaine ont une place éminente à prendre. Encore faudrait-il qu'elles s'engagent dans une réforme fondamentale de leurs recrutements, de leurs pédagogies et de leurs modes d'évaluation. De leur côté, les

«nouvelles filières d'ingénieurs», fortes de leur expérience et de leurs réalisations dans le cadre de la formation différée, sont aussi en bonne position pour apporter à l'édifice un concours précieux. Elles doivent, pour cela, trouver de nouveaux supports publics ou privés afin de donner toutes leurs chances à celles et ceux qui, au cours d'une activité salariée, aspirent à trouver des clefs dans la création d'activités nouvelles.

Pour les unes comme pour les autres, cette mobilisation des filières de formation traditionnelles ou nouvelles vers des activités créatives implique une révolution dans la reconnaissance des acquis professionnels et culturels. Il ne s'agit plus de détecter ce qui manque pour suivre avec profit un enseignement désincarné, il s'agit de repérer le plus court chemin qui reste à parcourir pour réaliser un projet. Dans cette quête, le Conservatoire national a une expérience qui mériterait d'être reconnue et largement diffusée. Cette validation des acquis constitue, en effet, la première étape de toute course vers un projet.

COMPTES RENDUS D'INNOVATIONS

REPORTS OF INNOVATION

L'apprentissage de la conception en génie mécanique : le rôle du projet : compte rendu d'innovation

Learning mechanical engineering design : the role of project : report of innovation

Edurne AGUIRRE, Benoît RAUCENT

Université catholique de Louvain
Faculté des Sciences Appliquées, département de Mécanique
Place du Levant, 2
B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

Résumé

Dans l'apprentissage de la conception en génie mécanique, le projet joue un rôle complémentaire aux enseignements traditionnels de type déductif. Classiquement, le projet est placé en fin de cycle et a pour objectif de développer l'esprit de synthèse et d'intégrer les acquis en résolvant un problème de grande envergure. En complément de ce type de projet, nous proposons depuis cinq ans des projets d'initiation placés en début de cycle, avant les cours magistraux. Cette nouvelle approche repose sur le découpage de l'apprentissage en trois temps : la contextualisation, la décontextualisation et la recontextualisation.

Mots clés : projet, ingénieur mécanicien, conception, contextualisation.

Abstract

In the learning of mechanical engineering design, projects aim to introduce a new approach, complementary to the deductive approach of the traditional courses.

Usually, projects are performed at the end of the studies and have for objective to develop synthesis, to integrate knowledges, thanks the resolution of a wide-ranging problem. In complement of these project, we propose, since five years, an initiation project, at the beginning of the cycle, before the courses. This approach is based on the cutting-out of the learning in three steps : contextualisation, decontextualisation, recontextualisation.

Key words : *project, mechanical engineering, conception, contextualisation.*

Resumen

En el aprendizaje de la concepción en “génie mécanique», el proyecto juega un rol complementario en las enseñanzas tradicionales de tipo deductivo. Clásicamente, el proyecto está ubicado al final del ciclo y tiene por objetivo desarrollar el espíritu de síntesis e integrar las adquisiciones resolviendo un problema de gran envergadura. Para complementar este tipo de proyecto, nosotros proponemos desde hace cinco años unos proyectos de iniciación ubicados al inicio del ciclo, antes de los cursos magistrales. Este nuevo enfoque reposa en la descomposición del aprendizaje en tres tiempos : la contextualización, la descontextualización y la recontextualización.

Palabras claves : *proyecto, ingeniero civil mecánico, concepción, contextualización.*

1. INTRODUCTION

La résolution d'un problème de conception consiste «... à créer, à construire une chose à partir d'outils, de règles et d'éléments existants, portés au jour par l'analyse...» (Pruvot, 1993, p. 10). Il s'agit de trouver une solution optimale à un cahier des charges imposé par le client. Cette démarche, dite «inverse», est cependant fort différente de celle adoptée dans la majorité des enseignements où un canevas logique déductif, dit «direct», est suivi en faisant découvrir ou comprendre un modèle ou un principe.

Lorsque les étudiants en génie mécanique sont confrontés à un problème de conception, ils ont, de ce fait, du mal à adopter la «démarche inverse». Le malaise apparaît dès les phases initiales de conception qui nécessitent un maximum de créativité. Les étudiants négligent l'analyse fonctionnelle ou le choix du concept et cherchent à se «raccrocher», le plus vite possible, au dimensionnement, afin de revenir à un problème direct qu'ils maîtrisent mieux. Ainsi, par exemple lors de la conception d'un pont, ils ont tendance à choisir arbitrairement un concept (exemple : un pont suspendu), et à ramener le problème de conception au simple calcul du diamètre du câble porteur.

Afin de pallier cet état d'esprit, plusieurs projets ont été intégrés dans le curriculum lors de la réforme des candidatures en 1994 en faculté des sciences appliquées de l'Université Catholique de Louvain (UCL) à Louvain-la-Neuve. Les projets visent tant à contextualiser les études qu'à mettre en application les connaissances acquises. Parallèlement, les cours de conception des étudiants ingénieurs mécaniciens ont également été revus afin de renforcer ce type d'apprentissage. L'objectif est de former «au» et «par» le projet en développant des aptitudes telles la synthèse, l'esprit de créativité ou l'apprentissage coopératif.

La section suivante de l'article présente l'intégration des projets dans le curriculum des étudiants ingénieurs mécaniciens et, en particulier, le rôle dévolu au projet en début et fin des cycles. Les objectifs et particularités de chaque projet sont décrits dans la troisième partie. Enfin, la quatrième partie synthétise les spécificités de l'enseignement par projet et présente l'approche duale parfois mal prise en compte par les enseignants ou mal perçue par les étudiants.

2. INTÉGRATION DES PROJETS DANS LE CURRICULUM

Les études d'ingénieur civil s'adressent à des étudiants ayant réussi leurs études d'humanités (niveau du baccalauréat) et un examen d'admission portant sur les mathématiques. Elles comportent cinq années d'études réparties sur deux cycles. Le premier («candidatures», en 2 ans) porte sur les enseignements de base (i.e mathématiques, physique, etc.) et les sciences humaines. Le second cycle («techniques», en 3 ans) est réservé à l'apprentissage d'une spécialité (c'est-à-dire : mécanique, électricité, sciences des matériaux, etc.)

L'enseignement de la conception en génie mécanique est réparti sur les quatre premières années. La cinquième année est réservée en majeure partie au travail de fin d'études.

À l'UCL, comme dans la plupart des institutions, un projet de fin de second cycle fait la synthèse des enseignements reçus et les applique à un problème concret de conception mécanique.

L'originalité de notre approche est d'avoir intégré, en complément de cet enseignement de «synthèse», des projets en début de cycle faisant découvrir, de façon intuitive, un processus de conception ou les fonctions et caractéristiques des organes d'une machine.

Le tableau 1 présente les caractéristiques de quatre projets proposés en génie mécanique et les objectifs poursuivis.

Année d'étude	Objectifs	Exemples de réalisation	Spécialité	Nbre d'étudiants	Nbre heures	Encadrement
1 (candi)	Initiation à la démarche du projet	Conception d'un engin volant	toutes	320 (groupes de 8)	45	8 assistants 8 étudiants
2 (candi)	Rôle du calcul dans la conception	Conception d'un planeur	au choix	50 (groupes de 4)	45	2 assistants
1 (techn)	Initiation à l'analyse fonctionnelle	Étude d'un mécanisme	méca	25 (groupes de 2)	45	2 assistants 1 technicien
2 (techn)	Synthèse	Conception d'une machine	méca	50 (groupes de 2)	80	5 assistants

Tableau 1 : Les projets par année d'études

Cette chronologie particulière repose sur un apprentissage en trois cycles :

- la contextualisation, qui consiste à placer l'étudiant devant un problème réel et l'invite à le résoudre par une approche intuitive tout en découvrant certains aspects techniques. Les thèmes proposés abordent des problèmes authentiques tant au niveau de leur contenu, de leur complexité que de la variété des aspects à traiter ;

- la décontextualisation correspond à l'étape d'analyse et de maîtrise des connaissances au travers des cours magistraux en génie mécanique ;

- la recontextualisation vise le transfert des connaissances et compétences acquises lors des cours et leur application en situation réelle, ce qui nécessite, de la part de l'étudiant, leur complète intégration dans sa méthodologie de travail (étape de synthèse).

3. LES PROJETS

3.1. Premier projet : initiation à la démarche du projet

Lors du premier semestre de la première candidature, le projet offre aux nouveaux étudiants un lieu « d'action » où faire preuve de dynamisme, de réflexion, d'intuition, de créativité etc., et exprimer leur enthousiasme pour leurs nouvelles études, et représente également un lieu « social » de travail en équipe facilitant leur intégration dans le milieu universitaire.

Le thème du projet est laissé très ouvert afin de favoriser la phase de création et ne pas se focaliser directement sur des aspects techniques ou économiques. Les sujets proposés depuis cinq ans ont été la conception

d'un cadran solaire, d'un engin roulant à propulsion électrique, d'un engin flottant démontable, d'un engin volant rattaché au sol et d'un engin utilisant l'énergie développée par une bougie.

Le terme «engin» (du latin ingenium, intelligence, habileté) est préféré à celui de «véhicule» car plus ouvert, et, de ce fait, plus porteur d'innovation et de prouesse technologique ou artistique. Les étudiants définissent eux-mêmes les fonctions de leur engin et en proposent des solutions techniques cohérentes.

Les étudiants répondent avec ingéniosité et enthousiasme au défi proposé. Leur motivation est d'autant plus grande qu'ils perçoivent l'impact du projet sur leur formation, qu'ils maîtrisent l'orientation de leurs recherches et qu'ils se sentent capables de les mener à bien.

Le projet se subdivise en quatre étapes. Dans un premier temps, chaque groupe imagine un concept à réaliser. Les exemples vont du plus ludique (exemple : engin électrique de plage) au plus fonctionnel (exemple : le transport de blessés dans un parc d'attractions).

Ensuite, chaque étudiant propose plusieurs esquisses du concept (figure 1) à l'assistant qui en fournira une critique constructive (exemple : faut-il cacher le blessé ou le montrer afin d'inciter le public à la prudence ?)

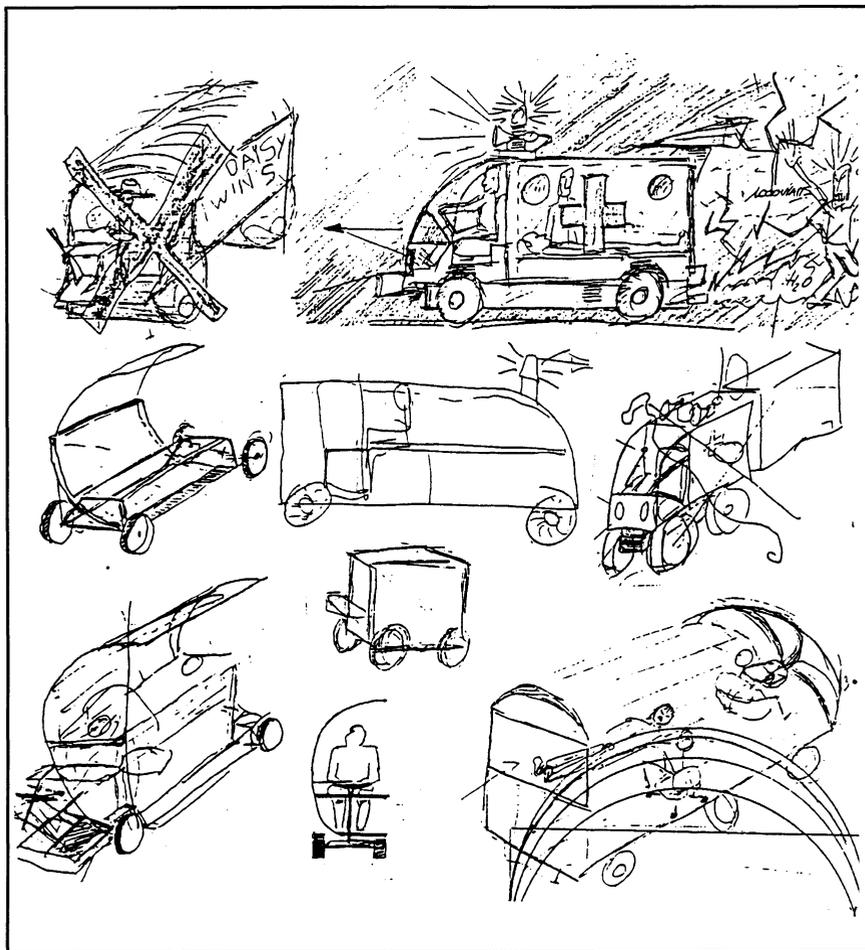


Figure 1 : Esquisses d'un engin roulant de secours pour un parc d'attractions (Asproni et al., 1994)

Sur la base de cette solution «schématique» ou conceptuelle, les étudiants dimensionnent leur engin en abordant intuitivement les aspects techniques. Par exemple, les notions de structure et de résistance de matériaux sont abordés grâce à des maquettes en carton, en Legos™, etc.

Le concept aboutit enfin à la réalisation d'un plan d'ensemble et d'une vue en perspective qui permet de présenter l'engin en situation. Afin de dépasser ce stade conceptuel, certains projets ont conduit à la réalisation de prototypes (figure 2).



Figure 2 : **Présentation des engins volants**

Environ 350 étudiants sont concernés par ce projet d'un volume horaire de 45 heures. Afin de susciter une dynamique de travail, les étudiants sont répartis par groupes de huit qui travaillent de manière autonome sous la supervision d'un assistant-chercheur architecte, pour la partie initiation au projet, et d'un assistant-chercheur mécanicien, pour l'aspect mécanique. De plus, deux étudiants-moniteurs (étudiants en années «techniques») participent à l'encadrement en assurant le suivi rapproché des étudiants. Les enseignants supervisent les séries et forment le jury d'évaluation.

Par le biais de l'enquête pédagogique organisée chaque année (Aguirre, à paraître), les étudiants font part de leur enthousiasme pour ce projet et en particulier pour la réalisation pratique et les aspects humains du travail en équipe.

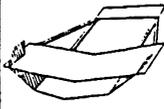
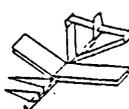
3.2. Deuxième projet : le rôle du calcul dans la conception (première synthèse)

En deuxième année, les étudiants choisissent deux projets parmi ceux proposés par les cinq spécialités de la faculté (c'est-à-dire : mécanique, électricité, informatique ou mathématiques appliquées, construction civile ou architecture, matériaux ou procédés).

Ces projets abordent un problème précis d'ingénierie et utilisent les connaissances acquises dans les autres enseignements. Ils contextualisent les orientations du diplôme que chaque étudiant devra choisir en début de troisième année.

Un des projets proposés par les mécaniciens est centré sur l'utilisation du calcul dans un problème de conception (modélisation et simulation de systèmes mécaniques). Sa particularité est de bien faire ressortir les phases initiales de conception pure (la synthèse) et les phases d'analyse (le calcul).

