

Technologie, sciences, filles, garçons : des questions pour la didactique ?

Technology, sciences, girls, boys : questions for research in didactics ?

Magali ROUSTAN-JALIN

CIRADE, Université de Provence
1 avenue de Verdun
13410 Lambesc, France.

Hamadi BEN MIM

ISEFC, Université Tunis 1
43 rue de la Liberté
20100 Le Bardo, Tunisie.

Jean-Jacques DUPIN

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

Résumé

De nombreuses études ont montré que les filles ont des parcours scolaires identiques voire meilleurs que ceux des garçons. Malgré cela elles boudent largement certaines filières scientifiques et surtout technologiques. Ces travaux ont surtout été le fait de sociologues. Cet article est une tentative d'étude en partant d'un point de vue didactique. Il s'appuie sur une

théorisation empruntée à l'anthropologie du savoir. À partir de données recueillies en technologie et en physique, on essaie de donner une description en termes de rapport personnel et de rapport institutionnel aux savoirs (institution famille – institution école). Quand les savoirs en jeu sont très spécifiques à l'école, il semblerait qu'il n'apparaisse que peu de différenciations liées au sexe. Quand les savoirs sont identifiés par les élèves comme vivants dans d'autres institutions, les différenciations sembleraient être plus fortes.

Mots clés : sciences, technologie, rapport au savoir, différenciation sexuée.

Abstract

Several studies in sociology showed that girls have best scolar results than boys. In spite of this, girls are generally out of scientific and technologic cursus. This paper is an attempt to study this question from a didactical point of view. The context of an anthropology of knowledge is used. From datas taken in physics and technology teaching, we try to give a description in terms of personal relationship and institutional relationship to knowledge (family and school taken as institutions). When knowledge is very specific to school, it seems that appear no differences between girls and boys. When knowledge is identified by pupils as living in others institutions than school, it seems that large differences then appear.

Key words : sciences, technology, gender, relation to knowledge, differentiation.

Resumen

Numerosos estudios en sociología han mostrado que las niñas tienen trayectorias escolares idénticas o mejores que la de los muchachos. A pesar de ello, muchas de ellas rechazan ciertas ramas científicas y tecnológicas. Este artículo es una tentativa de estudio partiendo de un punto de vista didáctico. Se apoya en una teorización tomada de la antropología del saber : a partir de datos recogidos en tecnología y en física, intenta dar una descripción en terminos del reporte personal e institucional de los saberes (institución familia-institución escuela). Cuando los saberes involucrados en la escuela son muy específicos, parecería que existe poca diferenciación relacionada con el sexo, no obstante cuando estos son identificados por los alumnos como provenientes de otras instituciones, las diferenciaciones parecen ser mas fuertes.

Palabras claves : ciencias, tecnología, genero, reporte al saber, diferenciación.

Lorsque l'on veut étudier des phénomènes aussi complexes que ceux liés à l'enseignement, il est nécessaire de préciser le point de vue adopté pour la recherche. Les regards sont nombreux, tous trouvant leur légitimité. De la sociologie à l'histoire, de l'économie à la pédagogie, de la didactique à la psychologie, de la philosophie à l'anthropologie, de l'épistémologie aux sciences politiques, se dessine une carte des entrées possibles permettant de créer des connaissances variées et complémentaires. Mais ce faisant, l'histoire du développement de ces disciplines a délimité des territoires ; il devient alors légitime de se poser la question de l'actualité de la pertinence de ces délimitations. Bien entendu, ces frontières ne sont pas toujours étanches. Par exemple, la didactique, dans son développement, a importé des concepts de la psychologie, en particulier dans ses orientations cognitivistes. Les réflexions épistémologiques sont souvent nécessaires à la recherche didactique. Certains travaux menés par des courants pédagogiques l'ont aussi influencée. Des relations avec la sociologie existent mais semblent plus ténues. Certes un concept aussi important que celui de transposition (Verret, 1975 ; Chevallard, 1985) a bien été importé de la sociologie. Des équipes existent associant des compétences des deux disciplines (Charlot et al., 1992). Certains sociologues, se penchant sur l'étude des mécanismes fins à l'œuvre à l'école, rencontrent la nécessité de la confrontation avec la recherche en didactique (Lahire, 1993, 1995). Mais ces échanges restent pour l'instant fort limités.

L'article présenté ici se veut être une tentative, non pas d'une intégration sociologie-didactique, mais de voir si un point de vue didactique peut aider à comprendre des phénomènes d'enseignement en général laissés à l'analyse sociologique. Le thème choisi, les relations des filles et des garçons aux enseignements scientifiques et techniques, a été largement étudié par des sociologues. Il s'agit pour nous, non pas de prétendre amener des résultats définitifs, mais de commencer à explorer un domaine resté largement vierge pour la didactique. Un cadre théorique, encore inachevé, toujours en construction, sera présenté et mis à l'épreuve d'observations empiriques permettant de juger de sa pertinence. Si prétentions il y a, c'est d'essayer d'ouvrir quelques pistes nouvelles pour les recherches en didactique.

1. UN RAPPEL DE QUELQUES RÉSULTATS ISSUS DE LA SOCIOLOGIE

Le XX^e siècle voit, en France, l'émergence de l'instruction longue des filles : elles passent, à l'université, de 624 étudiantes en 1900 à 520 000 en 1990 (Baudelot & Establet, 1993). Cette « percée » des filles n'est pas

seulement quantitative. De nombreuses études (Duru-Bellat, 1990, 1992 ; Lelièvre & Lelièvre, 1991) semblent s'accorder sur le fait que les résultats scolaires des filles sont, en moyenne, meilleurs que ceux des garçons. Ceci amène Baudelot & Establet (1993) à estimer que les filles sont aujourd'hui dotées d'un « capital scolaire » supérieur à celui des garçons. Cependant cela ne s'accompagne pas d'une égalité d'accès aux diverses filières : les filières scientifiques, techniques et technologiques restent largement masculines.

Pour la session 1993 du baccalauréat, les filles représentent 81 % de la série lettres-langues, 62 % de la série sciences économiques et sociales, 40 % de la série maths, physique, chimie, 49 % de la série sciences de la Vie et de la Terre, 4 % des séries technologies industrielles. Ces choix se reproduisent au niveau de l'enseignement supérieur : les filles, majoritaires au niveau des deux premiers cycles de l'enseignement supérieur, ne choisissent pas les mêmes filières que les garçons. Quarante-trois pour cent des filles vont vers les lettres contre 20 % des garçons ; 10 % des filles choisissent les sciences alors que les garçons sont 22 % à le faire ; si 19 % des garçons sont en Institut Universitaire de Technologie, seulement 8 % des filles choisissent cette voie (Lelièvre & Lelièvre, 1991). Ces auteurs montrent que les inégalités sont encore plus grandes dans les classes préparatoires aux grandes écoles scientifiques (22 % de filles en mathématiques supérieures et spéciales), ainsi que dans les écoles d'ingénieurs : bien que les effectifs de filles y aient fortement crû (de 1500 à 10 000 entre 1970 et 1989), elles restent largement minoritaires (de 5 % à 19 %). Les données 1998 confirment ces résultats antérieurs (tableau 1).

Filières éducatives	% de filles	Filières éducatives	% de filles
CAP-BEP tertiaire	72	CAP-BEP secondaire	12
Terminale littéraire	82	Terminale scientifique	42
Classes prépa. hautes études commerciales	52	Classes prépa. grandes écoles scientifiques	25,5
Université lettres	77	Université sciences	35
Écoles de commerce	43	Écoles d'ingénieurs	22

Tableau 1 : Répartition de filles selon les filières de formation

La progression continue des filles en termes d'effectifs et de performances, visible de l'école primaire à l'enseignement supérieur, s'accompagne d'un maintien de disparités quantitatives et qualitatives dans les choix d'orientation effectués.