Le projet se réalise en trois phases. Lors de la première étape, par exemple de la conception d'un planeur, les étudiants doivent faire preuve d'imagination et proposer des esquisses de planeur illustrant diverses alternatives. Sur la base d'arguments tels que la facilité de construction, la stabilité (notion intuitive à ce stade), ils sélectionnent, en accord avec les enseignants, une solution à développer (figure 3).

	 Bi-Plan	 B-2	 Delta	 M-C'
Originalité	+	0	++	-
Solidité	0	+	-	+
Faisabilité	+	+	-	0
Stabilité	-	-	+	++
Réglage	0	-	++	+
Portance/poids	+	++	0	+
Total	++	++	+++	++++

très mauvais --, mauvais -, moyen 0, bon + excellent ++

Figure 3 : Argumentation des alternatives et choix de la solution (adaptée de Goyens et al., 1996)

Dans un second temps, les étudiants réalisent une maquette de leur planeur, en modélisent les performances et évaluent certains paramètres (exemple : la traînée) lors d'essais en soufflerie. Ensuite, ils simulent le vol du planeur et en déduisent la longueur du vol avant atterrissage.

Enfin, le prototype est construit et essayé sur le lanceur. Cet essai fait l'objet d'une compétition amicale entre étudiants.

Un indice de performance permet d'évaluer sans ambiguïté la solution proposée. Il s'agit de vérifier l'adéquation entre la distance parcourue estimée par simulation et celle effectivement parcourue durant l'essai. Afin de fixer les règles du jeu dès le départ, les matériaux utilisables sont imposés et les conditions de vol sont uniformisées par l'utilisation d'un lanceur commun.

Ce projet concerne une cinquantaine d'étudiants répartis en groupes de quatre. Les thèmes abordés étant très divers (exemples : conception, essai de soufflerie, modélisation aéronautique, simulation numérique, etc.), l'encadrement nécessite une équipe d'assistants spécialisés dans chacun de ces domaines.

D'autres thèmes ont été abordés tels la conception de véhicules à propulsion mécanique (Raucent & Johnson, 1997).

Par le biais des enquêtes pédagogiques, les étudiants expriment leur intérêt pour la clarté de l'enjeu et l'aspect pratique de la réalisation d'un prototype. Ce projet remplit ainsi parfaitement son rôle d'initiation à la synthèse et de découverte d'une discipline particulière.

3.3. Troisième projet : introduction à l'analyse fonctionnelle

Au travers d'une expérimentation pratique, le premier projet des étudiants de la spécialité mécanique (second cycle) les initie à l'étude fonctionnelle d'une machine. Il se veut un lieu de découverte et de prise de conscience des problèmes liés aux mécanismes classiques. Il s'agit en effet d'examiner ces mécanismes et d'apprendre à se poser des questions précises et pratiques quant à leur fonctionnalité et leur mise en oeuvre (transmission, étanchéité, assemblage, etc.)

Les questions de fond (souvent plus théoriques) sont ensuite abordées dans les cours magistraux de la filière «construction des machines».

Le projet proposé se réalise en deux phases. Dans un premier temps, les étudiants, par groupe de deux et sous la supervision rapprochée d'un technicien spécialisé, démontent un mécanisme complexe ayant de nombreuses fonctionnalités, à savoir un moteur de voiture. Les informations

récoltées et les croquis des composants sont consignés dans un cahier de laboratoire.

Dans un second temps, les étudiants étudient le fonctionnement d'un composant particulier du moteur. Ils prennent des croquis, s'interrogent sur la fonction de chaque surface (exemples : glissement avec frottements, assemblage fixe, étanchéité, etc.), mesurent les états de surface et les cotes fonctionnelles, estiment les tolérances, etc. (figure 4).

Ils exécutent ensuite le schéma fonctionnel à la main et le plan d'atelier sur un logiciel de dessin assisté par ordinateur (AUTOCAD™).

Les enseignants insistent sur l'exactitude des dessins techniques et le respect des normes de représentation, car il s'agit d'un mode de communication à part entière. De plus, le plan est la première validation du concept. En dessinant, les contraintes apparaissent et les idées se mettent en place.

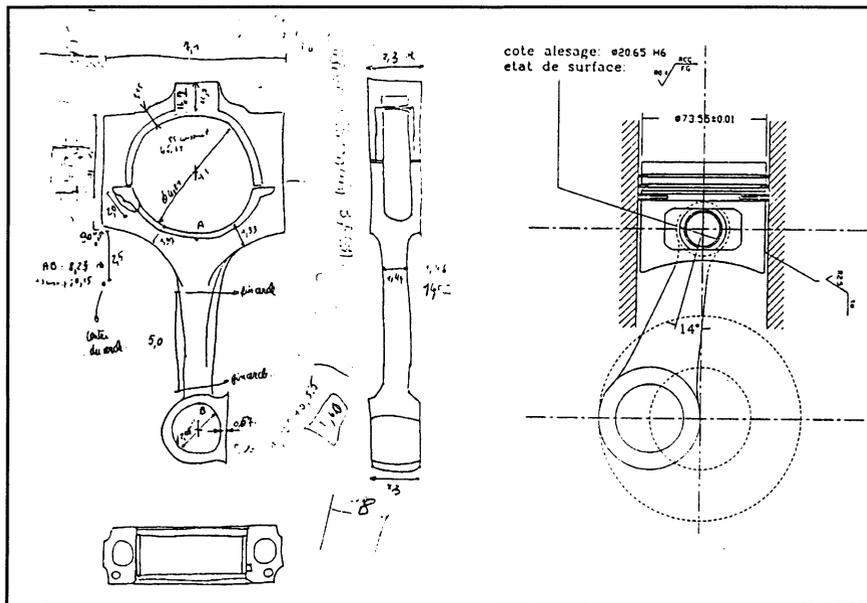


Figure 4 : Dessin et schéma fonctionnel d'une bielle

3.4. Quatrième projet : la synthèse

Ce projet se déroule durant la quatrième année et a pour objectif d'intégrer tous les acquis, tant théoriques que pratiques, lors de la résolution d'un problème concret. Les étudiants, par groupes de deux à quatre, choisissent leur sujet dans une liste proposée par les enseignants et des

La figure 5 présente la méthodologie suivie tout au long de ce projet de synthèse (Lamboray et al., 1997). Elle est basée sur l'approche de Pahl & Beitz (1988) et se subdivise en 4 étapes :

- 1) la clarification : rédaction du cahier des charges fonctionnelles en définissant les fonctions à remplir, les performances à atteindre et les contraintes à respecter ; aucune solution n'est envisagée à ce stade,
- 2) le «design» conceptuel : proposition de solutions pour chaque fonction prise séparément et combinaison de ces sous-solutions pour définir des solutions complètes réalistes ; comparaison des alternatives sur base des performances et contraintes spécifiées dans le cahier des charges ;
- 3) l'optimisation : sélection du concept le plus adéquat ; optimisation, dimensionnement des composants, étude des détails et réalisation de tous les documents nécessaires ;
- 4) le «design» de détails : présentation d'un plan d'ensemble permettant d'évaluer la cohérence de la solution développée (pas de plan détaillé des composants).

4. SPÉCIFICITÉS DE L'ENSEIGNEMENT PAR PROJET

L'enseignement par projet est très particulier et nécessite une approche duale parfois mal prise en compte par les enseignants et mal perçue par les étudiants.

4.1. L'interaction étudiant-enseignant : entre la coopération et la confrontation

Contrairement à ce qui se passe pour un exercice classique, l'enseignant qui encadre un projet ne connaît pas la solution au problème posé et ne peut pas garantir aux étudiants la bonne convergence du processus de conception. L'étudiant doit, de ce fait, accepter de se remettre perpétuellement en question et y est incité par une confrontation permanente et une coopération assidue avec l'enseignant. Cette remise en question continue est parfois difficile à accepter par les étudiants qui la ressentent comme porteuse d'insécurité, voire comme un manque de cohérence de la part de l'enseignant.

Il est cependant impératif de préciser ces règles du jeu. L'enseignant aide, oriente etc., mais uniquement à la demande de l'étudiant qui reste maître de son projet.

4.2. L'encadrement : entre le partage d'expériences et le transfert de compétences

L'apprentissage de la conception mécanique peut être confié soit à des professionnels de l'enseignement soit à des «praticiens» de la conception issus de l'industrie. Le second choix peut cependant s'avérer dangereux car un bon concepteur base sa démarche sur son expérience et sur un grand nombre «d'évidences» qu'il peut avoir du mal à communiquer aux étudiants. Il va droit au but, simplifie les problèmes, fait des choix sur la base de son intuition etc. Or ce sont là justement les points les plus difficiles à appréhender par l'étudiant !

Le rôle de l'enseignant de conception est de développer chez l'étudiant son esprit de synthèse et de création en l'incitant à acquérir, de manière autonome, une méthodologie de travail et des points de repère. Plus tard, sur la base de son expérience personnelle, le jeune concepteur appliquera «sa» propre démarche en se souvenant, sans doute avec amusement, des erreurs commises et de la «lourdeur» de la méthode enseignée, car «il faut pratiquer la conception pour la maîtriser».

4.3. La charge horaire : entre la frustration et la démotivation

Une autre caractéristique propre aux projets, souvent difficile à gérer, est la charge horaire des étudiants et des enseignants. Quand il s'agit de réaliser concrètement un objet, les étudiants, très enthousiastes, ont souvent tendance à dépasser le temps imparti. Le rôle de l'enseignant est alors de doser les efforts afin de ne pas frustrer l'étudiant face à un travail inachevé, tout en assurant une certaine qualité au projet. À l'opposé, s'il s'agit de réaliser des plans techniques, certains étudiants ont tendance à se décourager en fin de parcours. Le travail de l'enseignant est alors de les remotiver afin qu'ils puissent «finaliser» leur projet.

Encadrer un projet ne se limite pas à préciser l'objectif, à donner les informations nécessaires et à évaluer les résultats. Pour qu'il soit instructif, il faut assurer une guidance assidue des étudiants. La charge horaire pour l'enseignant et son équipe est de ce fait très lourde. Cet inconvénient ne remet pas en cause la faisabilité du projet pour des grands groupes d'étudiants, mais nécessite une certaine expérience dans la gestion de groupes et la possibilité de disposer d'une équipe d'assistants motivés et compétents.

4.4. La guidance : entre le quotidien et le long terme

Deux types de guidance ou d'interaction entre les étudiants et les enseignants, sont proposés :

– la guidance «rapprochée» qui consiste à aider les étudiants dans leurs problèmes quotidiens, par exemple la recherche d'une solution à un problème ponctuel, la mise à disposition d'un catalogue ou la discussion des règles de l'art lors d'un dimensionnement ;

– la guidance «stratégique» qui, par contre, a pour objet de baliser le terrain, d'évaluer les grandes options prises et de proposer de nouvelles solutions à étudier.

Les étudiants ayant tendance à se limiter au court terme ou à la réponse immédiate, il est important de différencier ces tâches et de les confier à des personnes différentes : d'une part les assistants, à l'écoute des problèmes quotidiens des étudiants, d'autre part le professeur avec lequel la discussion porte sur des problèmes de fond.

4.5. Le choix du sujet : entre l'ouverture à la créativité et la focalisation sur les objectifs

Outre la qualité de l'encadrement, le choix du sujet est fondamental pour la réussite du projet. Un thème motivant et accessible pour l'étudiant lui permet de se sentir maître de son projet. Un sujet dans le domaine des compétences de l'enseignant lui assure intuition et repères lors de l'argumentation des alternatives.

La description du sujet est également primordiale. Le choix du terme «engin» plutôt que «véhicule» et l'importance du «critère de performance» dans les projets du premier cycle ont été présentés. Il s'agissait, d'une part, d'ouvrir le problème pour favoriser la créativité et, d'autre part, de préciser les objectifs afin d'intégrer judicieusement les calculs et l'optimisation dans le processus de conception.

Enfin, lors du dernier projet les étudiants choisissent eux-mêmes leur sujet au sein d'une liste proposée par les enseignants. Il s'agit là d'une condition indispensable à la motivation des étudiants. La liste permet aux enseignants de s'assurer de la concordance du sujet avec les objectifs du projet, de la complexité adaptée aux connaissances des étudiants ou à leur propre compétence et du volume horaire raisonnable à y consacrer.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'introduction de projets dans le curriculum des étudiants ingénieurs depuis 1994 a porté ses fruits. Notre expérience nous a démontré qu'il est réaliste de mener à bien un projet avec plus de 300 étudiants en début de cycle.

Diverses réflexions doivent encore être approfondies afin de renforcer les projets en « candidatures » et assurer la transversalité des thèmes proposés. Notre souhait est en effet d'en élargir l'usage en « candidatures » ; d'une part, en l'introduisant dès la rentrée académique afin de s'en servir comme « moteur » de la contextualisation et d'autre part en élargissant le thème du projet de seconde candidature afin qu'il intègre toutes les matières enseignées.

En conclusion, les projets sont un travail d'équipe où tous les participants, étudiants, assistants et enseignants, sont acteurs et co-auteurs de leur formation.

BIBLIOGRAPHIE

- AGUIRRE E., RAUCENT B., SOBIESKI P. & WOUTERS P. (à paraître). L'évaluation pédagogique des enseignements en Facultés des Sciences Appliquées. *Didaskalia*.
- ASPRONIE., LÉVÉQUE D., SONON P., THOREAU A., VENDERVENNET Y. & VERCRUYSSSE L. (1994). Véhicule de secours. *Rapport étudiant du Projet FSA 1631*. Louvain-la-Neuve, UCL.
- DUTRY G., RAUCENT B. & SIMON F. (1995). Conception d'un engin roulant à propulsion électrique. *Dossier enseignant du Projet FSA 1631*. Louvain-la-Neuve, UCL.
- GOYENS A., HOFFMAN F., JANSSENS D. & SLAWECKI A. (1996). Planeur. *Rapport étudiant du Projet FSA 1015*. Louvain-la-Neuve, UCL.
- LAMBORAY P., NOIRHOMME A., MAHAUT S. & MAILLARD CH. (1997). Conception d'une machine de nettoyage. *Projet en construction mécanique II, rapport étudiant du projet MECA 2840*. Louvain-la-Neuve, UCL.
- PAHL G. & BEITZ W. (1988). *Engineering Design, A Systematic Approach*. London, Springer-Verlag.
- PRUVOT F. (1993). *Conception et calcul des machines-outils, volume 1 : Généralités, Morphologie, Plan Général*. Lausanne, Presses Polytechniques Universitaires Romandes.
- RAUCENT B. (1996). *Projet en Construction Mécanique. Notes de cours, MECA 2840*.
- RAUCENT B. & JOHNSON D. (1997). Linking Design and Simulation : A Student Project. *Journal of Engineering Design*, vol. 8, pp. 19-31.

L'enseignement des sciences physiques dans les sections de baccalauréat professionnel : compte rendu d'innovation

Teaching physics in classes of « baccalauréat professionnel » : report of innovation

Daniel SECRÉTAN

Inspection générale, groupe de physique-chimie
Ministère de l'Éducation nationale de la Recherche et de la Technologie
110 rue de Grenelle
75357 Paris, France.

Résumé

L'enseignement des sciences physiques a été profondément rénové dans les sections de baccalauréat professionnel, depuis la rentrée scolaire 1996. Les nouveaux programmes ont, comme objectifs premiers, de donner aux élèves les éléments de culture scientifique nécessaires à tout citoyen, et de leur faire acquérir des méthodes et des connaissances scientifiques fondamentales et spécialisées. Pour atteindre ces objectifs, les programmes comportent deux composantes bien identifiées : une formation méthodologique de base, commune à tous les baccalauréats professionnels, et une formation spécialisée, constituée d'unités spécifiques dont l'assemblage est propre à chaque baccalauréat professionnel. La nécessité d'une approche concrète des questions posées est affirmée ; elle se traduit par la place accordée aux activités expérimentales réalisées par les élèves,

en travaux pratiques et en classe laboratoire. À compter de la session 1998, les compétences expérimentales des candidats seront reconnues à l'examen grâce à la mise en place d'une épreuve pratique.

Mots clés : *enseignement professionnel, sciences physiques, programmes, travaux pratiques.*

Abstract

The teaching of physics has been thoroughly updated in classes of baccalauréat professionnel since 1996. The new syllabuses principally aimed at providing students with principles of scientific culture which is necessary for all citizens, so that they get specialized in basic scientific methods and knowledges. In order to reach these targets, syllabuses are divided into two clear-cut components : a basic methodologic training for all baccalauréats professionnels and a specialized training composed of special units which are chosen according to the different baccalauréats professionnels. It is absolutely necessary to have a concrete point of view on posed problems : consequently, students do carry out experiments in practicals and labworks. From 1998, the experimental abilities of applicants will be tested through a practical exam.

Key words : *professional training, physics, curriculum, practicals.*

Resumen

La enseñanza de las ciencias físicas ha sido profundamente renovada en las secciones del bachillerato profesional, desde el inicio del año escolar 1996. Los nuevos programas tienen, como objetivos primordiales, dar a los alumnos los elementos de la cultura científica necesarios a todo ciudadano, y de hacerles adquirir los métodos y los conocimientos científicos fundamentales y especializados. Para lograr estos objetivos, los programas comportan dos componentes bien identificados: una formación metodológica de base, común a todos los bachilleratos profesionales, y una formación especializada, constituida por unidades específicas cuyo ensamblaje es propio a cada bachillerato profesional. Se afirma la necesidad de un enfoque concreto de las preguntas planteadas; ella se traduce por el lugar acordado a las actividades experimentales realizadas por los alumnos, en trabajos prácticos y en clases de laboratorio. A partir de la sesión 1998, las competencias experimentales de los candidatos serán reconocidas en el examen gracias a la concepción de una prueba práctica.

Palabras claves : *enseñanza profesional, ciencias físicas, programas, trabajos prácticos.*

INTRODUCTION

Le baccalauréat professionnel est le terme actuel de l'évolution des enseignements professionnels dispensés dans les lycées professionnels.

Jusqu'en 1971, la formation professionnelle conduisait au CAP¹ préparé dans les Collèges d'Enseignement Technique (CET) en trois ans après la cinquième. La création du BEP² en 1971 marque une première étape importante dans l'évolution de la formation professionnelle courte. Le CET devient alors le Lycée d'Enseignement Professionnel (LEP) et il devient possible de préparer le CAP³ en deux ans après la troisième

La création du baccalauréat professionnel⁴ en 1985 (première session en juin 1987) marque la deuxième grande étape. Le LEP devient le Lycée Professionnel (LP).

Actuellement, le lycée professionnel présente une structure comparable à celle du lycée d'enseignement général et technologique (LEGT) ; les durées respectives du cycle de détermination diffèrent cependant car, pour les lycées professionnels, ce cycle est constitué des classes de seconde professionnelle et de terminale BEP, mais de la seule classe de seconde pour le lycée d'enseignement général.

De plus en plus nombreux sont les élèves qui, titulaires d'un BEP souhaitent poursuivre des études et obtenir un baccalauréat professionnel ; les candidats scolarisés⁵ préparent ce diplôme en deux années. Au total, depuis la seconde, quatre années d'études sont donc nécessaires pour préparer un baccalauréat professionnel.

Diplôme de niveau IV apprécié des professionnels, le baccalauréat professionnel a pour finalité principale l'insertion professionnelle ; de très rares élèves poursuivent avec succès des études dans une section de techniciens supérieurs.

1. LA RÉNOVATION DES SCIENCES PHYSIQUES : OBJECTIFS ET PROGRAMMES

La mise en place, en 1994, en 2^{ème} année de BEP, de nouveaux programmes, l'ancienneté de certains programmes de baccalauréats professionnels (dix ans pour ceux datant de la création du baccalauréat professionnel) rendaient nécessaire une actualisation des contenus de l'enseignement des sciences physiques dans les baccalauréats professionnels.

Les remarques des professionnels, les résultats obtenus par les élèves à l'examen⁶, les constats des corps d'inspection, ont montré qu'une simple actualisation des contenus n'était pas suffisante. Il était indispensable d'explicitier les objectifs de l'enseignement des sciences physiques, et, pour tenter de les atteindre, il fallait intervenir sur :

- la structure de l'enseignement,
- les méthodes et les contenus,
- l'évaluation des candidats à l'examen, celui-ci n'étant pas sans incidence sur l'enseignement dispensé.

Les choix opérés dans chacune des 32 spécialités de baccalauréat professionnel industriel l'ont été en étroite concertation avec les enseignements professionnels. Leur articulation a été aussi recherchée avec l'enseignement de mathématiques et avec les programmes de sciences physiques des BEP.

1.1. Les objectifs généraux de l'enseignement des sciences physiques⁷

La formation de sciences physiques dispensée dans le cadre des programmes de baccalauréat professionnel a pour objet de développer les éléments de culture scientifique nécessaires à tout citoyen et de faire acquérir des méthodes et des connaissances scientifiques fondamentales et spécialisées qui faciliteront l'appropriation de la formation professionnelle. Il faut notamment :

- apporter aux élèves les éléments de compréhension des fondements théoriques des formations professionnelles qu'ils reçoivent ;
- leur permettre de s'adapter à l'évolution des techniques, de disposer des éléments nécessaires aux évolutions probables dans leur vie professionnelle ;
- leur donner une formation équilibrée pour leur permettre d'accéder, par des parcours adaptés, à d'autres niveaux de formation ;
- leur donner la connaissance et la culture scientifiques nécessaires pour appréhender de façon avisée et responsable les questions que soulève le développement des sciences dans le monde contemporain : sauvegarde de l'environnement, maîtrise et choix des sources d'énergie, sécurité, santé, etc.

Il convient de rappeler que les sciences physiques, comme les autres enseignements, visent à donner aux élèves des méthodes générales de travail et qu'elles doivent contribuer à développer la qualité de leur expression écrite et orale en langue française.

Pour répondre à ces différents objectifs, les programmes de sciences physiques de baccalauréats professionnels sont tous constitués d'une

formation méthodologique de base commune à toutes les spécialités, et d'un ensemble d'**unités de formation spécifiques**, propre à chaque spécialité de baccalauréat professionnel. Ces deux formations sont présentées dans la suite du document.

1.2. La démarche expérimentale motivante et efficace pour les élèves

Les programmes préconisent la pratique d'activités expérimentales par les élèves eux-mêmes lors de travaux pratiques (TP) ou en classe laboratoire. Ces activités expérimentales doivent avoir pour objet, d'abord, d'apprendre aux élèves à observer, à se poser des questions et à confronter les conséquences de leurs représentations personnelles à la réalité. Elles les aident aussi à acquérir des connaissances, des savoir-faire et surtout une méthode d'analyse et de raisonnement leur permettant de formuler avec pertinence des jugements critiques.

De tels apprentissages ne peuvent être conduits que par des méthodes actives car, sans elles, la plus grande partie des élèves mobilise difficilement ses capacités d'abstraction et de concentration. De ce fait, un enseignement formel et abstrait des sciences physiques conduirait de plus en plus à l'échec. C'est aussi pour cela que cet enseignement doit comporter une large part d'activités expérimentales. Un proverbe chinois affirme à ce sujet *« ce que j'entends, je l'oublie ; ce que je vois, je le retiens ; ce que je fais, je le comprends mieux. »*

Enfin, à côté d'objectifs disciplinaires, il faut faire mention d'autres objectifs, non disciplinaires, qui peuvent être choisis lorsqu'on cherche à mettre au point une séance de TP particulière ou que l'on peut se proposer d'atteindre à long terme par la pratique des activités expérimentales. Parmi ces objectifs non disciplinaires, on peut citer :

- la prévention des risques : faire prendre conscience des problèmes liés à la sécurité des personnes et au respect de l'environnement ;
- développer l'autonomie, l'organisation, l'esprit logique ;
- développer le sens du travail en équipe et du respect d'autrui ;
- développer l'initiative, la créativité, l'esprit critique et l'honnêteté intellectuelle ; aider à la maîtrise du langage, vecteur privilégié de la communication ;
- développer l'aptitude à lire des schémas et à en proposer (le schéma est un moyen d'expression scientifique moins « socialement sélectif » que le langage) ; développer le souci de la précision et du travail bien fait.

Au cours des séances de TP, il est explicitement demandé à l'enseignant, dans les programmes, de conduire ses élèves à mettre en

oeuvre des méthodes expérimentales, à réaliser des montages, à effectuer des observations et des mesures, à susciter leur réflexion sur la pertinence des résultats. L'enseignant doit aussi accorder, également en liaison avec les disciplines professionnelles, une large place aux questions relatives aux nuisances sur l'environnement ainsi qu'à la sécurité des personnes et des biens. Il doit s'impliquer dans l'exploitation des périodes de formation en milieu professionnel.

1.3. Les programmes

1.3.1. La formation méthodologique de base : une formation commune à toutes les spécialités

Deux raisons majeures ont conduit à élaborer ce socle de formation commun à toutes les spécialités.

La première provient de l'hétérogénéité des élèves qui ont suivi des parcours de formation divers, sont issus de BEP dont les programmes de formation sont différents. La formation méthodologique de base permet de conforter les acquis fondamentaux et l'appropriation de méthodes ; les élèves peuvent ainsi aborder les enseignements de sciences physiques spécialisés, les «unités spécifiques», sur la base de compétences communes.

La seconde tient à l'évolution des métiers : la maîtrise de connaissances de base et de méthodes est indispensable au futur salarié, pour qu'il puisse s'adapter à l'évolution de sa profession et progresser dans sa carrière. Il est aussi à souligner que la formation méthodologique de base rend envisageable une reprise ultérieure d'études.

Le programme de la formation méthodologique de base, précisé ci-dessous⁸ explicite les **compétences exigibles** (savoir-faire et connaissances à mettre en oeuvre) que les élèves doivent acquérir : celles-ci figurent dans le cadre supérieur du document «formation méthodologique de base» ci-après.

Ces compétences sont acquises lors de séances de travaux pratiques durant lesquelles le professeur conduit l'élève à se poser des questions relatives au bien fondé d'une méthode ou d'une technique, à la précision des mesures, à leur reproductibilité, au choix d'un appareillage, à la qualité d'un produit élaboré, au rendement d'une synthèse, au respect des consignes de sécurité.

L'élève est placé dans différents champs de la physique et de la chimie, ce qui permet de montrer la permanence de ces questions et des approches, et ainsi de généraliser, à chaque fois que cela est possible, les méthodes utilisées.

Les champs dans lesquels doivent être mises en oeuvre les compétences de base sont explicités dans la colonne de gauche du document.

La dernière colonne propose des exemples d'activités expérimentales possibles : leur choix relève de la responsabilité de l'enseignant en fonction des acquis des élèves ainsi que des matériels disponibles et des besoins constatés dans la spécialité concernée.

Aucune des activités expérimentales figurant dans le tableau n'est donc obligatoire ; le professeur peut préférer d'autres exemples en s'inspirant notamment des activités supports des unités spécifiques. Il est par contre demandé, dans un souci de formation équilibrée, de mettre en oeuvre au moins une activité expérimentale dans chaque champ d'application (électricité I, électricité II, mécanique, acoustique, optique, chimie I, chimie II).

FORMATION MÉTHODOLOGIQUE DE BASE

1. COMPÉTENCES EXIGIBLES

La formation de base est enseignée de façon sensiblement égale sur les deux années du cycle de formation, avec une répartition qui s'articule harmonieusement avec l'étude des unités spécifiques ; 20 à 30 % de l'horaire global lui est consacré.

Méthodes et savoir-faire expérimentaux

- réaliser un montage expérimental, à partir d'un schéma ou d'un document technique
- interpréter et exploiter les indications d'une étiquette, de la plaque signalétique d'un appareil, d'un document technique
- exécuter un protocole expérimental
- utiliser un appareil de mesure (ampèremètre, voltmètre, ohmmètre, multimètre, oscilloscope, sonomètre, pH-mètre)
- étalonner un appareil à l'aide d'une référence
- régler un appareil
- utiliser la verrerie courante de laboratoire (bécher, pipette jaugée, burette, fiole jaugée)
- respecter les règles de sécurité

Compte rendu d'une étude expérimentale

- dessiner un schéma normalisé à partir d'un circuit électrique
- tracer un graphique à partir d'un tableau de valeurs
- rendre compte d'observations

2. CHAMPS D'APPLICATION ET EXEMPLES D'ACTIVITÉS

Dans un souci de formation équilibrée, au moins une activité expérimentale doit être mise en oeuvre dans chaque champ d'application (Électricité I, Électricité II, Mécanique, Acoustique, Optique, Chimie I, Chimie II).

Tableau 1 : **Formation méthodologique de base en baccalauréat professionnel ; compétences exigibles (extrait du bulletin officiel)**

CHAMPS D'APPLICATION	EXEMPLES D'ACTIVITÉS MISES EN OEUVRE AU COURS DE SÉANCES DE TRAVAUX PRATIQUES
	Aucune des activités expérimentales figurant dans la colonne ci-dessous n'est obligatoire : pour chaque champ d'application, le professeur peut préférer d'autres exemples, notamment inspirés des activités supports des unités spécifiques
Électricité I (Courant continu) – tension et intensité – caractéristique courant-tension d'un dipôle passif ou d'un dipôle actif	– mesure d'intensité ou de tension en vue de vérifier une loi, de construire la caractéristique d'un dipôle passif ou actif – étude expérimentale de circuits électriques d'intérêt pratique, pouvant faire intervenir des composants électroniques
Électricité II (Courant alternatif sinusoïdal) – période, fréquence, valeurs efficace et maximale d'une tension sinusoïdale	– visualisation de tensions de différentes natures – mesure d'une période, d'une fréquence, des valeurs maximale et efficace d'une tension sinusoïdale – réalisation et étude expérimentale d'un montage redresseur
Mécanique – conditions générales d'équilibre d'un solide	– réalisation de l'équilibre d'un système – étude des leviers industriels – étude des caractéristiques des fixations de consoles supportant des charges – étude des facteurs d'adhérence et de frottement
Acoustique – hauteur et fréquence – niveau d'intensité acoustique	– mesure de la fréquence d'un son (voix, instrument de musique, diapason, haut-parleur couplé à un GBF) – mise en évidence, à l'aide d'un sonomètre, de l'influence d'un isolant phonique
Optique – réflexion – réfraction, angle limite	– vérification expérimentale des lois de la réflexion et de la réfraction – détermination de l'angle limite ; application à la fibre optique – réglage d'un système optique ; obtention d'une image nette
Chimie I (Solutions aqueuses) – espèces ioniques en solution – concentration	– préparation d'une solution de concentration donnée – réalisation d'un dosage acide-base – étude qualitative d'une eau : détermination de sa dureté, des concentrations en ions hydrogénocarbonate et chlorure – choix d'un détergent ou d'un solvant à partir de tests chimiques et de documents techniques
Chimie II (Chimie organique) – comportement des matières plastiques	– observation du comportement thermique des matières plastiques – observation du comportement des matières plastiques vis-à-vis des agents chimiques (acides, bases, solvants...) – reconnaissance de l'appartenance d'une matière plastique à une famille.