De nombreux travaux montrent que les conceptions des parents sur les rôles sociaux masculins et féminins pèsent très lourdement sur les choix effectués. Belotti (1975) invoque non seulement la différence des

jouets destinés aux enfants mais aussi le fait que les relations parents-enfants seraient sexuellement typées : les filles seraient davantage stimulées sur le plan social, les garçons sur le plan moteur. Les unes seraient protégées, voire préservées, les autres encouragés, voire poussés, à découvrir l'espace environnant. Jones & Wheatley décrivent les mêmes tendances : « *Les biais liés au sexe commencent très tôt. Les jouets donnés aux garçons demandent plus d'exploration et d'assemblage que ceux des filles. Dès la petite enfance, les garçons sont attendus pour être plus indépendants, créatifs, manipulateurs. Ces expériences peuvent avoir une influence sur le développement des capacités spatiales et verbales.* » (Jones & Wheatley, 1989). Baudelot & Establet (1993) vont dans le même sens en confirmant que les auteurs s'accordent sur le fait que les formes de socialisation par le jeu réservées aux garçons et aux filles, dès le plus jeune âge, préparent davantage les garçons à s'orienter dans l'espace. Duru-Bellat affirme que les garçons seraient davantage punis que les filles, qu'ils recevraient une aide moindre des parents face à une tâche jugée difficile, enfin que les adolescentes « *allouent près de 40 minutes de plus que les garçons au travail domestique et disposent d'environ une demi-heure de temps libre en moins* » (Duru-Bellat, 1990). Zazzo (1993) constate que filles et garçons appréhendent les notions de réussite et d'ambition professionnelle de manières différentes : la réussite se présenterait souvent comme une compétition et le fruit d'une conquête chez les garçons alors qu'elle est la récompense des mérites et des qualités personnelles des filles. Cette adhésion aux stéréotypes de sexe et l'auto-dépréciation que l'on voit s'ancrer progressivement chez les adolescentes influenceraient les motivations et les projets professionnels des filles. L'éducation parentale éloignerait les filles des sciences et des techniques, perçues comme essentiellement masculines. Enfin, comme les filières scientifiques sont soumises à plus grande compétitivité entre élèves, les filles hésiteraient à s'y lancer.

Derrière un discours apparemment égalitaire, la division sociale des rôles au sein de la famille évoluerait peu et les filles resteraient fondamentalement responsables de l'éducation des enfants et de la bonne gestion domestique ; cela les inciterait à subordonner leur carrière professionnelle à l'accomplissement de leur rôle familial. Dès lors se dessinent de manière implicite les comportements souhaitables et acceptables pour une femme et un homme à l'intérieur d'une culture donnée car l'adhésion aux stéréotypes participe à l'intégration sociale : les filles se conforment à l'image que l'on attend d'elles, à savoir : utiliser leur intelligence, non pour la résolution de problèmes et la recherche d'autonomie et d'indépendance, mais essentiellement pour devancer les attentes des adultes. Les déterminants extra-scolaires seraient très largement prépondérants. Les causes de l'exclusion des filles de certaines filières seraient à rechercher principalement à l'extérieur de l'école.

Des mécanismes internes à l'école ont pu être mis en évidence. Pour les repérer, il faut aller voir de près ce qui se passe dans les classes pour tenter de comprendre si ce phénomène de rejet est uniquement exogène ou si des mécanismes identifiables sont à l'œuvre, amenant, consciemment ou non, un corps enseignant, largement féminisé, majoritairement acquis à la nécessaire égalité des sexes, à être l'artisan de cette sélection. Par exemple dans des conseils de classe, ont pu être relevées des attitudes faisant plus « crédit » à un garçon aux résultats scientifiques moyens qu'à une fille en situation comparable. On a été ainsi amené à dire que, pour les sciences, une fille devait faire « doublement ses preuves ». Par exemple, Andiol & Félix (1995) montrent, en observant des classes de français et de mathématiques, que les professeurs faisaient plus confiance aux garçons pour tirer les conclusions en mathématiques et aux filles pour le français. De même, les professeurs semblaient plus protéger les filles que les garçons. Cependant, la variable « niveau des élèves » devait être prise en compte, et avait des effets au moins aussi importants que la variable sexe.

Enfin, s'il est difficile de parler de « style cognitif » féminin, les filles ne manifestent pas les mêmes intérêts que les garçons. Elles rejettent relativement plus souvent que les garçons les sciences et les techniques. Baudelot & Establet (1993) constatent que, si la réussite en mathématiques développe le goût de la physique chez les garçons, il n'en va pas de même chez les filles. Filles et garçons apprécient différemment leurs résultats : le phénomène d'auto-sélection joue davantage chez les filles qui déclarent plus facilement n'avoir que peu ou pas d'aptitudes pour les maths ou la physique. Il semblerait qu'il n'y ait pas rejet massif des sciences (une bonne ouverture sur la biologie et la chimie en témoigne) et que certains thèmes de physique emporteraient même l'adhésion des filles, dans la mesure où il serait possible de les relier à d'autres domaines. Plusieurs enquêtes ont cherché à mettre en évidence les sujets d'intérêt des filles : elles privilégieraient les thèmes qui entretiennent une relation avec les problèmes humains et les problèmes de santé. Ceci est confirmé par Desplats (1989) qui regroupe les types d'intérêt d'élèves de 16 à 18 ans pour la physique en quatre grands domaines, donnés dans le tableau 2.

Préférence	% Garçons N = 146	% Filles N = 140
Physique, matière et technique	67	21
Physique et phénomènes naturels	27	38
Physique et société	36	49
Physique et biologie humaine	14	33

Tableau 2 : Préférence en physique selon le genre

À travers ces études, on peut identifier, sans que cela ne soit réellement séparé, des résultats portant sur les comportements et attitudes comme sur les apprentissages et les savoirs. Pour y voir plus clair, les grandes analyses statistiques ne sont pas forcément les plus adéquates. Il est nécessaire d'être au plus près de la réalité des classes. C'est là que la didactique peut éventuellement apporter du neuf.

2. UN CADRE THÉORIQUE D'INTERPRÉTATION

Ce cadre théorique va être emprunté à Chevallard (1992) dans ses travaux visant à développer une anthropologie des savoirs. Pour cet auteur, on ne peut parler d'un objet de savoir indépendamment de l'institution dans laquelle on le rencontre (l'institution peut être « à peu près n'importe quoi » : une école, une classe, un « cours », une famille). Quand un objet de savoir est présent dans une institution, quelle qu'elle soit, se crée alors un rapport institutionnel à cet objet, en quelque sorte le rapport « légal » qui s'impose à toute personne assujettie à cette institution. Le sujet établit alors des rapports avec cet objet de savoir. Mais cette construction ne se fait pas n'importe comment : elle se développe sous la contrainte des contenus et du statut que cette institution attribue à ce savoir. Le sujet s'imprègne de ce que l'on attend de lui et module ses conduites de façon à être considéré comme « un bon sujet » de l'institution. Le sujet construit ainsi un rapport personnel à l'objet de savoir sous la contrainte du rapport institutionnel. Cet objet de savoir pouvait ou non exister pour cette personne avant son entrée dans l'institution. Dans tous les cas où son rapport personnel à l'objet va changer, il y a apprentissage. Divers sujets d'une même institution ne construiront donc pas forcément le même rapport personnel à cet objet.

L'institution peut assigner à ses sujets des positions différentes ; elle n'assigne pas forcément à tous ses sujets un rapport unique. Peuvent donc exister plusieurs rapports institutionnels à un objet de savoir. Une personne se révèle bon sujet d'une institution relativement à un objet institutionnel lorsque son rapport personnel est jugé conforme au rapport institutionnel, ou, plus précisément, au rapport institutionnel compte tenu des positions éventuellement assignées aux différents sujets. Un exemple de ces positions différentes : dans une institution classe, un maître peut estimer utile de ne pas faire faire aux élèves les mêmes choses, classifiant les élèves à partir de sa vision de ce qu'est un « bon élève » et un « élève faible ». Ceci se traduira par des exercices différents, en qualité ou en nombre, par des exigences différentes quant à l'argumentation et la rédaction... Ces deux groupes d'élèves seront alors dans des positions différentes et les rapports personnels construits seront vraisemblablement différents puisque les sujets n'auront pas fait les mêmes choses avec ce

savoir. On pourra s'interroger aussi pour savoir si des positions différentes sont assignées aux filles et aux garçons.