Tableau 2 : Formation méthodologique de base en baccalauréat professionnel ; champs d'application et exemples de TP

La formation méthodologique de base n'est pas un tronc commun, formule qui conduirait à des activités identiques dans tous les baccalauréats professionnels. Il s'agit par contre de mettre en oeuvre des activités

expérimentales prenant en compte les particularités du baccalauréat professionnel considéré, et de dégager à travers elles des méthodes et des savoir-faire expérimentaux généraux.

La formation méthodologique de base est dispensée au cours de séances de travaux pratiques de 2 heures.

Durant ces séances, les élèves sont entraînés à dégager les méthodes mises en oeuvre, l'enseignant rappelant et complétant les connaissances fondamentales de physique et de chimie relatives au champ d'application choisi dans la colonne de gauche du tableau.

Un compte rendu de travaux pratiques, correctement rédigé, est généralement demandé en fin de séance.

1.3.2. Les unités spécifiques : des assemblages d'enseignements propres à chaque spécialité

Les unités spécifiques visent à faciliter l'appropriation immédiate des formations professionnelles : elles apportent aux élèves des méthodes et des connaissances dans les champs des sciences physiques qui sous-tendent ces formations professionnelles. L'enseignement des unités spécifiques est donc développé en relation étroite avec les enseignements professionnels.

Le tableau 4 récapitule les différentes unités spécifiques à partir desquelles sont construits les assemblages particuliers à chaque baccalauréat professionnel. Il est à noter que ce tableau est évolutif : ainsi depuis sa première publication en juin 1995 il a été enrichi de l'unité spécifique «Radioactivité» dont la construction s'est avérée nécessaire lors de la création du baccalauréat professionnel «industrie des procédés».

Les différentes unités spécifiques sont présentées sur le même modèle que l'unité C2 ci-dessous « oxydoréduction en solution » (tableau 3).

CHIMIE
Unité spécifique C2
OXYDORÉDUCTION EN SOLUTION

Durée indicative : 10 heures

CONTENUS	EXIGENCES
<p>Introduction expérimentale du modèle par transfert d'électrons</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réactions entre un métal M et un ion métallique M^{n+}. - Présentation de quelques couples autres que ion métallique/métal en solution aqueuse <p>Potentiel standard d'oxydoréduction.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Classification quantitative des couples rédox. 	<p>Savoir-faire théoriques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour une réaction donnée, identifier l'oxydant, le réducteur, la forme oxydée, la forme réduite, l'oxydation et la réduction. - Écrire la demi-équation d'un couple rédox. - Écrire l'équation bilan d'une réaction d'oxydoréduction - Interpréter des expériences afin de réaliser un classement qualitatif. - Utiliser une classification quantitative pour prévoir si la réaction est réalisable ou pas. - Écrire le bilan des oxydations anodiques et des réductions cathodiques. - Reconnaître les différentes parties d'une pile commerciale. - Déterminer le point équivalent d'un dosage.
<p>Application à la prévision des réactions d'oxydoréduction</p>	<p>Savoir-faire expérimentaux</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réaliser une pile à partir de métaux et de solutions aqueuses. - Réaliser des réactions d'oxydoréduction faisant intervenir d'autres couples que ion métallique /métal en solution aqueuse.
<p>Exemples d'électrolyses ; applications pratiques</p>	
<p>EXEMPLES D'ACTIVITÉS SUPPORTS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Étude d'une pile commerciale. Il est recommandé de ne pas ouvrir les piles au mercure. - Historique des piles. - Dosages d'oxydoréduction. - Étude des couples rédox intervenant dans une solution d'antiseptique. - Étude des couples rédox intervenant dans le traitement des pâtes à papier. - Étude des couples rédox intervenant dans le traitement des photographies. 	
<p>COMMENTAIRES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les notions d'oxydant, de réducteur, de demi-équation, d'équation bilan peuvent être introduites à partir de l'étude d'une pile commerciale. - On indique les caractéristiques d'une réaction de dosage. Le choix de l'étude des couples rédox doit être adapté à la spécialité du baccalauréat considéré. Pour le baccalauréat industries chimiques et de procédés, l'étude de la corrosion est introduite dans cette unité . 	

Tableau 3 : Exemple d'unité spécifique en baccalauréat professionnel (extrait du bulletin officiel)

Dans la colonne «contenus» figurent les notions qui doivent être traitées dans le cours ; elles sont abordées dans un ordre qui prend en compte la progression choisie pour les enseignements professionnels.

La colonne «exigences» énumère la **totalité** des savoir-faire théoriques et expérimentaux exigibles lors des contrôles et à l'examen. Le programme officiel précise en outre que *«les relations mathématiques entre des grandeurs physiques qui sont la **traduction immédiate** des savoir-faire théoriques exigibles doivent pouvoir être explicitées par les élèves ainsi que les formules qui devaient être acquises dans les classes antérieures ; la connaissance de toute autre relation ou formule n'est pas exigible sauf mention explicite contraire dans le programme : "formule à connaître". Par conséquent, si des formules non exigibles sont nécessaires pour la résolution d'une question, elles seront données dans l'énoncé de la question qu'il s'agisse d'un contrôle ou de l'examen, aucun formulaire de physique n'étant autorisé durant les épreuves.»*

Les activités support proposées ne constituent que des exemples : aucune d'elles n'est obligatoire, le professeur pouvant parfaitement mettre en œuvre d'autres activités qu'il considère mieux adaptées au baccalauréat professionnel considéré.

Des précisions sur le programme, destinées aux professeurs, sont données par les commentaires : limitations du programme, suggestions pédagogiques visant à prendre en compte telle ou telle particularité d'un baccalauréat professionnel donné, informations scientifiques etc. Il est à noter que les commentaires obligent les auteurs de sujets d'examen et les examinateurs pour ce qui concerne les limites du programme.

Les unités spécifiques sont enseignées en prenant appui, aussi souvent que cela est possible, sur des considérations expérimentales. L'enseignement se déroule soit sous la forme de «classe laboratoire», appellation particulière aux lycées professionnels, qui peut s'apparenter aux « TP-cours » des lycées classiques, et sous forme de travaux pratiques. Durant cet enseignement, le professeur met en œuvre des méthodes, notamment celles acquises dans la formation méthodologique de base et vise l'appropriation des connaissances et des savoir-faire explicités au programme.

1.3.3.L'organisation de l'enseignement

Les programmes de sciences physiques de chaque baccalauréat professionnel (formation méthodologique de base et unités spécifiques), sont présentés globalement pour les deux années de formation, sans distinction entre la première et la deuxième année. En considérant une année scolaire de 35 semaines, le professeur dispose, théoriquement, d'un capital horaire de $35 \times 2 \times 2 = 140$ h, l'horaire hebdomadaire de sciences physiques étant de 2h pour tous les baccalauréats professionnels.

UNITÉS SPÉCIFIQUES							
DOMAINES	E1 :	E2 :	E3 :	E4	E5	E6	E7
ÉLECTRICITÉ	Régime sinusoïdal 10 h	Transport et sécurité 5 h	Puissance électrique 5 h	Électromagnétisme 5 h	Moteurs électriques 10 h	Électronique 10 h	E7 : Principes de fonctionnement de transducteurs 10 h
MÉCANIQUE	M1 : Cinématique 10 h	M2 : Dynamique 10 h	M3 : Énergie mécanique 10 h	M4 : Statique des fluides 5 h	M5 : Fluides en mouvement 10 h	M6 : Énergie hydraulique 5 h	M7 : Vibrations 5 h
ACOUSTIQUE	A1 : Production, propagation perception d'un son 10 h						M8 : Ondes 5 h
OPTIQUE	O1 : Lentilles convergentes 5 h	O2 : Lumière et couleur 5 h	O3 : Photométrie 5 h	O4 : Détecteurs, amplificateurs de lumière 5 h			
THERMODYNAMIQUE	T1 : Chaleur et rayonnement 10 h	T2 : Conduction thermique Isolation 5 h	T3 : Gaz parfait 5 h	T4 : Principes 5 h			
CHIMIE GÉNÉRALE	C1 : Acide base 10 h	C2 : Oxydoréduction en solution 10 h	C3 : Corrosion protection 10 h	C4 : Métaux métallurgie 10 h	C5 : Équilibres chimiques en phase gazeuse 10 h	C6 : Cinétique et catalyse 5 h	C7 : Techniques instrumentales d'analyse 10 h
CHIMIE ORGANIQUE	C8 : Alcanes 10 h	C9 : Matériaux organiques polyaddition 5 h	C10 : Matériaux organiques polycondensation 10 h	C11 : Structures propriétés des matériaux 5 h	C12 : Molécules du vivant 5 h	C13 : Textiles 15 h	
CHIMIE INORGANIQUE	C14 : Ciments, pâtes, verres 10 h	C15 : Céramiques 5 h					

Tableau 4 : Récapitulatif des unités spécifiques en baccalauréat professionnel (extrait du bulletin officiel)

En réalité, le professeur dispose de moins d'heures, en raison notamment des périodes de formation des élèves en entreprise et des jours fériés. Pour 100 h effectives d'enseignement, la part à consacrer à la formation méthodologique de base est de l'ordre de 20 à 30 h ; celle des unités spécifiques est donc comprise entre 70 à 80 h.

À titre d'exemple, la constitution du programme de la spécialité «Bois-construction et aménagement du bâtiment» est la suivante :

BOIS-CONSTRUCTION ET AMÉNAGEMENT DU BÂTIMENT
- Formation méthodologique de base
- Unités spécifiques suivantes :
Électricité
Transport et sécurité (E2)
Puissance électrique (E3)
Mécanique
Cinématique (M1)
Énergie mécanique (M3)
Acoustique
Production, propagation, perception d'un son (A1)
Thermodynamique
Chaleur et rayonnement (T1)
Conduction thermique, isolation (T2)
Chimie
Matériaux organiques, polycondensation (C10)

Tableau 5 : **Programme de la spécialité «Bois-construction et aménagement du bâtiment»**

2. LA RÉNOVATION DES SCIENCES PHYSIQUES : MISE EN PLACE DES PROGRAMMES

2.1. L'accompagnement de la mise en place

La structure innovante des programmes de sciences physiques des baccalauréats professionnels constitués d'une formation méthodologique et d'unités spécifiques, la mise en œuvre d'activités réalisées par les élèves et l'explicitation des objectifs recherchés à travers elles, ont suscité une réflexion pédagogique approfondie des enseignants, avec, le plus souvent, une remise en cause de leurs pratiques. La mise en place d'une épreuve

pratique de sciences physiques dans les baccalauréats professionnels à compter de la session 1998 a fait naître chez les enseignants des interrogations parfaitement légitimes, notamment des questions relatives à l'organisation matérielle de l'épreuve.

Aussi, des réunions d'information et d'échanges ont-elles été organisées dans les différentes académies, le plus souvent dans le cadre des missions dévolues aux MAFPEN (Mission Académique pour la Formation des Personnels de l'Éducation Nationale), à l'initiative des Inspecteurs de l'éducation nationale (IEN) de mathématiques-sciences physiques chargés des lycées professionnels.

Les regroupements nationaux des IEN organisés par l'inspection générale ont permis d'assurer une cohérence de l'ensemble des dispositifs académiques.

Une évaluation des conditions matérielles de l'enseignement des sciences physiques a été conduite par l'inspection générale avec le relais des IEN. Cette évaluation a permis de chiffrer le montant des crédits nécessaires pour la remise à niveau des établissements en matériel de sciences physiques.

L'état et les régions, le plus souvent par des plans pluriannuels, ont dégagé des moyens financiers très importants qui ont rendu possible un enseignement expérimental des sciences physiques alors que cela n'était guère envisageable auparavant dans de nombreux lycées professionnels.

Un guide d'équipement en sciences physiques des lycées professionnels sera prochainement publié ; il fournira aux instances de l'État et des Collectivités Territoriales concernées par l'enseignement de la physique et de la chimie, des éléments d'information sur cet enseignement et il leur proposera des aménagements de locaux et des choix de matériels qui, compte tenu des constats effectués, sont apparus les mieux adaptés et les plus rationnels.

2.2. Exemple de l'académie de Lyon

Au printemps 1996, les professeurs des lycées professionnels (PLP math/sciences des lycées publics et privés) ainsi que ceux exerçant dans les centres de formation d'apprentis (CFA) ont reçu une information sur les programmes de sciences physiques entrant en vigueur à la rentrée 96 en 1^{ère} de baccalauréat professionnel et 97 en terminale baccalauréat professionnel.

2.2.1. Les conditions de mise en place dans l'académie de Lyon

Les objectifs de la rénovation, la nouvelle structure de l'enseignement des sciences physiques dans les classes de baccalauréat professionnel (finalités de la formation méthodologique de base et des unités spécifiques) ont ainsi été présentés au cours de cinq journées délocalisées dans l'académie.

Durant l'année scolaire 96-97 la mise en application des programmes en 1^{ère} baccalauréat professionnel a été accompagnée d'une demi-journée d'échanges entre un professeur animateur et les professeurs de l'établissement, dans chaque établissement où les sciences physiques sont enseignées en baccalauréat professionnel. Ces échanges avaient pour objet :

- l'analyse fine des programmes,
- de proposer des réponses aux questions des enseignants,
- la mise en place des travaux pratiques de la formation méthodologique de base ;
- l'appropriation de sujets de travaux pratiques d'évaluation, de même type que ceux prévus à la session 98 de l'examen : «TP zéro»

L'année scolaire 97-98 a notamment permis d'affiner l'organisation de la 1^{ère} session d'examen pour laquelle les candidats sont évalués à partir d'une épreuve écrite et d'une épreuve pratique ; dans cette optique, une «épreuve blanche» a été mise en place dans chaque établissement. Le suivi de cette opération a été assuré par un professeur bénéficiant d'un mi-temps.

Sur le plan de l'équipement matériel, les établissements ont reçu, sur deux ans, une subvention globale de 70 000 F (état + région). Cet effort financier a permis de compléter les équipements existants d'une façon qui n'avait jamais été constatée par le passé pour l'enseignement des sciences physiques en lycée professionnel.

2.2.2. Quelques points de vue sur la rénovation

Nous rapportons ci-dessous quelques points de vue de professeurs, d'élèves et d'inspecteurs de l'académie de Lyon ; ces avis sont tout à fait représentatifs de ceux entendus dans les différentes académies.

Échos des professeurs¹⁰

- La nouvelle structuration de la présentation des programmes en facilite la lecture et la mise en oeuvre.