Un objet de savoir peut, bien entendu, exister dans plusieurs institutions. Par exemple, dans le cadre scolaire, les vecteurs, les différentielles sont présents dans les classes de mathématiques comme de physique. Mais les rapports institutionnels à ces objets y sont fort différents (Alibert et al., 1988 ; Lounis, 1989). Un objet de savoir « électricité » existe à l'école (bien sûr, il faudrait définir de quel niveau scolaire nous parlons) ; un objet de savoir « électricité » peut exister aussi dans une famille. Nul doute que les savoirs considérés y seront souvent différents. Or, toute personne est, successivement ou simultanément, assujettie à plusieurs institutions. En fonction de l'institution considérée, rapport institutionnel et rapport personnel seraient susceptibles de se décliner sur des modes particuliers qui permettraient de reconnaître si le rapport personnel est idoine au rapport institutionnel. Dans chaque institution, il y a un bon rapport qui prévaut. Rapports institutionnel et personnel à un même objet pourraient donc varier en fonction du statut qu'une institution donnée accorde à cet objet et de ce qu'elle attend et souhaite que le sujet apprenne à propos de cet objet. Une même personne peut donc être assujettie à deux (ou plus !) institutions dans lesquelles les attentes à son égard peuvent être différentes. Ces savoirs qui, du point de vue de la référence savante, peuvent être fort différents, ne sont pas forcément identifiés comme tels par le sujet.

Ainsi, non seulement les sujets d'une institution donnée pourraient avoir des rapports personnels liés à la position que l'institution leur accorde, mais encore ces rapports pourraient fluctuer, voire être complètement remis en cause dès lors qu'un sujet changerait d'institution. Ceci pourrait créer, pour chaque sujet, des tensions, plus ou moins supportables, plus ou moins dépassables, quand il passerait d'une institution à l'autre.

Les modèles culturels, en particulier les modèles traditionnels masculins et féminins, qui constituent les positions occupées par les sujets des deux sexes dans les institutions familiales, pourraient alors jouer sur les rapports initiaux que les sujets des deux sexes entretiennent avec les objets appartenant à l'école comme sur les premiers acquis cognitifs liés à la fréquentation et à la pratique de ces objets.

Du point de vue chronologique, la famille est la première institution mettant en présence un sujet et des objets de savoir. Largement influencée par les modèles culturels sous-jacents, l'institution familiale assigne à ses sujets, filles et garçons, des positions précises et peut, de ce fait, intentionnellement ou non :

– soit faire en sorte que certains objets ne soient pas constitutifs du « milieu » dans lequel évolue un sujet en position de fille ou de garçon ;

– soit manifester à l'encontre des sujets en position de fille ou de garçon des attentes différentes en termes d'action ; l'une et l'autre seraient alors autorisés à « manipuler » les mêmes objets, mais selon des modalités différentes, indice d'une topogénèse (Chevallard, 1985) différente du rapport à un même objet.

Le cadre théorique, rapidement ébauché ici, paraît fécond pour prendre en compte les positions respectives assignées aux filles et aux garçons quand ils sont sujets de l'institution familiale (voire de la société en général) et de l'institution scolaire. Nous allons l'appliquer à un certain nombre d'observations empiriques réalisées, sous des formes diverses, dans des situations scolaires.

3. UNE ÉTUDE DE CAS : CONSTRUCTION À L'ÉCOLE MATERNELLE

Neuf filles et neuf garçons âgés de cinq à six ans (grande section d'école maternelle) ont à réaliser un montage en Légo (Roustan-Jalin, 1997). Cette activité se déroule en classe, sous la responsabilité de la maîtresse habituelle. C'est la première fois que ces élèves sont confrontés à une telle tâche avec des Légos ; les élèves ont à leur disposition :

- six modèles différents ;
- une image en couleur de chacun des modèles qu'il est possible de réaliser ;
- les fiches techniques correspondantes sur lesquelles figurent :
 - les différentes pièces nécessaires à la construction de chacun des modèles, en grandeur réelle et en couleur,
 - le nombre d'éléments de chaque espèce (indiqué en regard de chaque pièce).

Les élèves travaillent individuellement ; leurs actions sont consignées par des observateurs. Le modèle et la fiche technique correspondante sont distribués arbitrairement par la maîtresse. Les filles ne manifestent ni opposition ni enthousiasme ; par contre, cinq garçons sur les neuf contestent le modèle qui leur échoit et essaient de négocier avec la maîtresse pour en changer. Les observations permettent de noter des comportements différents.

➤ En ce qui concerne les filles :

– toutes lisent la fiche et rassemblent dans un premier temps les éléments nécessaires à la construction du modèle. Ces éléments sont associés par catégories ;

- toutes essaient ensuite de reproduire le modèle en se référant à l'image ;

- trois d'entre elles abandonnent et demandent à la maîtresse si elles peuvent « jouer à autre chose » ;

- cinq d'entre elles demandent l'aide de la maîtresse qui en arrive à effectuer presque tout le montage à leur place ;

- une seule effectue le montage jusqu'au bout et sans aide ; il s'agit d'une reproduction exacte du modèle.

➤ En ce qui concerne les garçons :

- six d'entre eux « lisent » la fiche et rassemblent les éléments nécessaires à la construction du modèle. Ces éléments sont associés par catégories ;

- trois se réfèrent directement à l'image et se « lancent » dans le montage en prenant au fur et à mesure les pièces qui leur sont nécessaires ;

- au bout du compte, tous effectuent un montage, mais pour cinq d'entre eux, l'objet réalisé n'a rien à voir avec le modèle de départ, qu'il soit ou non construit avec les pièces requises pour sa réalisation.

Les observations montrent une très grande différence de comportement entre filles et garçons, interprétables en référence aux stéréotypes familiaux si l'on en croit les auteurs cités au paragraphe un : position plus « offensive » des garçons face à une activité de construction, moins d'autonomie chez les filles cherchant plus fréquemment de l'aide... Faute d'une connaissance de ce qui se passe réellement dans les familles, nous ne nous avancerons pas plus. Nous ne relèverons que la seule chose dont nous soyons sûrs : l'unique action commune à tous les élèves, quel que soit leur sexe, est de commencer par rassembler tous les éléments nécessaires à la construction du modèle, puis de les ranger par catégories. Ceci n'est pas le fait du hasard mais le résultat d'un enseignement préalable : à l'école maternelle, quand on doit construire un objet à partir d'une fiche technique, on commence par repérer, rassembler et classer les pièces nécessaires. Les classements, catégorisations, sériations sont autant d'objectifs fixés à l'école maternelle et font l'objet de nombreuses activités. Il s'agit là d'un objet spécifique à l'institution école, fruit d'une intention didactique. Ce que l'on voit c'est bien le reflet d'un savoir construit que les élèves, « bons sujets », mettent en œuvre, filles ou garçons. Comme la maîtresse n'a pas (nous avons pu l'observer dans les séances précédentes) assigné de position spécifique aux filles et aux garçons relativement à l'apprentissage de cette technique, le savoir construit est le même, conforme au savoir institutionnel et produit des comportements non différenciés.

L'intention didactique n'enregistre pas les différences, elle crée du « cognitivement nouveau » et met plus facilement les élèves à égalité.

Dans le reste du travail, il ne s'est pas encore manifesté d'intention didactique pour leur « apprendre » de nouvelles conduites relativement à ces activités de construction à partir de fiches. Les filles se trouvent en situation d'être « autorisées » à manipuler des objets n'appartenant pas à leur milieu habituel. L'institution ne les dote pas d'un rapport « officiel » à ces objets ; seules les conduites connues ont soutenu leur action avec et sur les objets. Si les activités proposées manifestaient une intention didactique, si elles venaient à la suite de plusieurs séances d'apprentissage intentionnel, il est vraisemblable que les filles et les garçons auraient des comportements comparables.