- Les unités spécifiques sont plus proches et mieux adaptées à la réalité quotidienne et professionnelle des élèves ce qui constitue un levier de motivation.

- Les nouveaux programmes et plus particulièrement la mise en place des TP ont dynamisé le travail en équipe.

- Les «TP-zéro» ont été appréciés.

- Les professeurs disent avoir apprécié l'animation pédagogique opportunément complétée par les dotations pour le matériel. Il reste cependant une crainte en matière de maintenance, voire de dégradation, du matériel.

- Les TP favorisent la mémorisation des notions surtout pour des élèves qui travaillent peu à la maison.

- Un point positif important des programmes : «on a diminué le savoir théorique au profit du savoir-faire».

- Un point négatif important : l'absence de personnel de laboratoire pose des problèmes de préparation, de maintenance et de rangement qui deviennent rapidement source de micro conflits.

- La diversité des nouveaux programmes pose des problèmes en cas de classes composites.

Échos des élèves¹¹

- Les TP «*c'est super*» disent les élèves ; «*on comprend mieux en faisant des expériences*».

- Les élèves retrouvent, à travers les travaux pratiques, une forme de travail qu'ils pratiquent en enseignement professionnel.

- Les élèves sont très intéressés par tout ce qui est nouveau par rapport au programme de BEP.

- Les élèves reprennent confiance à travers les TP.

Remarques des inspecteurs math-sciences de l'éducation nationale

- L'existence d'une épreuve en situation expérimentale à l'examen a été une motivation puissante pour les professeurs.

- La présence d'un volume horaire indicatif oblige les enseignants à ne pas déborder. Veillons bien à en tirer les conséquences pour l'épreuve écrite.

- La nouvelle structuration de la présentation des programmes a facilité le contrôle de la conformité des sujets d'examen.

- En général on constate que les élèves manipulent plutôt bien.

- Globalement les équipes d'enseignants se sont largement impliquées.

- Les équipes ont bien joué le jeu de l'absence de personnel de laboratoire, elles accepteraient mal que rien ne vienne à ce sujet.

- Dans quelques établissements le budget de fonctionnement du laboratoire est très réduit.

- On note quelques réticences à participer de la part d'enseignants n'ayant pas de baccalauréat professionnel en responsabilité.

Il apparaît sans équivoque que la pédagogie mise en place, fondée sur l'implication des élèves dans leur formation a conduit la très grande majorité d'entre eux à reprendre confiance alors que nombreux étaient ceux qui se trouvaient en situation d'échec en sciences physiques, voire avaient une attitude de rejet de la discipline.

Dans le cadre rénové de l'enseignement des sciences physiques, constitué de la formation méthodologique de base et des unités spécifiques, les enseignants ont été en mesure de proposer des situations d'étude en rapport direct avec la réalité quotidienne et professionnelle de leurs élèves ; ainsi motivés, ces derniers ont été plus enclins à rechercher par eux-mêmes, notamment par l'expérimentation, des réponses concrètes aux questions posées. Leurs compétences ont ainsi été décelées et valorisées, ce qui n'a pas été sans effet sur le climat de la classe et sur la considération portée à leur professeur.

CONCLUSION

La rénovation en profondeur de l'enseignement des sciences physiques voulue en 1995 par l'inspection générale, à l'initiative du Doyen Michel Becquelin, est maintenant réalisée. Cette rénovation a été possible grâce à un fort investissement de ses différents acteurs : professeurs et corps d'inspection bien entendu, mais aussi chefs d'établissement, division des examens et concours des rectorats, direction des lycées et collèges du Ministère.

Il faut aussi souligner le rôle déterminant des régions dans cette rénovation : nombreux en effet étaient les lycées professionnels qui ne disposaient auparavant que de très peu de matériels scientifiques voire même dans certains cas, d'aucune salle de sciences. Le niveau des crédits

délégués par les régions et par l'état a rendu possible la mise en place, dans un laps de temps très court, d'une véritable formation expérimentale des élèves.

Le défi que constituait la création d'une épreuve pratique de physique-chimie au baccalauréat professionnel à la session 1998 a été relevé en raison, ici aussi, d'une volonté collective d'aboutir. Les sujets et les barèmes d'évaluation nationaux qui ont été élaborés ont permis d'assurer l'équité entre les candidats, les épreuves quant à elles étant mises en place selon des modalités d'organisation innovantes, simples, fortement déconcentrées sur les établissements.

À en juger par les résultats de l'évaluation de l'épreuve pratique qui nous parviennent à la remise de cet article, la rénovation de l'enseignement des sciences physiques a été d'un fort impact sur la formation des élèves. Puissent les résultats obtenus pour les baccalauréats professionnels être un encouragement à poursuivre nos efforts en faveur des autres filières professionnelles.

ANNEXE

Principaux textes réglementaires

Programmes de sciences physiques applicables dans les classes préparant au baccalauréat professionnel : arrêté du 31 juillet 96 Boen n° 33 du 19 septembre 1996.

Évaluation expérimentale des sciences physiques au baccalauréat professionnel : modalités de l'épreuve : arrêté du 3 août 1995 Boen n° 33 du 14 septembre 1995.

Évaluation expérimentale des sciences physiques au baccalauréat professionnel : liste des types de matériels et d'appareils de mesure que les candidats devront savoir utiliser pour l'évaluation expérimentale : note de service 96 070 Boen n° 12 du 21 mars 1996.

Le livret scolaire dans les sections de baccalauréat professionnel : Boen n° 35 du 28 septembre 1995.

Élaboration des sujets de sciences physiques de l'épreuve de mathématiques sciences physiques des baccalauréats professionnels note de service 96 075 du 8 mars 1996 Boen n° 13 du 28 mars 1996.

NOTES

1 Certificat d'Aptitude Professionnelle. On note une forte diminution des effectifs des CAP «3 ans» : 475000 élèves en 1970-71, 21000 en 1996-97.

2 Brevet d'Études Professionnelles. Effectifs des BEP : 134000 élèves en 1970-71, 462000 en 1996-97.

3 On comptait 36000 élèves en CAP «2ans» en 1970-71 et 43000 en 1996-97.

4 93000 élèves en 1990-91 dans les sections de baccalauréat professionnel, 160000 en 1996-97, dont 75000 en terminale professionnelle. À titre de comparaison, la même année scolaire, on comptait : 85000 élèves en terminale L, 90000 en terminale ES, 155000 en terminale S.

5 Différentes voies permettent d'obtenir un diplôme professionnel, en particulier la voie scolaire, l'apprentissage, la formation professionnelle continue. Un candidat qui a exercé une activité professionnelle durant cinq années au moins peut être dispensé de certaines épreuves au titre de la «validation des acquis professionnels» prévue dans la loi du 20 Juillet 1992.

6 Les anciens programmes ont été jugés trop abstraits et donc peu adaptés aux élèves de lycée professionnel, et leurs contenus souvent éloignés des besoins de la profession. L'évaluation en sciences physiques à l'examen a conduit, pour différentes spécialités de baccalauréats professionnels, à des moyennes inférieures à 6/20 ; celles-ci s'écartent notablement de celles de français et de mathématiques (chacune est voisine de 9/20) et plus encore de celle des enseignements professionnels : près de 14/20.

7 Ces objectifs sont ceux énumérés dans les programmes publiés au bulletin officiel de l'éducation nationale.

8 Extrait du programme publié au bulletin officiel.

9 Les sujets des «TP-zéro» ont été élaborés par un groupe de travail piloté au niveau national ; ces sujets ont été diffusés dans toutes les académies. Ces informations se sont ajoutées à celles apportées par les commentaires des programmes et par le «document d'accompagnement des programmes». Outre des documents papier, le ministère a adressé, à la demande de l'inspection générale, une disquette dans chaque lycée professionnel pourvu de section de baccalauréat professionnel, sur laquelle ont été rassemblés les fichiers du programme, du document d'accompagnement, d'exemples de sujets d'évaluation de travaux pratiques, et la liste du matériel de physique et de chimie souhaitable dans chaque établissement.

10 et 11 Propos recueillis par les inspecteurs math-sciences et les animateurs de l'académie.

ASTOLFI J.-P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Paris, ESF, 117 p.

Cet ouvrage présente en un nombre de pages réduit, comme il est d'usage dans la collection «Pratiques et enjeux pédagogiques» dirigée par Michel Develay, un ensemble de réflexions, d'analyses et de propositions pédagogiques consacrées aux erreurs des élèves. Il se compose de trois parties d'importance inégale.

Dans la première partie intitulée «*Quel statut pour l'erreur à l'école ?*» (19 p.), l'auteur évoque deux conceptions dominantes qu'il s'attache ensuite à démonter : les erreurs conçues comme des «ratés» de l'apprentissage des élèves et renvoyant à des défauts (manque de travail, de capacité, de motivation, etc.) ou conséquences de l'inefficacité de l'enseignement donné. Ces conceptions négatives de l'erreur se traduisent par des sanctions des erreurs et/ou par une remise en cause des progressions didactiques, le maître étant supposé avoir comme idéal un parcours sans faute dans l'acquisition des savoirs disciplinaires. J.-P. Astolfi explicite les thèses (transmissive, comportementaliste et béhavioriste) qui sous-tendent de telles idées. En référence aux modèles constructivistes (de la connaissance et de l'apprentissage), il défend l'idée que les erreurs sont inhérentes au processus de construction des connaissances : «*les erreurs commises ne sont plus des fautes condamnables ni des bogues regrettables : elles deviennent les symptômes (en italique dans le texte) intéressants d'obstacles auxquels la pensée des élèves est affrontée*» (p. 15). Les erreurs ont un sens et traduisent les efforts des élèves pour s'approprier la connaissance. L'erreur est donc «*créatrice*» et par conséquent «*il faudrait se livrer (...) à un véritable éloge de l'imperfection*» (p. 28).

La seconde partie est intitulée «*À l'ombre de Bachelard et Piaget*» (26 p.). Ce sont pour J.-P. Astolfi, «*les deux références fondamentales*» permettant de mesurer les effets «*des processus qui conduisent à l'erreur*» (p. 29). Les concepts de *schèmes* et d'*obstacles* sont présentés comme constituant les fondements théoriques des analyses et propositions didactiques présentées dans la troisième partie.

Intitulée «*Une typologie des erreurs des élèves*», la troisième partie est la plus importante de l'ouvrage (41 p.). On y trouve une typologie des erreurs, lesquelles sont illustrées par des exemples relatifs à différents secteurs d'enseignements (français, mathématiques, physique, biologie, etc.) : les «*erreurs relevant de la compréhension des consignes*», «*résultant d'habitudes scolaires ou d'un mauvais décodage des attentes*», «*témoignant des conceptions alternatives*», les «*erreurs liées aux opérations intellectuelles*», «*portant sur les démarches adoptées*», «*dues à une surcharge cognitive*», «*des erreurs ayant leur origine dans une autre discipline*», «*des erreurs causées par la complexité propre du contenu*» (pp. 58 et 59). Selon J.-P. Astolfi, «*c'est l'analyse précise du contenu et de ses obstacles qui fournit la meilleure clé pour comprendre ces erreurs*» (p. 79), affirmant ainsi l'ancrage avant tout didactique de ses orientations personnelles : «*... il faut donc se centrer sur le contenu et ses difficultés intrinsèques, pour mieux finalement se centrer sur l'élève, en considérant le sujet didactique (en italique dans le texte) plutôt que le sujet psychologique*» (p. 81). La grille de diagnostic des erreurs proposée par l'auteur est assortie de propositions de «*médiations et remédiations*» récapitulées en un tableau synthétique (pp. 96 et 97).

L'ouvrage se conclut par une partie en forme de question : «*Professionnels du traitement de l'erreur ?*» (13 p.) dans laquelle l'auteur

défend l'idée qu'une plus grande professionnalisation du métier d'enseignant «*pourrait être l'enjeu d'un traitement plus pertinent des erreurs des élèves*» (p. 100). Il incite à «*prendre à bras le corps le processus didactique*». Les erreurs étant considérées comme «*des indicateurs de ce à quoi se trouve affrontée la pensée des élèves ainsi que des raisonnements auxquels ils s'essaient*» (p. 102), leur analyse est essentielle, qu'il s'agisse de comprendre le travail intellectuel des élèves et de l'accompagner à bon escient ou de leur renvoyer quelque chose qui leur signifie qu'ils sont compris par l'enseignant. Pour J.-P. Astolfi, «*devenir un professionnel de l'acte d'apprendre suppose qu'on développe l'habitude d'effectuer des diagnostics objectifs en situation*» (p. 103), ce qui suppose un certain nombre de remises en cause, comme celle qui consiste à exclure l'enseignant de l'analyse didactique. Pour conclure, l'auteur ouvre des perspectives à son propos, en faisant des incursions intéressantes du côté de deux thèmes d'actualité «*erreur et angoisse*» et «*erreur et violence*». Il lance sans doute un pavé dans la marre en signalant que «*nul ne dit que la violence scolaire soit d'abord d'origine interne, tant il est clair que bien des établissements sont le reflet des conditions de vie et des frustrations sociales ambiantes. Mais l'ensemble peut faire système, et le vécu scolaire entre alors dans le jeu comme une pièce du mécano*» (p. 110). Il appelle à un contrat pédagogique renouvelé dans lequel le travail des erreurs contribue à la «*structuration de règles de vie commune*», la stabilisation des conditions psychosociales au sein du groupe étant «*le fruit du travail didactique*» et non pas «*un préalable exigé*» (p. 110).

Tel qu'il se présente l'ouvrage est un essai à usage des enseignants et des formateurs par un chercheur connu en didactique des sciences. C'est à ce titre que nous ferons quelques remarques critiques.

Nous partageons avec l'auteur son souci de rendre accessibles aux formateurs et aux enseignants les résultats des recherches en didactique, ce qu'il fait, dans cet ouvrage, avec bonheur (style alerte et imagé, nombreuses illustrations). Vu le format de l'ouvrage, l'auteur a dû faire des choix, mais

certains sont contestables : en si peu de pages, les présentations de Bachelard et de Piaget sont nécessairement sommaires. Par ailleurs, la partie 3 montre à l'évidence que les cadres théoriques développés par ces auteurs ne suffisent pas à caractériser et à interpréter les erreurs. L'étude des erreurs qui fait partie d'un des champs d'études, fondateur des didactiques des disciplines, se nourrit d'autres cadres théoriques auxquels l'auteur lui-même fait appel : théorie des situations (Brousseau), théorie de la représentation et des champs conceptuels (Vergnaud), modèles psychologiques de la résolution de problèmes, etc. Il existe maintenant des ouvrages généraux auxquels l'auteur aurait pu renvoyer le lecteur pour approfondir ces aspects théoriques. Or l'auteur a le plus souvent préféré signaler des textes spécialisés. Pourquoi mettre en bibliographie la thèse de Samuel Jehus plutôt que le manuel écrit avec Jean-Jacques Dupin : *Didactique des sciences et des mathématiques*, ou encore deux textes difficiles à trouver de Gérard Vergnaud plutôt que l'ouvrage qu'il a coordonné «*Apprentissages et didactiques, où en est-on ?*» dans lequel le lecteur peut trouver une synthèse des travaux sur des champs aussi divers que les mathématiques, l'accès à l'écrit, la lecture, les sciences expérimentales, l'éducabilité cognitive. En bref, pourquoi présenter encore une fois des auteurs connus en édulcorant parfois leur projet (par exemple, Piaget est présenté à un moment comme un théoricien de l'apprentissage), plutôt que de renvoyer à la diversité des cadres théoriques nécessaires à l'interprétation des conduites des élèves ? Pourquoi est-il plus utile, dans un argumentaire sur l'importance du sujet traité, de faire appel à Edgar Morin (p. 9), Bourdieu et Passeron (p. 15), Michel Serres (p. 22), plutôt qu'à des didacticiens comme Guy Brousseau, Goery Delacôte, Victor Host, Andrée Tiberghien, qui ont été les pionniers des études sur les «erreurs» des élèves ? Les travaux de ces auteurs sont-ils devenus obsolètes ?