4. ACTIVITÉS EN TECHNOLOGIE EN CLASSE DE 3^{ÈME}

Duru-Bellat indique que chez les jeunes de 11-12 ans la technologie reste résolument du côté des matières considérées comme masculines, alors que « *la dactylo et l'économie domestique restent du côté des matières considérées comme féminines* » (Duru-Bellat, 1994). Depuis 1975, l'enseignement de la technologie est obligatoire dans le cursus commun à tous les élèves du collège. Nous tenterons ici d'aller voir si les pratiques d'enseignement de la technologie, pendant le cursus du collège, amènent filles et garçons (quatrième année d'étude de la technologie, âges : 14-15 ans) à des rapports semblables à la technologie ou si perdure une différenciation visible.

La recherche a eu lieu dans sept classes de troisième dans quatre collèges différents (Roustan-Jalin, 1997). Nous observerons un certain nombre de comportements liés principalement à l'entrée dans l'activité et à sa conduite. Ces comportements ne seront bien évidemment pas transparents : ils seront des émergents complexes de manifestations de stéréotypes sociaux comme de plus ou moins grandes dominations des savoirs en jeu.

Plusieurs auteurs indiquent une forte réticence des filles à l'égard des groupes mixtes (Duru-Bellat, 1994 ; Mosconi, 1994 ; Whitlegg, 1996) où elles se sentent dévalorisées car soumises à concurrence déloyale. Privilégiant la recherche d'éventuelles différences liées au sexe, nous avons choisi de constituer, sous la responsabilité des enseignants, des paires mixtes. En faisant travailler les élèves par deux peuvent apparaître des comportements dominants liés aux personnalités propres des protagonistes. *A priori*, ceci peut se repérer aussi bien dans les paires de filles que de garçons. C'est pour neutraliser cette variable que nous avons fait ce choix :

si, massivement, les garçons et les filles exhibent des comportements différents ou identiques dans les paires mixtes, on pourra alors penser que la variable « personnalité propre » n'est pas d'un poids prépondérant.

Les séquences observées fonctionnent selon un contrat didactique particulier : les situations proposées supposent que les élèves travaillent à deux, en autonomie. C'est la paire qui prend en charge la tâche prescrite et œuvre conjointement dans le but de la mener à son terme et de la réussir. Cette organisation particulière suppose, de la part des « acteurs », participation et négociation. De telles séquences devraient offrir une certaine « transparence » et permettre d'observer une répartition au niveau de l'implication dans l'action et de la « nature » des actions en fonction du sexe des élèves, donc l'émergence possible d'un rapport différencié au savoir. Durant la période où le problème posé passe momentanément sous la gestion des élèves, on peut espérer repérer ces comportements. Ceux-ci permettraient alors de voir si un objet de savoir a des chances de devenir familier aux uns et aux autres, ou au contraire de demeurer étranger aux uns et/ou aux autres. Si l'un ou l'autre des deux protagonistes des paires observées apporte la solution au problème posé – plus précisément le résout seul ou ne concède à l'autre qu'un espace restreint d'action – l'un ou l'autre court le risque de demeurer étranger à l'objet de savoir en jeu.

4.1. Nature des tâches proposées aux élèves

Pour observer d'éventuelles attitudes sexuellement marquées, nous avons observé la réalisation de deux tâches choisies en fonction de leur forte connotation sexuelle.

La tâche 1 est une tâche de production. Il s'agit de monter un élévateur de type « mécano » à partir d'une vue éclatée et du schéma de câblage de la partie électrique. Les élèves étant en possession des éléments constituant l'élévateur, la réalisation de la tâche suppose :

- la fixation des roues arrière avec l'axe de direction ;
- la fixation des roues avant ;
- le montage d'une vis sans fin ;
- le montage et la mise en place des fourches ;
- la fixation du moteur d'entraînement de la vis sans fin ;
- la réalisation du câblage des différents moteurs (élévateur et roues avant) ;
- la mise en place de la carrosserie.

L'objectif final visé consiste en un montage complet et correct du « mécano ».

La tâche 2 consiste à effectuer le classement d'un dossier constitué de bons de commande, de bons de livraison et de factures. Les élèves ont à leur disposition :

- une fiche de consignes ;
- des documents à classer (18 bons de commande, 18 bons de livraison, 18 factures) ;
- trois sous-chemises ;
- une feuille vierge.

Les documents, datés, correspondent à six approvisionnements de trois produits distincts. Chaque produit fait appel à un fournisseur spécifique. Le résultat attendu consiste en un classement des divers documents suivant le modèle en vigueur dans une entreprise et en la production d'un rapport écrit décrivant la méthode de classement utilisée.

4.2. Nature des observations

Les observations sont centrées sur qui pilote le travail, prend les décisions, mène les activités. Ces indicateurs d'investissement personnel visible semblent les plus faciles à repérer. Un investissement égal serait l'indice de positions semblables dans l'institution vis à vis des tâches proposées. Des investissements différenciés pourraient indiquer des positions et des rapports au savoir différenciés, typés ou non suivant le genre.

La grille d'observation comporte deux catégories. La première regroupe des dimensions comportementales destinées à rendre compte des attitudes des filles et des garçons **avant** leur engagement dans la réalisation des tâches prescrites :

- opposition (ou non-opposition) au travail en groupes mixtes ;
- examen des documents (commun ou individuel) ;
- décision de partage des tâches (commune ou unilatérale).

La deuxième catégorie regroupe des dimensions comportementales en lien direct avec le déroulement de l'activité (**pendant**). Il s'agit de mettre en évidence, de manière plus précise, les implications respectives des filles et des garçons engagés dans l'action et confrontés aux tâches précédemment décrites :

- organisation effective du travail pendant l'activité ;
- présence (ou non) d'un comportement dominant en fonction de la nature de la tâche et exclusion de l'un ou l'autre des deux protagonistes du groupe en fonction de la nature de l'action à entreprendre ;
- interactions au sein du groupe.

4.3. Comportement avant l'engagement dans l'activité

4.3.1. *Opposition (ou non-opposition) au travail en groupes mixtes*

Aucune opposition significative à la proposition de travail en groupes mixtes n'apparaît. Les opinions recueillies auprès des élèves ont, au contraire, mis l'accent sur les aspects enrichissants de cette collaboration. Ce résultat va à l'encontre de ce qu'indiquaient les auteurs cités plus haut. Comment expliquer cet écart ? Soit, ici, des habitudes se sont instaurées du fait de la fréquence de ce type d'organisation en technologie, soit les filles trouvent là le moyen d'échapper à des tâches qui ne les enthousiasment pas, soit ces deux raisons jouent à la fois...

4.3.2. *Examen des documents*

Vingt six paires ont pu être observées sur cette dimension. Les comportements suivants ont été notés :

- pour la tâche 1, les groupes se partagent à peu près pour moitié entre lecture collective et lecture individuelle. Lorsque, au sein de la paire, un élève lit seul les documents, c'est de façon très majoritaire le garçon qui le fait (85 % des cas ; différence très significative : seuil inférieur à .001). Il semble donc que, pour la moitié des groupes, les garçons s'approprient d'entrée de jeu des documents en rapport avec un domaine qu'ils estiment être le leur, écartant de ce fait les filles de certains objets de savoir, sans que celles-ci y trouvent sujet à rébellion ;
- pour la tâche 2, comme le professeur avait, à chaque fois, expliqué oralement ce qui était attendu, les élèves n'ont pas jugé utile de se référer à la fiche explicative.

4.3.3. *Décision de partage des tâches*

Trente et une paires ont pu être observées, investies successivement dans les deux tâches :

- sur 31 groupes observés sur la tâche 1, 17 décident conjointement du partage des tâches ; pour 14 d'entre eux, le partage est le résultat d'une

décision unilatérale et, dans ce cas, c'est 11 fois le garçon qui décide. Donc, décisions conjointes et décisions unilatérales sont en nombres comparables. En cas de décisions unilatérales, elles sont très souvent le cas des garçons (78 % des cas ; différence significative à .01) ;

– sur 31 groupes observés sur la tâche 2, 20 décident conjointement du partage des tâches ; pour 11 d'entre eux, le partage est le résultat d'une décision unilatérale et, dans ce cas, c'est 5 fois le garçon qui décide et 6 fois la fille. Donc, 65 % des groupes décident du partage. Si une décision unilatérale est prise, aucune différence significative entre filles et garçons n'existe.

Il semblerait que, pour une tâche jugée plus « féminine », les filles revendiquent plus souvent une place, sans que les garçons ne cèdent vraiment du terrain !

4.4. Comportements pendant la réalisation de la tâche

4.4.1. Partage effectif du travail

Trente quatre paires ont été observées. Quatre méthodes d'organisation du travail sont apparues (tableau 3) :

- travail ensemble par accord réciproque ;
- travail ensemble avec un donneur d'ordre (fille ou garçon) ;
- travail individuel mais chacun participant à la tâche ;
- un seul élève travaille (fille ou garçon).

	Travaillent ensemble	Travaillent ensemble avec donneur d'ordre		Ne travaillent pas	Un(e) seul(e) travaille	
	avec accord	garçons	filles	ensemble	garçons	filles
Tâche 1	18	7	3	16	8	0
Tâche 2	24	6	6	10	1	2

Tableau 3 : Partage effectif du travail (34 groupes observés)

Tâche 1 : si les groupes se répartissent de façon équivalente entre les quatre méthodes de travail recensées, on peut cependant formuler trois remarques :

- s'il existe un donneur d'ordre, dans 7 cas sur 10 c'est un garçon. Certes, la différence est peu significative (seuil inférieur à 0.10) ;

– lorsqu'un seul des deux élèves travaille, c'est toujours un garçon ; dans les 8 groupes observés travaillant séparément, les manipulations opérées par les filles s'avèrent peu concluantes. Dans 6 de ces 8 groupes, les filles essaient de monter quelques éléments, puis finissent par se décourager et abandonnent.

Les filles semblent s'exclure de la tâche réputée « masculine ».

Tâche 2 : les groupes observés travaillent beaucoup plus souvent ensemble que pour la tâche 1. Lorsqu'il y a donneur d'ordre, c'est aussi bien la fille que le garçon. On pourrait penser que, dans ce type de tâche, les filles se sentent plus à l'aise et hésitent moins à prendre l'initiative.

4.4.2. Comportement dominant, exclusion d'un protagoniste

On a observé, dans 34 groupes, qui agit lors d'une action dans chacune des tâches. Les grands traits sont consignés dans le tableau 4.

	Prise en mains du montage		Prise en mains du classement		Pas de prise en mains significative
	garçons	filles	garçons	filles	
Tâche 1	16	3			15
Tâche 2			4	5	25

Tableau 4 : **Présence d'un comportement dominant selon la tâche (34 groupes observés)**

Pour la tâche 1, quand il y a prise en mains manifeste pour le montage du mécano, c'est, dans 16 cas, le fait d'un garçon. Si l'on regarde, dans l'ensemble de la tâche 1, la partie concernant spécialement le montage des engrenages, les résultats sont encore plus impressionnants (tableau 5).

	Garçons	Filles	Groupes observés
Montage des engrenages	31	3	34

Tableau 5 : **Réalisation du montage des engrenages du mécano**

La différence fille/garçon pour le montage des engrenages est très significative (seuil inférieur à 0.001).

Pour la tâche 2, il semble y avoir une plus grande coopération (25 groupes). Quand il y a prise en mains du classement, c'est, aussi souvent, le fait de la fille que du garçon. Dans cette tâche 2, il est intéressant d'étudier l'une des sous-tâches : à la fin, les élèves doivent consigner par

écrit la démarche utilisée. Cette sous-tâche est prise en mains dans 21 cas par une fille et dans 10 cas par un garçon. Souvent, quand c'est le garçon qui écrit, il le fait sous la dictée de la fille. La différence notée ci-dessus est significative à un seuil inférieur à 0.01.

En résumé, monter un engrenage reste résolument du domaine masculin, écrire reste du domaine féminin. Même s'il y a collaboration dans la réalisation d'une tâche, filles et garçons n'occupent pas toujours les mêmes places au niveau des actions entreprises avec et sur les objets de savoir associés aux tâches prescrites.

4.5. Discussion

Il semble que, au terme de quatre années de pratique scolaire de la technologie, les rapports personnels des élèves à cette discipline restent fortement sexuellement différenciés : les garçons, plus fréquemment que les filles

- s'approprient le montage du mécano ;
- examinent les documents relatifs à cette tâche ;
- décident du partage des tâches ;
- donnent des ordres en cas de collaboration dans le travail ;
- réalisent seuls le montage quand les deux travaillent séparément ;
- réalisent le montage des engrenages.

Inversement, la rédaction du compte rendu de la tâche 2 est le plus souvent prise en charge par les filles.

La tâche 1, montage du mécano, apparaît donc comme fortement connotée sexuellement, comme tâche « masculine ». La tâche 2, « classement de documents », est plus « féminine », même si son caractère est moins tranché que la précédente. Ceci permet de confirmer l'existence de « territoires » différents pour les filles et les garçons, même après plusieurs années d'études de la technologie. Sur ce domaine, l'école ne semble pas avoir sérieusement modifié les comportements. Il est vrai que n'ont été observés systématiquement que des groupes mixtes. Ceci constitue une limite de cette étude. En effet, cela ne nous dit rien sur le comportement de filles et de garçons, face aux mêmes tâches, dans des groupes non mixtes.

L'étude montre, sans conteste, une différence notable entre filles et garçons, facilement identifiable. Or ces comportements, apparaissant quand les élèves travaillent en autonomie, ne sauraient être considérés comme

idoines au rapport officiel attendu par l'institution. Comment expliquer alors cette irruption des stéréotypes dans la classe ? On peut proposer l'explication suivante : même si l'institution « classe » n'assigne pas aux filles et garçons des positions spécifiques par rapport aux objets d'enseignements, les élèves, d'eux-mêmes, s'en attribuent. Or, une des particularités fortes de l'enseignement de la technologie au collège est de revendiquer une transposition à l'école de pratiques sociales bien identifiables : l'objet technique, depuis l'identification du besoin jusqu'à sa commercialisation, en passant par sa conception, sa construction, sa production, sa consommation. La référence aux pratiques des acteurs sociaux est explicite, voulue. La distance entre l'école et la société s'efforce d'être courte. Les élèves, sujets de l'institution scolaire et des autres institutions, ne vivent pas de coupure et reproduisent largement à l'école des comportements à l'œuvre à l'extérieur.

De ce fait il leur devient difficile de résoudre les tensions existant entre les objets institutionnels et ils ont plus de mal à être « de bons sujets » de l'institution scolaire : ils restent filles et garçons, avec leurs rapports aux objets et activités techniques largement issus de ce qui est construit dans la famille et dans la société en général et cela en contradiction avec les objectifs de l'école (sauf à penser que le collège se satisfasse fort bien de cette différenciation, ce qui n'est pas notre propos). Bien sûr, il s'agit de tension : toutes les filles ne reproduisent pas les comportements stéréotypés. L'école favorise la rupture chez certaines en leur autorisant un rapport nouveau à la technologie.

5. MODES DE RAISONNEMENT EN ÉLECTROCINÉTIQUE

Dans cette partie, nous nous penchons plus spécifiquement sur les savoirs construits par les élèves, les conceptions et modes de raisonnement mis en œuvre. Si nous avons choisi de tester ceci en électrocinétique, c'est qu'il s'agit là d'un domaine où les recherches en didactique ont produit des savoirs sûrs : on connaît bien les conceptions, les modes de raisonnement employés par les élèves pour résoudre les problèmes d'électrocinétique en tension et courant continu, sur des circuits simples. Cependant, ces travaux ne se sont jamais posé la question des différences éventuelles entre filles et garçons à ce propos. C'est ce que nous ferons ici, en regardant alors non du côté des comportements mais bien du côté des savoirs construits.