De manière générale, les critères de choix des ouvrages présentés en bibliographie sont difficilement cernables. Une vingtaine d'auteurs cités dans le texte ne sont pas référencés, alors même que certains sont connus pour leurs travaux dans le domaine traité. Par contre, des références non

fondamentales, difficiles à trouver pour le public auquel le livre est destiné sont indiquées. Une présentation de la bibliographie aurait été souhaitable. Peut-être aurait-il été judicieux de classer les références par champ. Faute de repère, le lecteur peut rester perplexe ou croire que l'établissement d'une bibliographie a peu d'importance (ce qui n'est pas vrai pour les mémoires professionnels des stagiaires auxquels un tel ouvrage ne manquera pas d'être recommandé).

L'auteur affirme, à juste titre selon nous, que l'analyse didactique des erreurs est essentielle et que, pour ce faire, les enseignants peuvent utilement s'appuyer sur les travaux de recherche. En effet, la compréhension des erreurs peut prendre du temps et nécessiter des investigations particulières (entretiens, questionnaires, etc.) Mais où trouver ces travaux ? L'auteur se contente de donner les références des exemples qu'il cite (nécessairement en nombre restreint), pas systématiquement d'ailleurs. Les seules revues citées sont *Repères-IREM*, *La revue Française de Pédagogie*, *Cahiers pédagogiques*, *Bulletin de Psychologie* (qui ne publie pas ce genre de travaux) mais ni *Aster*, ni *Didaskalia*. Pourquoi n'avoir pas tenté de systématiser les connaissances existantes en ce domaine (en n'oubliant pas les travaux étrangers) ?

En bref, un ouvrage sur un sujet important déjà largement traité, qui interroge sur la vulgarisation des travaux en didactique. Comment être concis, intelligible, donner une information honnête et utile aux enseignants ? On est peut-être face à un problème de type quadrature du cercle. Qui s'y risque, inévitablement, s'expose.

A. Weil-Barais

BÉCU-ROBINAUT K. (1997). *Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1.

Dire que l'apprentissage d'une science expérimentale doit se faire avec des

expériences est souvent répété, d'autant plus que les contenus d'enseignement deviennent plus abstraits ou plus théoriques, et parfois pour pallier une poussée théorique. Mais qu'en est-il du rôle réel de l'expérience dans l'apprentissage ? Que font les élèves aux prises avec des expériences ? Le temps est enfin passé des déclarations et des opinions sur ce que doivent être les expériences, et de la croyance à l'expérience qui permet définitivement de faire comprendre ; la recherche regarde ce qui se passe, interroge, met en évidence, critique, propose. La thèse de K. Bécu-Robinault est une contribution à cette entreprise ; elle s'insère d'ailleurs dans un effort coopératif européen.

Dans une première partie, historique, il s'agit d'étudier « *les travaux pratiques dans l'enseignement de l'énergie au lycée de 1902 à 1988* ». L'auteur s'interroge sur les motifs et contraintes qui peuvent expliquer la sélection et la présentation des expériences pour l'enseignement. Certaines expériences figurent dans les manuels ou les travaux pratiques, quels que soient les changements de programme, comme l'étude de l'effet Joule : l'interprétation peut changer, mais elles restent. Y-a-t-il des critères de permanence ? (faisabilité, « exploitabilité », flexibilité dans l'interprétation).

Dans une seconde partie, empirique, il s'agit d'analyser les activités des élèves pour modéliser les phénomènes lorsqu'ils réalisent et interprètent des expériences dont la permanence à travers le siècle semble attester l'importance : madame Bécu-Robinault a enregistré des groupes d'élèves (16-17 ans) lors de deux séances de travaux pratiques : une sur « introduction de la puissance », l'autre sur « énergie cinétique-énergie potentielle ». L'analyse du fonctionnement intellectuel des élèves au moyen d'une grille de lecture en « niveaux de modélisation » (théorie/modèle physique/modèle numérique/mesures/objets et événements) et « registres sémiotiques » (de la langue naturelle au schéma). L'étude met en évidence des tendances à ne raisonner que sur un seul « niveau de modélisation », à éviter tout retour aux phénomènes et tout passage au niveau théorique, et enfin une sensibilité aux tâches prescrites.

Il y a enfin une partie, qui est en fait l'amorce d'une nouvelle direction de recherche : étudier

ce que font des élèves pour des tâches pratiques analogues lorsqu'ils sont guidés à distance par multimédia.

Le travail de madame Bécu-Robinault, et tout particulièrement la deuxième partie, est une incursion réussie dans un domaine qui résistait à l'investigation expérimentale et même à l'observation. La grille de lecture et le choix du grain d'analyse des transcriptions ont permis de prendre en compte le langage d'action associé à la pratique expérimentale, langage très différent de la conversation. De ce point de vue la thèse de madame Bécu-Robinault est un apport majeur.

Au-delà, on peut discuter les conclusions de la première partie qui auraient pu prendre en compte d'autres sources (cahiers de travaux pratiques, controverses, etc.) On doit aussi discuter les propositions conceptuelles et théoriques, en particulier la grille de lecture, qui n'est sans doute pas encore un véritable outil théorique.

Mais la thèse de madame Bécu-Robinault doit être étudiée par les chercheurs et les formateurs en sciences expérimentales.

J.-L. Martinand

DUMAS-CARRÉ A., GOFFARD M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problèmes en physique. Concepts et démarches.* Paris, A. Colin (Collection : **Formation des enseignants. Professeurs des lycées**), 131 p.

«*Cet ouvrage s'adresse (...) aux formateurs en IUFM, aux enseignants en poste et à ceux en formation...*» écrit l'éditeur sur la quatrième page de la couverture. Les auteurs, dans l'introduction, expliquent l'origine de leur projet. Elles ont travaillé avec des professeurs de physique du secondaire lors des nombreux stages des formations, des universités d'été, etc. Les activités de résolution de problèmes de mécanique, élaborées au cours des recherches en didactique, expérimentées avec des élèves et adoptées comme une «*partie intégrante de l'enseignement*», étaient accueillies avec un grand intérêt et avec une demande constante de conseils bibliographiques. Comme il s'agissait de proposer

des lectures accessibles à un public qui ne connaît guère les revues où elles (et les autres chercheurs) publient des articles de recherche, elles ont décidé d'écrire ce livre.

Dans le premier chapitre, *Les différents rôles des activités de résolution de problèmes*, les auteurs précisent le sens du mot «problème» («...pour qu'il y ait problème, il doit y avoir une question qui a du sens et nécessite une réponse qui n'est pas connue, sinon il n'y aurait que rappel de connaissances mémorisées»), et de l'expression «résolution de problème» (elle «consiste à élaborer un raisonnement qui conduit de la question à la réponse, en utilisant des connaissances déjà acquises. Si le chemin était connu, il s'agirait aussi de rappel de connaissances»). Plusieurs exemples illustrent différents problèmes, fermés et ouverts, problèmes académiques et ceux de la vie courante ou professionnelle. L'analyse concerne la résolution de problèmes dans le but d'évaluer les élèves, et dans les situations d'enseignement-apprentissage telles qu'elles se rencontrent habituellement dans les classes. À savoir, le même type de problèmes (problèmes fermés) est utilisé dans les deux cas. Et, même si ces problèmes peuvent être efficaces dans leur fonction d'évaluation, les auteurs expliquent pourquoi ils ne sont pas adaptés aux situations d'apprentissage.

Dès ce premier chapitre, le lecteur peut apprécier les qualités de rédaction du livre d'Andrée Dumas-Carré et de Monique Goffard. En particulier, elles évitent autant que possible l'emploi de terminologie didactique, qui pourrait avoir un effet dissuasif sur de nombreux enseignants du secondaire. Elles introduisent pourtant (dans tout le livre) une bonne douzaine des termes, dont elles définissent la signification dans un *Glossaire*.

Le deuxième chapitre propose «*Des outils pour apprendre de la physique en résolvant des problèmes.*» Il s'agit du «*diagramme objets-interactions*» et de «*la bande dessinée.*» Ces outils ont été élaborés par une équipe composée d'enseignants et de chercheurs pour aider les élèves dans la résolution des problèmes de mécanique. Ils sont décrits, illustrés avec des exemples et commentés quant à leur fonctionnalité et à leur mode d'enseignement. Suit une

présentation de l'évaluation de leur impact sur la réussite des élèves.

Dans le troisième chapitre sont décrites «*Des activités de résolution de problèmes semblables à des activités de recherche, pour apprendre la physique.*» C'est le chapitre central du livre. Les auteurs proposent une nouvelle manière d'enseigner et elles la justifient en s'aidant des résultats de recherches menées en collaboration avec une équipe espagnole dirigée par Daniel Gil Perez. Cette proposition est décrite comme un «*nouveau modèle des activités de résolution de problèmes*», qui a pour objectif de privilégier certains éléments de la démarche scientifique, comme «*le raisonnement en termes d'hypothèses, de validation de celles-ci, de leur confrontation avec les connaissances communes comme avec les savoirs scientifiques*». Le chapitre, plus long que les précédents, commence par un compte rendu détaillé d'une séance (filmée) de résolution de problèmes dans une classe de première S (programmes de 1987). Le problème utilisé comme support du travail est ouvert, et il illustre de façon convaincante les différences par rapport à ce qui se fait habituellement dans l'enseignement de mécanique au lycée. Ces différences concernent aussi bien le travail des élèves que le rôle du professeur et, en particulier, les interactions entre élèves. Les auteurs fournissent l'information, pouvant être considérée comme très importante par leurs lecteurs, sur la durée d'une telle séquence – deux heures pour analyser un problème. Il n'est pas surprenant que les avantages possibles soient analysés en détail, d'une part en opposition aux difficultés des élèves, d'autre part comme une initiation aux activités intellectuelles semblables à celles de la recherche scientifique.

L'écriture de ce troisième chapitre montre une préoccupation visant à rendre les concepts de la didactique à la fois accessibles et opérationnels. On pourrait dire, un peu à l'emporte-pièce, qu'Andrée Dumas-Carré et Monique Goffard font de la transposition didactique de la didactique, notamment dans la partie «*Théorisons un peu*». Il me semble que cet effort ne peut qu'être bénéfique pour leurs lecteurs. De même, une analyse très détaillée de tout ce qu'il faut faire pour préparer de telles séquences devrait épargner à des

enseignants, souhaitant se lancer sur les traces des auteurs, de mauvaises surprises liées aux essais d'expérimenter certains «éléments» d'une démarche, sans avoir compris que ces éléments n'existent pas en tant que tels, sans «le reste». En revanche, dans l'*Évaluation* qui ferme ce chapitre, la partie destinée à présenter les résultats et, en particulier, les six tableaux avec divers pourcentages comparant les comportements, les performances et les difficultés des élèves du groupe expérimental avec ceux des élèves de deux groupes témoins, ne me semble guère nécessaire pour encourager les enseignants à reprendre la méthode. Par ailleurs, l'évaluation des acquis conceptuels des élèves, commentée sur une petite page de texte, en termes de recommandations («*les tâches doivent..., les situations et les questions doivent..., il faut..., il ne s'agit donc pas...*») laisse un peu sur sa faim.

Le quatrième et dernier chapitre présente toute une série «*d'exemples de problèmes préparés.*» Comme le précisent les auteurs, «*ces problèmes préparés explicitent la démarche proposée au chapitre 3.*» Dans l'introduction à ce chapitre, sont décrites brièvement différentes étapes de la résolution, avec des difficultés que les élèves devront affronter, ainsi qu'une mise en garde, destinée à l'enseignant, face à des effets pervers possibles. Chaque problème est analysé «à fond» (par exemple, dix pages sont consacrées au problème suivant : «*Deux patineurs sont immobiles, enlacés au centre d'une patinoire. Ils se repoussent. Lequel arrivera le premier au bord ?*»). Cette partie du chapitre comprend une «*Solution experte*», les «*Caractéristiques et intérêts du problème*», une «*Problématisation*» et une «*Analyse qualitative de la situation*», une «*Émission d'hypothèses*», une «*Élaboration de chemins de résolution et traitement*», une «*Analyse des résultats à la lumière des hypothèses*» et, enfin une «*Ouverture sur d'autres problèmes*».

On peut penser que les enseignants seront sensibles à la présentation des différentes parties d'analyse en forme d'un tableau-confrontation entre «*Ce qui pourrait se passer*» (en classe) et les «*Suggestions d'interventions, arguments*». Nous ne sommes pas loin d'une proposition «clés en main».

A-t-elle de bonnes chances de réussir ? Oui,

si elle permet aux enseignants de se poser des questions (et d'y trouver des éléments de réponse) sur tout ce qui, d'habitude, est implicite dans leur discours en classe, et qui peut provoquer des difficultés chez les élèves. Cependant, elle a une faiblesse, sans doute mineure quant au fond, mais gênante pour des raisons pratiques : elle n'est pas adaptée aux programmes actuels de mécanique. Espérons que les enseignants ne s'en décourageront pas pour autant.

W. Kaminski

PRÉVOST Philippe (février 1997). *«Le concept de régulation biologique et la formation professionnelle des agriculteurs. Études didactiques»*. Thèse de doctorat (didactique des disciplines scientifiques), Université Claude Bernard Lyon 1.

Gérard Vergnaud, qui présidait le jury de cette thèse, oppose volontiers *«l'organisation de la didactique des disciplines, pilotée par le savoir savant beaucoup plus que par les diverses pratiques d'utilisation de ce savoir dans différentes professions»* à *«l'organisation de la didactique professionnelle, pilotée par le sous-ensemble de pratiques qui donne sa fonctionnalité à un métier, ou à un poste de travail, ou à une fonction»* (in la revue *Éducatives*, numéro de janvier-février 1996 sur «Didactiques et Pédagogies»).

Or la thèse de Philippe Prévost relève le défi d'une double insertion : dans la didactique des disciplines, ici l'Éducation à l'Environnement autour du concept de régulation, ce qui est déjà en soi un vaste et audacieux projet ; et dans la didactique professionnelle avec l'analyse de pratiques professionnelles d'agriculteurs, et l'enjeu de la formation de futurs agriculteurs. Défi relevé avec rigueur, sous la direction de Daniel Jacobi (issu lui-même de la formation continue en milieu agricole, dans l'institution dijonnaise qui se nomme aujourd'hui l'ENESAD (Établissement National d'Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon) où le groupe de recherche de Pastré travaille actuellement sur la didactique professionnelle en milieu agricole), et avec l'aide de l'ADEME (Agence

de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), représentée dans le jury par G. Matricali, et dont ne peut être que loué l'intérêt (d'alors) pour les recherches sur la formation à l'Environnement et au développement durable.