Pour cela, deux études ont été menées reprenant, dans des questionnaires papier-crayon, des items déjà utilisés : plutôt que d'en construire de nouveaux, il nous a paru judicieux d'utiliser des questionnaires éprouvés dont la pertinence a pu être testée (Closset, 1983 ; Dupin & Johsua,

1985, 1986 ; Shipstone et al., 1988). Les questions se répartissent en questions à caractère « déclaratif » (déclarer justes ou fausses des assertions) et questions à caractère « opérationnel » (mise en œuvre de raisonnements pour résoudre des problèmes).

5.1. L'étude en Tunisie

Même si l'arsenal statistique est moins important, il semble, qu'à bien des égards, la situation tunisienne présente des points communs avec celle de la France. Si, pour la tranche d'âge 6-12 ans, les taux de scolarisation des garçons (93 %) et des filles (91,5 %) sont quasiment identiques, dans la tranche d'âge 13-19 ans un écart semble se creuser au bénéfice des filles (filles : 62,1 % ; garçons : 58,5 %). De plus, même si cela a plus valeur symbolique que statistique, des filles se signalent régulièrement en obtenant les meilleures moyennes au baccalauréat.

D'un autre côté, si l'on en croit Bahloul (1996) la société tunisienne se caractériserait par la coexistence de deux modes d'éducation très contrastés :

- un mode « moderne » à l'écoute des changements survenus dans les relations possibles entre parents et enfants ou dans le monde de l'éducation en général ;
- un mode « traditionnel » fortement influencé par des relations de domination, en sens unique, entre parents et enfants, ou par les traditions culturelles en général.

Le premier mode serait dominant dans les couches aisées et dans les milieux intellectuels de la classe moyenne ; le deuxième se rencontrerait parmi les couches défavorisées, illettrées et dans les milieux religieux. Ce mode d'éducation traditionnel générerait chez beaucoup de jeunes, selon Bahloul, « *un sentiment d'impuissance et de dévalorisation de soi* », particulièrement chez les filles.

Pour essayer d'y voir plus clair dans ces tendances contradictoires, pour essayer de cerner les impacts d'une scolarisation de masse en Tunisie, cette étude essaye d'estimer si une domination différenciée de savoirs en physique (ici électrocinétique) peut être mise en évidence. Quelques résultats sont présentés ici. On pourra trouver dans Ben Mim (1999) l'intégralité des résultats.

5.1.1. Échantillon de l'étude

Deux cent trois élèves de 4^{ème} année d'enseignement secondaire (grade 9) ont été questionnés après enseignement. Cet échantillon est noté Egéné. Cet échantillon général est ensuite découpé en fonction des questions que nous nous posons à son propos : d'abord entre filles et garçons (118 filles, 85 garçons). Deux sous-échantillons ont été extraits, liés à l'origine des parents de ces élèves, de façon à isoler deux groupes fortement contrastés :

- 59 (29 %) de ces 203 élèves ont au moins un parent ayant un niveau d'études bac+4 au moins (échantillon ECC+) ;

- 30 (moins de 15 %) de ces 203 élèves ont des parents dont le niveau d'études est inférieur au bac (échantillon ECC-).

Pour les 114 restants (56 %), au moins un des parents a un niveau d'études compris entre le bac et bac+3. Le faible nombre de l'échantillon ECC- est peut-être reflet d'une inégalité sociale devant une scolarisation de masse encore en train de se développer, concernant prioritairement les couches moyennes et favorisées.

Une première analyse permet de comparer les performances respectives des filles et des garçons dans l'effectif global. On regarde ensuite les résultats dans chacun des deux sous-échantillons. Dans ce second cas, les effectifs pris en compte deviennent faibles : il faudra prendre les données plus comme des indices que comme des résultats avérés. Le tableau 6 donne la constitution de ces échantillons.

	Échantillon général noté EGéné		Échantillon à capital culturel élevé noté ECC+		Échantillon à capital culturel faible noté ECC-	
	effectif	âge moyen	effectif	âge moyen	effectif	âge moyen
Total	203	16,5	55	15,5	29	17,1
Filles	118	16,6	27	15,6	15	17,5
Garçons	85	16,5	28	15,5	14	17,1

Tableau 6 : Échantillons testés à Tunis

L'âge moyen met en évidence une différence importante (1,5 ans) liée à l'origine sociale des élèves, indice d'une scolarité plus rapide chez les enfants dont les parents ont un niveau d'études très élevé (ECC+), les élèves de ECC- étant en retard. Mais aucune différence notable n'apparaît entre filles et garçons.

5.1.2. Quelques indicateurs généraux

Ils permettent de repérer la « fréquentation » avec des objets techniques, des pratiques domestiques, des activités scolaires liés à l'électricité. L'annexe récapitule les résultats dont nous ne présentons ici que les traits saillants :

- globalement, les garçons utilisent un peu plus de jouets fonctionnant à l'électricité que les filles. Dans ECC+, l'écart semble peu important ;

- à la maison, les filles bricolent l'électricité moins que les garçons ; les filles déclarent avoir plus peur de l'électricité que les garçons ;

- les garçons se voient, plus que les filles, avoir un métier dans un domaine lié à l'électricité. L'attrait, dans ECC+, est largement plus faible que dans ECC-. Peut-être est-ce dû au fait que dans ECC+ l'éventail des métiers dans lesquels se projettent les élèves est large, alors que dans ECC- les élèves, plus sensibles à la question du chômage, se projettent dans des métiers analysés comme « d'avenir ». Ceci pourrait expliquer la très grande différence entre filles des 2 groupes (4 % pour ECC+ contre 40 % pour ECC-) ;

- si filles et garçons déclarent, globalement, avoir étudié l'électricité à l'école avec une fréquence peu différente, un écart semble exister, dans ECC-, au profit des garçons ;

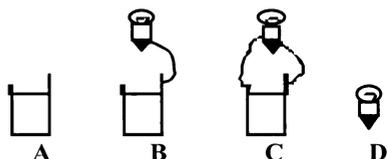
- près de la moitié des élèves déclare avoir utilisé des appareils électriques au lycée. La proportion est encore plus faible dans ECC- (environ 1/3, peut-être indice d'un moins bon équipement des lycées populaires).

Cette première série de résultats permet de voir apparaître quelques différences entre filles et garçons. La Tunisie ne semble pas ici se particulariser outre mesure.

5.1.3. Séparation courant/tension (figure 1)

Cette série d'items permet de révéler si les élèves différencient courant et tension : on attend d'eux qu'ils identifient l'existence d'une tension, même en circuit ouvert, alors que l'existence d'un courant ne doit être notée qu'en circuit fermé.

Regardez les quatre figures A, B, C, D ci-dessous. Elles contiennent des lampes et des piles en bon état de marche.



Lisez chacune des affirmations ci-dessous. Elles peuvent être justes ou fausses. Pour chaque figure (A, B, C ou D), cochez la case correspondante si vous pensez que l'affirmation est juste.

	A	B	C	D	NSP
1. La lampe est éclairée dans la figure	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Il existe un courant électrique dans la figure	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Il existe une tension électrique dans la figure	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figure 1 : Séparation courant/tension

Les items 1 et 2 portent sur le courant, avec deux rédactions, une plus expérimentale (« lampe éclairée »), l'autre plus modélisée (« courant électrique »). Le tableau 7 donne les résultats obtenus. Ce savoir semble largement établi et partagé avec peu de différences entre les diverses composantes de l'échantillon.

	Réponses correctes à l'item 1 (figure 1)								
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	198	117	81	52	27	25	28	15	13
%	98	99	95	95	100	89	97	100	93

	Réponses correctes à l'item 2 (figure 1)								
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	184	104	80	48	23	25	27	13	14
%	91	88	94	87	85	89	93	87	100

Tableau 7 : Existence d'un courant

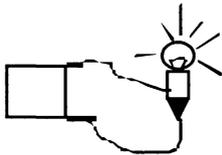
L'item 3 concerne l'existence d'une tension, même en circuit ouvert (figure 1). Comme on pouvait s'y attendre, cette connaissance semble être très minoritaire chez tous les élèves (tableau 8). La faiblesse des effectifs concernés ne permet pas de conclure à une éventuelle différence entre filles et garçons, d'autant plus que les réponses 3A et 3C ne montrent pas de cohérence.