Les thèses de Didactique sur le milieu agricole ne sont pas si fréquentes. C'est la première du DEA de Lyon-Grenoble qui s'intéressait à l'agriculture, les précédentes ayant analysé des questions relatives à l'élevage (P. Marzin, 1993 ; J. Forestier, 1994 ; A. Gay, 1995 ; L. Simonneaux, 1995). La thèse de Philippe Prévost comprend trois fascicules : le corps principal de la thèse (309 pages) et deux volumes d'annexes : le premier (environ 300 pages) présente le détail des questionnaires et analyses statistiques, et reproduit des publications de l'auteur ; le second (234 pages) rassemble les transcriptions intégrales des entretiens avec les agriculteurs et les techniciens agricoles.

Le contexte de ces recherches est celui d'un éventuel conflit entre les exigences de l'agriculture durable et celles de la rentabilité agricole à court terme. Une meilleure maîtrise du concept de régulation par les agriculteurs est-elle à même de désamorcer ce conflit ? L'exemple choisi par Philippe Prévost pour sa première partie de recherches empiriques, concerne les pratiques de désherbage du maïs. Les agriculteurs articulent-ils, et si oui comment, cette nécessité de désherber pour avoir de meilleurs rendements, avec le respect du milieu de culture et des nappes phréatiques, qui sont très sensibles aux désherbants ?

L'analyse des pratiques des agriculteurs est réalisée à travers ce qu'ils en disent : d'une part dans leurs réponses à une enquête agronomique dont les réponses sont analysées avec une grande rigueur (logiciel Sphinx), d'autre part lors d'entretiens individuels, menés sur deux agriculteurs et deux techniciens agricoles, et analysés de façon très fine et pertinente, manuellement et avec le logiciel Alceste. La méthodologie est exemplairement rigoureuse, et fonde des résultats pertinents et nuancés. Des analyses factorielles de correspondances mettent en évidence des conduites contrastées des agriculteurs, en fonction de diverses considérations : rentabilité économique,

respect de l'environnement, risque de mauvais rendement, pratique de préparation des sols, protection phytosanitaire, assolement. L'analyse de l'usage des verbes pouvoir, devoir, falloir, croire, est particulièrement pertinente. Les agriculteurs qui argumentent le plus sur la relation entre agriculture et environnement sont ceux qui mettent en œuvre une plus grande variabilité de leurs pratiques de désherbage ; ce sont eux qui font plus qu'exploiter la nature : ils gèrent un écosystème cultivé. Mais ils restent très minoritaires, à cause de contraintes de rentabilité économiques, et par manque de connaissances sur les flux d'herbicides et leurs effets.

Le deuxième ensemble de résultats empiriques analyse la place du concept de régulation dans les connaissances de quatre populations distinctes de futurs praticiens agricoles. Un questionnaire original et détaillé est proposé à chacun d'eux, comportant une liste d'énoncés pour chacun desquels quatre choix sont possibles (entre juste et faux). Leur sont aussi proposées trois situations problèmes fort judicieuses pour tester si le concept de régulation est ou non acquis et mobilisé dans les réponses : l'une sur la transpiration d'une plante, l'autre sur la relation prédateur-proie (modèle de Lotka-Volterra), et la troisième sur les conduites de désherbage du maïs. L'analyse de ces données est là aussi d'une rigueur exemplaire, même si les tableaux et graphes ne sont pas, là non plus, toujours simples à lire. Les réponses sont catégorisées, et traitées statistiquement avec beaucoup de pertinence (croisements, AFC (analyse factorielle par correspondances), logiciel Sphinx, etc.) L'analyse est fine. Par exemple, Philippe Prévost considère que le rôle spécifique de la formation dans la construction de la compétence professionnelle est d'identifier les contenus cognitifs de cette compétence, autant que possible en termes de concepts scientifiques ou pragmatiques, c'est-à-dire, comme l'a souligné G. Vergnaud, en termes d'invariants opératoires explicites. Des conclusions solidement fondées sont particulièrement intéressantes pour les chercheurs en Didactique. Elles précisent les effets de l'apprentissage des phénomènes de régulation en biologie et les obstacles de son enseignement en agronomie : (1) plus de connaissances biologiques favorisent une

meilleure réussite aux situations-problèmes de biologie, ce qui n'est pas le cas pour plus de connaissances agronomiques par rapport aux situations-problèmes d'agronomie ; (2) des connaissances écologiques sont transférables à des connaissances physiologiques, mais pas à l'enseignement agronomique ; (3) des situations concrètes favorisent la mobilisation des connaissances des apprenants, notamment en biologie.

Cependant « *l'ambition de la thèse* » (pour reprendre l'expression d'Amos Dreyfus, professeur à Jérusalem, et l'un des deux rapporteurs de la thèse) allait au-delà de ces conclusions pourtant pertinentes et fondées sur un travail empirique très solide. Elle visait aussi le rôle central du concept de régulation, par rapport auquel les conclusions de ce travail sont moins nettes.

Déjà, l'approche épistémologique du début de thèse, bien que documentée, ne clarifiait pas tout à fait des définitions qui auraient permis de clarifier le propos ultérieur.

* Le « *concept de régulation biologique* », utilisé en permanence dans la thèse, et mentionné jusque dans son titre, est-il fondé ? Philippe Prévost l'oppose souvent au « *concept de régulation socio-économique* » : mais s'agit-il de concepts différents, ou du même concept de régulation utilisé dans des contextes différents ? Cette question n'est ni abordée, ni posée.

* « *L'auto-organisation* » n'est évoquée par Philippe Prévost que pour désigner « *l'écosystème champ cultivé* », « *l'incontrôlable* » par opposition avec les activités « *socio-économiques* » de l'agriculteur. Mais les modèles d'auto-organisation ne sont-ils pas autant utilisés dans les sciences économiques et sociales que dans les sciences biologiques ? Et leur utilisation ne vise-t-elle pas à mieux comprendre, et donc à mieux maîtriser, des systèmes complexes ?

Finalement, une meilleure formation des futurs agriculteurs au concept de régulation, leur permettrait-elle de résoudre le conflit entre rentabilité économique immédiate et agriculture durable ? Cette thèse ne permet pas de répondre à une aussi vaste question. Celle-ci a surtout servi ici de contexte pour développer des recherches originales en Didactique et

apporter des réponses incontestablement nouvelles et solidement fondées à des questions beaucoup plus limitées.

P. Clément

RAISKY C., CAILLOT M. (Éds), (1996). *Au-delà des didactiques, le didactique*. Bruxelles-Paris, De Boeck Université, 278 p.

Il s'agit d'un ouvrage collectif à la rédaction duquel ont participé une dizaine d'auteurs, chacun étant responsable d'un chapitre. Le livre se propose d'étudier trois concepts issus des didactiques des disciplines, celui de transposition didactique, celui de contrat didactique et celui de médiation didactique. L'objectif de la démarche est, à travers les contributions des différents auteurs au débat, de voir dans quelle mesure ces trois concepts-clés seraient transposables et adaptables aux problématiques d'enseignement d'autres disciplines voire à toutes les didactiques et susceptibles de constituer des éléments d'une théorie du didactique. Ainsi se justifie le titre de l'ouvrage.

Le point de vue, partagé par la plupart des participants au débat, et qui les rassemble ici, est qu'au-delà des différences disciplinaires, on ne peut traiter la question de la scolarisation des savoirs sans la situer dans le système didactique : enseignant, élève, savoir et que la modélisation des phénomènes susceptibles d'apparaître dans un tel système doit nécessairement s'inscrire dans une théorie didactique.

La première partie de l'ouvrage concerne le concept de transposition didactique. Michel Caillot rappelle l'origine de ce concept issu de la didactique des mathématiques ainsi que les critiques qui lui ont été opposées en provenance de didacticiens d'autres disciplines notamment en sciences physiques et en technologie. Claude Raisky s'interroge ensuite sur un possible modèle de la transposition didactique en didactique des savoirs professionnels.

Samuel Johsua tente alors de montrer les limites des modèles proposés en didactique des mathématiques en référence au seul savoir

savant (Y. Chevallard) et, en didactique des sciences, en référence à des pratiques sociales (J.-L. Martinand). Remarquant que, de son point de vue, les savoirs enseignés en sciences ne se réfèrent pas à des pratiques mais à des savoirs sur les pratiques, il propose le concept de "*savoir expert*" comme autre référence de transposition à côté des savoirs savants. Selon l'auteur, les mécanismes de la transposition opéreraient dans les différentes disciplines en étant référés à deux types de savoirs : les savoirs savants et les savoirs experts qui se distinguent essentiellement par les institutions où ils vivent. Ce sont ces institutions, et la reconnaissance sociale dont elle sont l'objet, qui joueront finalement un rôle déterminant au niveau de la légitimation des savoirs enseignés.

Gilbert Ducancel, partant d'expérimentations conduites en français à l'école primaire, revendique, quant à lui, une "*autonomie du didactique*". Pour lui, le moteur de l'apprentissage ne se situe pas dans des savoirs de référence mais plutôt dans les savoirs que les élèves se construisent. Ce point de vue est repris par Michel Thérien pour qui le modèle descendant de la transposition didactique ne suffit pas à rendre compte de la relation au texte littéraire.

La deuxième partie du livre s'intéresse au contrat didactique. Partant d'une analyse de la relation didactique et de la multiplicité des rapports au savoir, Philippe Jonnaert met en question la notion de contrat. Il montre le caractère paradoxal de celui-ci qui n'existe, de fait, que pour être transgressé. Pour lui, le contrat didactique, véritable moteur d'une relation didactique dynamique et ouverte ne peut être défini *a priori* à partir de variables didactiques. Il crée, entre les partenaires de la relation didactique, un espace de dialogue dans lequel se rejoignent, par le jeu généralement implicite des dévolutions et des contre-dévolutions, les projets d'enseigner et d'apprendre.

Samuel Johsua défend l'idée que les approches de Vygotsky et de Bruner constituent un bon appui pour penser les problèmes didactiques dans la mesure où celles-ci, contrairement aux approches piagésiennes, considèrent comme essentielle dans la relation didactique l'intervention du

maître. À partir d'une analyse comparée des deux cadres théoriques que constituent le constructivisme et l'approche culturelle vygotkienne, il suggère de ne pas les opposer trop systématiquement et propose une définition en huit points du contrat didactique qui situe celui-ci au sein des interactions de la classe et de l'évolution des rapports aux savoirs.

Maria Luisa Schubauer-Leoni présente ensuite une étude de cas en didactique des mathématiques par laquelle elle met en évidence les obstacles qui se dressent vis-à-vis du contrat didactique et, en particulier, le poids du milieu.

La dernière partie de l'ouvrage s'intéresse à la médiation didactique. Dans un premier chapitre, Maurice Sachot nous invite à le suivre dans une étude historique de l'évolution du concept de médiation qui met en relief l'importance du rôle du maître tout au long de l'histoire des religions et de la république.

Yves Lenoir, partant d'analyses précises tant philosophiques que psychologiques principalement référées aux idées de Hegel, de Vygotsky et de l'interactionnisme social, développe ensuite une théorie de la médiation qu'il fait reposer sur les deux concepts distincts, mais complémentaires et toujours associés, de *médiation cognitive* et de *médiation didactique*. Il propose ainsi une modélisation particulièrement éclairante du fonctionnement du système didactique.

Enfin, Cécile Vander Borgh s'intéresse aux pratiques langagières mises en œuvre dans l'activité d'enseignement et, en particulier, à la reformulation qu'elle analyse essentiellement comme outil d'analyse du discours didactique. Elle montre de manière particulièrement convaincante quel pourrait être l'intérêt d'un tel outil tant au niveau de la formation des enseignants qu'à celui de la recherche en didactique en prenant comme exemple concret celui des représentations de la science que révèle l'analyse de discours d'enseignants.

Le but du livre de Caillot et de Raisky est atteint dans la mesure où il présente de manière tout à fait éclairante les termes d'un débat qui concerne aujourd'hui l'ensemble des didactiques des disciplines : celui de

l'élaboration d'un cadre théorique commun, d'une théorie DU didactique. Plus qu'une simple contribution à ce débat, il présente également des concepts théoriques nouveaux comme, par exemple, celui de *savoir expert*, proposé par Johsua, ou celui de *médiation cognitive* de Lenoir. On y trouve également, et à plusieurs reprises, un intérêt marqué et, lui aussi nouveau, pour les approches vygotkiennes qui devraient contribuer à orienter les recherches actuelles en didactique concernant, par exemple, le rôle des modèles et des outils de médiation sémiotique dans l'apprentissage et la conduite, en classe, des démarches fondées sur la modélisation. Aussi, nous ne saurions que recommander la lecture de cet ouvrage qui devrait figurer en bonne place dans la bibliothèque de toutes celles et ceux qui s'intéressent aux questions didactiques.

On peut cependant regretter que ce débat «*autour de concepts fédérateurs*» ne fasse pas davantage référence à la théorisation anthropologique du didactique que propose Chevallard, et à son approche nouvelle de *l'écologie des savoirs*. Loin de concerner la seule didactique des mathématiques, elles devraient probablement apporter une contribution importante à un débat qui ne peut se résumer, et le livre le démontre bien, aux seuls concepts de transposition, de contrat et de médiation.

G. Robardet.

ROBARDET G., (1995). «Didactique des Sciences Physiques et Formation des Maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant». Thèse de doctorat, Université Joseph-Fourier, Grenoble.

La question que traite G. Robardet concerne essentiellement l'étude des places institutionnelles faites à la didactique des sciences physiques selon les I.U.F.M. et les effets que cela peut avoir sur la façon dont les futurs professeurs en formation conçoivent les sciences physiques et leur enseignement. Ce qui le conduit aux questionnements suivants :

«*L'introduction des approches didactiques dans la formation des professeurs de sciences physiques rencontre-t-elle chez ceux-ci des*

représentations susceptibles de se constituer en obstacles ? Si oui, quelle en est la nature ? Quelle en est la résistance ? Ces représentations sont-elles principalement enracinées dans les pratiques ou dans des modes de raisonnement spontanés qui seraient étrangers à la didactique ? Ou bien sont-elles enracinées principalement dans des habitudes institutionnelles auquel cas, selon leur degré de résistance, ils devraient s'avérer éventuellement sensibles aux choix explicites ou implicites des institutions ? »

Pour conduire cette étude des places institutionnelles affectées à la didactique, la thèse se réfère au modèle institutionnel que propose Yves Chevallard dans une théorie anthropologique des concepts fondamentaux de la didactique. Le travail a consisté à étudier la nature et les particularités du « rapport institutionnel » à la didactique des sciences physiques. La didactique des sciences physiques constitue à l'évidence un objet institutionnel susceptible de prendre un sens différent et de vivre différemment dans les différentes institutions qui l'utilisent. Il découle de l'approche de Chevallard que la nature de la transposition d'un objet dépend autant de caractéristiques institutionnelles que de l'objet lui-même. La question est alors de savoir, à partir de ce qui précède, quels sont, en formation des maîtres, les caractères particuliers de la transposition de la didactique des sciences physiques. Et, pour commencer, quels sont les caractères particuliers du savoir auquel elle se réfère. Ici intervient la notion de savoir « expert » que présente G. Robardet.

Les institutions savantes reçoivent, de la société d'une époque, l'autorisation de diffuser la culture, de dire « le vrai », de juger des questions de délimitation de territoire. Mais d'autres savoirs sont développés dans des institutions qui n'ont pas ce label. Et qui n'en existent pas moins, définissant un réseau de relations interpersonnelles par lequel s'élabore l'objet de la recherche et de la pratique, les méthodologies d'approche, les langages etc. La plupart du temps, ces institutions demeurent limitées à des zones restreintes de la société, laquelle peut reconnaître la portée des élaborations produites, voire leur importance sociale, sans pour autant leur accorder le droit, effectivement exorbitant, à « dire la culture » dans le domaine. Le terme

de « savoir expert », qui garde, au contraire du savoir savant, une proximité beaucoup plus grande avec les groupes physiquement repérables qui en garantissent l'expertise, semble ici plus judicieux. Du point de vue des caractéristiques de la transposition didactique, la référence à un savoir expert pose, bien sûr, le problème de la légitimation des pratiques scolaires correspondantes. Dans les disciplines, nombreuses, où les références ne sont pas principalement savantes, le savoir expert, à qui n'est pas reconnu l'autorisation de « dire la culture », ne peut jouer le même rôle dans la légitimation. Il sera en permanence contre-battu par un autre savoir expert, souvent incommensurable avec le premier. On reconnaît dans les caractéristiques précédentes relatives aux savoirs experts des traits propres à la didactique des sciences.

Dans ce cadre général, G. Robardet avance deux hypothèses :

« Dans les IUFM, le rapport à la didactique est lié au rapport institutionnel à ce qu'est "un bon enseignement des sciences physiques" ».

« La formation donne lieu à des phénomènes de conformités contractuelles liant plus ou moins les rapports personnels aux rapports institutionnels correspondants. »

Quatre IUFM ont été sélectionnés à partir d'une analyse sommaire de leurs plans de formation. Afin de pouvoir disposer d'éléments de comparaison concernant les représentations sociales identifiées chez les professeurs stagiaires issus de ces quatre instituts, l'auteur a étendu le terrain de la recherche à deux autres institutions : d'une part, une institution-source constituée par des étudiants titulaires d'une licence de sciences physiques et se destinant à l'enseignement, d'autre part, une institution-cible constituée par des professeurs en exercice depuis plusieurs années en collège ou en lycée.

Dans un premier temps, a été effectuée une étude de représentations sociales auprès de 207 personnes (103 professeurs stagiaires issus des quatre instituts, 47 étudiants titulaires d'une licence de sciences physiques et 57 professeurs en exercice). Puis les 103 professeurs stagiaires ont été sondés au moyen d'un questionnaire d'opinion comportant des questions, ouvertes et

fermées, portant sur la formation reçue dans leur institut. Enfin, une étude méthodique a été produite de 42 mémoires professionnels de sciences physiques provenant des quatre IUFM concernés.

D'une part les différents items ont été traités individuellement selon une méthode d'analyse hiérarchique des similarités. D'autre part des regroupements d'items ayant été effectués *a priori* en catégories, ils ont été traités par une méthode d'analyse en composantes principales (ACP). S'agissant des questions ouvertes, elles ont été «fermées *a posteriori*» et soumises à des analyses factorielles des correspondances (AFC). Quant aux mémoires professionnels ils ont fait l'objet d'une analyse globale critériée et qualitative, puis d'une analyse détaillée et quantitative de contenu.

Les principaux résultats sont les suivants.

L'étude de représentations sociales concernant les rapports personnels à l'enseignement des sciences a permis d'identifier de manière particulièrement nette dans la population interrogée deux représentations contradictoires qualifiées de «*naturaliste*» et «*d'anti-naturaliste*».

La première représentation peut schématiquement se résumer ainsi : *À travers l'expérience, la réalité s'offre naturellement à l'observateur. Les lois sont ainsi mises en évidence par l'expérience première. Les connaissances apportées se stratifient naturellement des plus simples aux plus complexes. Tout doit être mis en oeuvre pour qu'il n'y ait pas d'erreurs.*

La démarche d'enseignement privilégiée dans ce cadre semble être de type inductiviste. Le modèle d'apprentissage fonctionne selon un schéma semblable : en s'appuyant sur l'évidence de la perception, l'élève acquerrait une connaissance contextualisée qui se transformerait, par un processus naturel d'abstraction, en une connaissance générale. Apprentissage naturel et mise en évidence expérimentale s'appuieraient ainsi mutuellement.

La seconde représentation peut être résumée ainsi : *Face à un problème à résoudre, l'observation est guidée par des considérations théoriques posées a priori et génératrices d'hypothèses que l'expérience devra valider ou invalider. Les connaissances*

sont construites par l'élève lui-même selon un processus ni linéaire ni progressif, mais fortement associé à la résolution du problème. L'erreur est vue comme un outil producteur de sens.

À l'examen, on constate que la représentation naturaliste est fortement dominante parmi les professeurs en exercice et, dans une moindre mesure, chez les étudiants en licence de sciences physiques. On retrouve cette forte prédominance chez les professeurs stagiaires issus de deux des IUFM. Inversement, la représentation naturaliste est très minoritaire chez les stagiaires issus d'un autre IUFM, tandis que les deux représentations s'équilibrent parmi les stagiaires issus du dernier institut.

Un rapprochement de ces résultats avec les caractéristiques des dispositifs de formation disciplinaires des quatre instituts montre que la représentation naturaliste est susceptible d'être attaquée de manière efficace lorsque la didactique dispose de moyens importants et variés au sein du dispositif de formation disciplinaire lui permettant de peser suffisamment face à la représentation dominante dans le milieu de l'enseignement. L'impact de la didactique au niveau de l'élaboration du mémoire professionnel pourrait être également déterminant comme semble le montrer l'étude détaillée conduite sur des mémoires professionnels provenant de ces quatre instituts.

La représentation «naturaliste» s'avère difficilement compatible avec les approches didactiques. Son discours et les pratiques qu'elle propose s'inscrivent généralement en rupture avec la représentation qui se révèle dominante. Il apparaît, cependant, qu'elle ne semble pas se constituer en obstacle majeur vis-à-vis de la didactique puisque, moyennant un travail de formation relativement léger, il semble possible d'agir sur elle et d'obtenir des modifications importantes au niveau des opinions des professeurs stagiaires ayant suivi cette formation. Les opinions recueillies, par ailleurs, chez les professeurs stagiaires ont, en effet, permis de constater que, lorsque la représentation naturaliste se trouvait mise en difficulté, cela s'accompagnait chez eux d'un rapport positif à la didactique.

La représentation naturaliste s'avère

finale­ment particu­liè­re­ment sen­si­ble aux habi­tudes et aux choix ins­ti­tu­tion­nels. Un des ré­sul­tats que nous tenons particu­liè­re­ment à sou­li­gner ici est que, là où des modi­fi­ca­tions inter­vi­en­nent, tant au ni­veau de la repré­sen­ta­tion natu­ra­liste qu'à celui des rap­ports per­son­nels à la didac­tique, celles-ci s'avè­rent rela­tive­ment iden­ti­ques et con­cer­nent tou­jours une grande partie des indivi­dus d'un même ins­ti­tut. Les rap­ports à la didac­tique des sciences et les opi­nions con­cer­nant les sciences et leur en­sei­gne­ment appa­raissent donc, en fin de for­ma­tion, comme for­te­ment cor­ré­lés aux don­nées ins­ti­tu­tion­nelles. Ainsi les phé­no­mènes plusi­eurs fois con­statés de mise en con­for­mi­té des rap­ports per­son­nels à la didac­tique avec le rap­port ins­ti­tu­tion­nel qui existe dans le dis­po­si­tif de for­ma­tion dis­ci­pli­naire sem­blent être tout à fait dé­ter­mi­nants vis-à-vis de l'im­pact que peut avoir la didac­tique sur la for­ma­tion des futurs pro­fes­seurs de sciences phy­si­ques.

D'une ma­nière plus gé­né­rale, il sem­ble pos­si­ble de rendre compte des pa­ra­mètres ins­ti­tu­tion­nels à l'aide de deux modèles de for­ma­tion, s'in­scri­vant l'un en con­ti­nu­ité et l'autre en rup­ture avec les pra­tiques habi­tu­elles de terrain, donc avec la repré­sen­ta­tion natu­ra­liste. En fait, il sem­ble qu'on ne puisse ar­ri­ver à un point de vue didac­tique simple­ment par obser­va­tion des pra­tiques habi­tu­elles tout simple­ment parce que le point de vue didac­tique n'est pas «naturel» et qu'il se situe en rup­ture, non seule­ment avec le sens com­mun, mais en­core avec les pra­tiques habi­tu­elles de terrain, avec l'habi­tus. Ainsi les sa­voirs experts et les pra­tiques sur les­quels est fon­dée la didac­tique des sciences ne sont gé­né­ra­le­ment pas com­pa­tibles, nous l'avons vu, avec les ori­en­ta­tions natu­ra­listes. Si bien que la didac­tique, comme toute ori­en­ta­tion mi­no­ri­taire, donc «anti-naturelle», sem­ble con­dam­née d'une part à l'ob­li­ga­tion de lé­gi­ti­mer ses con­tenus sur le plan théo­ri­que et, d'autre part à dis­po­ser d'atouts ins­ti­tu­tion­nels im­por­tants si elle veut réus­sir. Dans ces con­di­tions, il ne pour­rait donc pas y avoir de for­ma­tion didac­tique «éco­no­mique». Ceci d'autant plus que le terrain de la for­ma­tion des maîtres, nourri de sa­voirs experts et de pra­tiques so­ciales dif­fé­rents voire con­cur­rents parce que tra­i­tant des mêmes ques­tions, pour­rait être le lieu où se ma­ni­fes­teraient des

pro­blèmes de «terri­toires» con­cer­nant les dif­fé­rents acteurs. Il ap­par­tient, en prin­cipe, aux ins­ti­tu­tions d'ar­bi­trer et de ré­gler ces pro­blèmes dans le cadre de la dé­fi­ni­tion et de la mise en oeuvre du plan de for­ma­tion, mais aussi au ni­veau beau­coup plus mi­cro­cosmique de dé­ci­sions con­cer­nant les mo­da­li­tés et les carac­té­ris­ti­ques de for­ma­tion. Cela signifie que des choix consé­quents doivent être effectués au ni­veau ins­ti­tu­tion­nel et c'est de la clar­té et de la nature de ces choix que dépendraient un cer­tain nombre des effets obte­nus. En re­van­che, l'ab­sence ou la dé­fi­cience de choix ins­ti­tu­tion­nels clairs et cohé­rents, pour­rait se tra­duire sur le terrain de la for­ma­tion par des con­flits de terri­toires qui, dans cer­tain cas pour­raient se ré­gler moyennant cer­taines con­ces­sions ou aban­dons mais qui, dans d'autres pour­raient être vifs. Le risque se­rait alors, pour l'ins­ti­tu­tion de ne pou­voir en con­trô­ler les effets, et pour la for­ma­tion d'y perdre en effi­ca­ci­té et sur­tout en cré­di­bi­li­té.

S. Johsua

VIENNOT L. (1996). *Raisonner en physique*. Bruxelles-Paris, De Boeck Université, 246 p.

Laurence Viennot, en collaboration avec ses collègues du Laboratoire de Didactique de la Physique de l'Université Paris 7 «Denis Diderot» a écrit un livre aussi remarquable que précieux. Celui-ci résume et fait le bilan de plus de 20 ans de travaux sur les relations entre les idées en physique et les raisonnements naturels et spontanés des étudiants, qui structurent de façon importante leur compréhension. Mais le livre ne se contente pas de rassembler les résultats de plusieurs recherches. Il les re-assemble et re-interprète en un certain nombre de thèmes marquants et essentiels.

La synthèse commence par une distinction entre ce qui est fondamental et ce qui est naturel, pour caractériser soigneusement la relation entre le raisonnement naturel et le raisonnement en physique. Suivent quatre thèmes, décrits comme des composantes du raisonnement, chacun étant illustré par des résultats de recherche sélectionnés dans

divers domaines. En premier lieu, ceux qui traduisent la tendance à matérialiser ou à substantialiser les objets abstraits de la physique comme par exemple les rayons lumineux. En second lieu, ceux qui montrent la tendance à attribuer des valeurs intrinsèques aux objets ou événements de la physique, par exemple la vitesse «vraie» d'une personne qui marche sur un tapis-roulant. En troisième lieu, il est montré comment les lois relatives aux grandeurs physiques sont souvent perçues en terme de causes - au sens commun du mot. Par exemple, on considère que la force «précède» et cause l'accélération. Cette façon de penser entraîne l'idée que «les causes» peuvent «être stockées» de la même façon que les êtres humains doivent stocker des ressources suffisantes avant d'agir. En quatrième lieu sont présentées les difficultés que rencontrent les personnes qui raisonnent de façon séquentielle sur des situations quasi-statiques, comme celle d'un courant circulant dans un circuit. Cela conduit Viennot (en collaboration avec Rozier) à mettre en évidence une tendance générale vers ce qu'elles appellent le «raisonnement linéaire causal».

Suit alors une deuxième partie du livre, qui offre une variété d'études sur l'impact du sens commun dans le raisonnement. On y trouve les effets du «réalisme naïf» dans le raisonnement en rapport avec le codage des relations algébriques, les problèmes que posent les changements de référentiel, les études sur les raisonnements concernant la propagation des ondes, les difficultés pour combiner translation et rotation, et beaucoup d'autres. L'aspect essentiel est chaque fois le suivant : quels aspects essentiels du

raisonnement en physique sont chaque fois en cause (risquée) ?

Fondamental, ce livre est aussi très orienté vers la pratique : il ne se contente pas de décrire les problèmes qu'il aborde mais fait des propositions pour les résoudre. C'est ainsi qu'on peut voir comment des résultats de recherche et d'analyse ont été transformés en recommandations pratiques pour l'enseignement, avec des citations du Groupe Technique Disciplinaire de Physique auquel L. Viennot a participé.

Laurence Viennot écrit avec une clarté remarquable, avec esprit et élégance. Son livre évite les généralités qui sonnent bien mais sont vides, et vise au contraire des généralisations simples, claires et vérifiables. Dans cet ouvrage, la combinaison d'une passion pour comprendre avec une passion tout aussi importante pour apporter des changements et des améliorations, reposant sur un large corpus issu d'un travail d'interprétation empirique mené avec soins et précautions pendant plusieurs années, en fait un modèle de ce que peut être un bon travail de didactique des sciences physiques. Ceux qui enseignent la physique ou forment d'autres à le faire tireront un grand profit de cet ouvrage. Et quiconque débute une carrière en didactique devrait le lire pour y voir un remarquable exemple de la façon de développer le sujet. Ce dont tous ont le plus besoin, c'est de la patience, de l'attention soigneuse, de la réflexion et de l'imagination dont ont fait preuve Laurence Viennot et ses collègues.

J. Ogborn