Réponses correctes à l'item 3A (figure 1) : une tension peut exister aux bornes de la pile « libre »									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	26	16	10	12	6	6	4	3	1
%	13	14	12	22	22	21	14	20	7

Réponses correctes à l'item 3C (figure1) : une tension peut exister en circuit ouvert									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	25	11	14	10	2	8	3	1	2
%	12	9	16	18	7	29	10	7	14

Tableau 8 : Existence d'une tension

5.1.4. Conservation/consommation de courant (figure 2, déclaratif)



Dans le circuit ci-contre, une lampe est branchée sur une pile. La lampe est éclairée. Choisissez les bonnes réponses.

- | | Vrai | Faux | NSP |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 1. La lampe consomme tout le courant électrique | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. La lampe consomme une partie du courant électrique | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. La lampe ne consomme pas de courant électrique | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

On veut repérer, ici, ceux qui déclarent qu'il n'y a pas consommation et ceux qui pensent en termes d'usure (tableau 9). L'effectif est partagé, la conception « consommation » étant légèrement majoritaire ; dans tous les échantillons, les réponses des filles semblent plus proches de ce qui était attendu.

Réponses correctes à « la lampe ne consomme pas de courant »									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	89	57	32	20	11	9	17	10	7
%	44	48	37	36	41	32	59	67	50

Réponses incorrectes à « la lampe consomme du courant »									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	102	52	50	25	10	15	12	4	8
%	50	44	59	45	37	54	41	27	57

Tableau 9 : Réponses concernant la consommation de courant

5.1.5. La pile comme générateur de courant ou de tension ? (déclaratif)

Dites ce que vous pensez des phrases suivantes :

1. Une pile délivre le même courant quel que soit le circuit
2. Une pile délivre la même tension quel que soit le circuit

La question teste si, au déclaratif, les élèves voient la pile plutôt comme un générateur de tension ou plutôt comme un générateur de courant.

La conception erronée à « générateur de courant constant » est majoritaire (tableau 10), les filles semblant répondre plus souvent correctement que les garçons. On retrouve une répartition peu différente pour la tension, avec un avantage pour les garçons sauf dans ECC- (tableau 11).

Réponses correctes à « une pile ne délivre pas toujours le même courant »									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	84	53	31	13	8	5	13	7	6
%	41	45	36	24	30	18	45	47	43

Réponses incorrectes à « une pile délivre toujours le même courant »									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	105	58	47	32	15	17	15	8	7
%	52	49	55	58	56	61	52	53	50

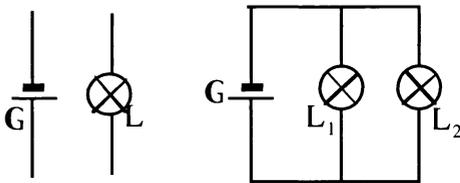
Tableau 10 : Générateur de courant constant

Réponses correctes à « une pile délivre toujours la même tension »									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	112	62	50	29	17	12	16	6	10
%	55	53	59	53	63	43	55	40	71

Réponses incorrectes à « une pile ne délivre pas toujours la même tension »									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	81	50	31	19	7	12	13	9	4
%	40	42	36	35	26	43	45	60	29

Tableau 11 : Générateur de tension

5.1.6. Tensions et courants dans des circuits avec dérivation (figure 3)



Dans les schémas électriques ci-contre, toutes les lampes (L, L_1, L_2) sont identiques, ainsi que les générateurs G.

- | | | | |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| | Vrai | Faux | NSP |
| 1. Les tensions mesurées aux bornes des lampes L_1 et L_2 sont égales | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Les tensions aux bornes de L_1 et L_2 sont plus faibles que celle aux bornes de L | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Les lampes L_1 et L_2 brillent moins que L | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Figure 3 : Circuits en dérivation

Il s'agit de comparer deux circuits et de faire des prévisions.

Réponses correctes à l'item 1 : « les tensions aux bornes des 2 branches d'une dérivation sont égales »									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	144	81	63	40	19	21	20	10	10
%	71	69	74	73	70	75	69	67	71

Réponses correctes à l'item 2 : « la pile délivre toujours la même tension »									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	85	49	36	29	14	15	6	2	4
%	42	42	42	53	52	54	21	13	29

Tableau 12 : Tensions égales aux bornes de dérivation

Si les élèves savent majoritairement que les tensions aux bornes des deux branches en dérivation sont égales (71 % de réponses correctes à l'item 1), cette connaissance n'est pas suffisamment maîtrisée par nombre d'entre eux. Le fait que cette tension est imposée par la pile ne semble acquis que par une minorité d'entre eux (42 % de réponses correctes à l'item 2). Si l'on compare aux résultats de la question déclarative (paragraphe 5.1.5.), on voit que la mise en problème de cette notion entraîne un plus grand taux d'échecs. Les différences entre filles et garçons sont très faibles (tableau 12), sauf dans ECC-.

Si l'on s'attache à la question du courant, on voit de la même façon apparaître, avec une fréquence plus grande, le raisonnement à générateur de courant constant. Le passage du déclaratif à l'opérationnel entraîne toujours une baisse des performances (tableau 13). Là encore, les différences filles/garçons sont faibles. ECC+ semble mieux réussir que ECC-.

Réponses correctes à l'item 3 : « les 3 lampes brillent de façon identique »									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	66	34	32	19	9	10	7	4	3
%	33	29	38	35	33	36	24	27	21

Réponses incorrectes à l'item 3 : « une pile délivre toujours le même courant »									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	125	78	47	29	16	13	21	10	11
%	62	66	55	53	59	46	72	67	79

Tableau 13 : Courant dans les dérivation

5.1.7. Discussion

L'étude complète (Ben Mim, 1999) comporte de nombreux autres items. Nous ne les présentons pas ici car ils confirment les résultats

présentés. Dans l'ensemble, il apparaît que, en termes de performances, aucune différence claire n'existe entre filles et garçons : soit les différences sont peu significatives, soit, lorsqu'il y en a, elles peuvent être dans un sens puis dans un autre suivant les questions considérées.

Notons aussi que les résultats comparés des deux sous-échantillons ECC+ et ECC- sont comparables. Mais il faut se garder des conclusions hâtives : outre la faiblesse numérique de l'échantillon ECC-, les effets de la sélection peuvent faire en sorte que les éléments de cet échantillon soient plus sévèrement triés que ceux de ECC+, éliminant plus les élèves « tangents » issus de familles à faible « capital culturel ».

5.2. L'étude en France

Un questionnaire très proche du précédent est présenté à des élèves de quatrième de collège (troisième année secondaire, grade 8) et à des élèves de seconde de lycée d'enseignement général (cinquième année secondaire, grade 10).

Le tableau 14 donne les effectifs d'élèves testés dans chacune des classes. Chacune des classes est dotée d'un indice noté + ou -. Cet indice, dont on ne juge pas ici de la pertinence, vise simplement à avoir une idée de l'opinion générale qu'expriment les enseignants sur leur classe : « bonne » classe (notée +), classe « faible » (notée -).

	2 ^{de} +	2 ^{de} -	4 ^{ème} +	4 ^{ème} -
Nombre d'élèves	32	24	24	23
Nombre de filles	18	11	9	12
Nombre de garçons	14	13	15	11

Tableau 14 : Effectifs des échantillons testés

Les questionnaires ont été soumis aux élèves avant enseignement de l'électricité dans leurs classes :

- les élèves de quatrième ont reçu un enseignement à ce sujet éventuellement à l'école primaire ou dans les cours de technologie dans les classes précédentes du collège ;

- les élèves de seconde ont reçu un enseignement d'électricité en classe de 4^{ème} (grade 8).

Nous regardons les apparitions des conceptions et modes de raisonnement mobilisés par les élèves et tentons de voir si filles et garçons montrent des performances différentes.

Les résultats obtenus (réussites comme échecs) sont conformes à ceux des études antérieures. Ils montrent, chez les élèves en échec, la grande présence du raisonnement séquentiel, articulé avec une conception à usure du courant. Les raisonnements ne sont menés qu'en courant, jamais en tension, ces deux concepts n'étant pas séparés, souvent mêlés à celui d'énergie. Le générateur est vu comme délivrant un courant constant quel que soit le circuit de charge. Aussi le lecteur apprendrait peu de choses à travers une présentation exhaustive des résultats complets (Roustan-Jalin, 1995) car ce qui est cherché ici est bien une éventuelle mise en évidence de différences liées au sexe. Or, dans l'analyse exhaustive de ce très long questionnaire, on ne voit apparaître en définitive que très peu de différences significatives entre filles et garçons. Lorsqu'il en existe (tableau 15), le fait que, suivant les questions, elles soient en faveur des filles ou en faveur des garçons confirme que l'on ne peut mettre en évidence, sur les questions d'électrocinétique posées, aucune différence dans les performances des deux échantillons, ni dans les modes de raisonnement mis en œuvre pour résoudre les problèmes. Filles et garçons connaissent les mêmes réussites et les mêmes échecs. En cas d'échecs, les mêmes conceptions et modes de raisonnement sont mobilisés.

Code question	Nature question	Raisonnement mis en évidence	Classe où apparaît une différence	Significative à...	Concerne plus les garçons	Concerne plus les filles
Q22 Q23	D*	Usure du courant	2 ^{de} +	0.10	oui	
Q4	D	Usure du courant	2 ^{de} -	0.05	oui	
Q9	OP**	Usure du courant	2 ^{de} + 2 ^{de} -	0.05 0.01	oui	oui
Q13	D	La tension n'existe que s'il y a un courant	2 ^{de} +	0.10	oui	
Q31	D	Confusion courant/tension	2 ^{de} + 4 ^{ème} +	0.10	oui	
Q101	OP	Confusion courant/tension	2 ^{de} -	0.10	oui	
Q7	OP	Pile = générateur de courant constant	2 ^{de} + 4 ^{ème} + 4 ^{ème} -	0.05 0.10 0.05		oui oui oui
Q14	OP	Pile = générateur de courant constant Raisonnement séquentiel	2 ^{de} - 4 ^{ème} -	0.05 0.05	oui oui	*** ****

* D = question « déclarative » ** OP = question « opérationnelle »

***... mais plus de filles ne donnent pas de réponse (différence significative à .10)

****... mais plus de filles ne donnent pas de réponse (différence significative à .01)

Tableau 15 : Récapitulatif des occurrences de différences significatives

5.3. Discussion

L'objet « électricité » appartient aux deux institutions, familiale et scolaire.

Dans l'institution familiale, cet objet, lorsqu'il vit, le fait sous une forme particulière. La plupart du temps, c'est sous forme d'une collection de règles d'action : allumer ou éteindre la lumière, ne pas mettre les doigts dans les prises et autres règles de sécurité domestique (attention à l'humidité, aux fils dénudés, à ne pas se brûler avec une lampe allumée, etc.), éteindre la lumière pour ne pas « consommer de courant », monter des piles dans un jouet ou autre appareil électrique. Ceci, dont la description faite ici est tout sauf exhaustive, définit un premier espace que l'on pourrait nommer « électricité à la maison », milieu dans lequel vit un premier rapport institutionnel à l'objet « électricité ».

Dans cette même institution familiale, on peut définir un autre espace, qu'on pourrait nommer « bricolage en électricité à la maison ». Se définit alors un autre rapport institutionnel à cet objet ; il passe à travers d'autres règles d'action, voire d'autres savoirs : repérer une panne, changer une lampe, changer des fusibles, connaître le rôle d'un disjoncteur, d'un coupe-circuit, monter un interrupteur, une douille, etc.

On peut émettre, sans trop de risques de se tromper, l'hypothèse que les filles sont plus souvent confinées dans le premier espace que les garçons. En tout cas, l'étude menée en Tunisie semble le confirmer.

Dans l'institution scolaire, l'objet « électricité » est en fait d'une tout autre nature. Le rapport officiel s'établit dans la volonté de construction d'un modèle scientifique : concepts de circuit ouvert et fermé, d'isolant et de conducteur, de tension, d'intensité, d'énergie et de puissance, de lois (d'Ohm, de Pouillet), etc. Les expériences qui sont faites mettent en jeu des appareillages ou des circuits rarement utilisés dans la vie quotidienne. Certes, la coupure d'avec l'objet « électricité » dans la famille n'est pas étanche : un réinvestissement dans le sens école ► maison est possible, voire souhaité. La distance reste néanmoins grande, la coupure est néanmoins réelle et importante. L'intention didactique forte amène les élèves des deux sexes à construire un même rapport personnel à ces objets de savoir. Par conséquent, même si l'institution familiale induit, dans sa sphère, des rapports différents entre filles et garçons avec l'objet « électricité », la coupure est suffisamment importante pour que l'on n'en voit pas d'effets à l'école : filles et garçons peuvent être « bons sujets » dans les deux institutions à la fois. Filles et garçons construisent des rapports personnels au savoir très proches, donnant des résultats non différenciables en termes de réussite scolaire, de conceptions, de connaissances, de modes de

raisonnement. De plus cela tendrait à prouver le caractère « universel » de ces savoirs scientifiques, en contradiction avec une prétendue nature « masculine » des savoirs en physique.

6. CONCLUSION

Suivant les domaines observés, des résultats fort différents sont obtenus. En regardant du côté des comportements, nous avons pu trouver des attitudes très sexuellement marquées en technologie et ce, dès le plus jeune âge. Ces comportements marquant fortement l'entrée dans les activités proposées, il est probable que les tâches réalisées par les élèves des divers genres ne revêtent pas les mêmes significations. On peut en inférer, sans trop de risques, que, dans le cadre scolaire que nous avons étudié, les rapports aux savoirs en jeu en technologie sont différents pour les filles et les garçons.

Pour l'électricité, nous avons regardé du côté des connaissances acquises, des conceptions et modes de raisonnement utilisés. Aucune différence n'apparaît liée au sexe des élèves étudiés. Cette forme scolaire de l'enseignement de l'électricité ne semble pas à même de donner une base objective à un rejet des filles des filières scientifiques.

Cette étude tend à montrer que, tout au moins dans les domaines étudiés, on ne peut mettre en évidence de différences entre filles et garçons lorsque l'institution scolaire fait vivre des savoirs dans un cadre nettement séparé des autres institutions. La situation est nettement moins claire lorsque l'école met des barrières moins grandes avec des réalités extérieures.

On peut proposer une conclusion provisoire, qui nécessitera des études complémentaires pour être affirmée : l'école, tout au moins en ce qui concerne les savoirs scientifiques, ne peut justifier d'une différence entre filles et garçons. Les choix d'orientation faits par les élèves des deux sexes ne semblent pas relever de faits objectivables. Les références extérieures à l'école semblent bien être les seules vraies raisons de la plus faible participation des filles aux filières scientifiques. En ce qui concerne les filières technologiques, l'école semblerait donner plus de justifications « objectives » à ces choix, même s'ils sont très largement pilotés par l'extérieur.

Cette entrée par une étude didactique semble donc bien converger avec les résultats obtenus par d'autres approches. Ce premier travail ne vise pas à tirer des conclusions définitives sur le sujet. Il cherche à montrer que, sur des questions qui relèvent traditionnellement de la sociologie, il est possible d'avoir un regard didactique. Il est même souhaitable de l'avoir. En effet, le point de vue didactique peut permettre d'élargir le champ de

vision sur ces questions s'il apporte quelque compréhension des mécanismes fins qui, dans la classe, peuvent produire les phénomènes massifs repérés à l'échelon de groupes sociaux.

Les tentatives actuelles, dont l'objectif est d'aller vers la construction d'une anthropologie des savoirs, peuvent permettre de se doter d'outils théoriques favorisant une interprétation des phénomènes observés. Il est évident que cette construction est loin d'être achevée. Si une anthropologie des savoirs doit un jour exister, elle passera, entre autres, par la prise en charge, par les chercheurs en didactique, de sujets de recherche qu'ils n'osaient pas encore explorer. Comme pour toute construction scientifique, confrontations et débats ouverts seront nécessaires.

BIBLIOGRAPHIE

- ALIBERT D., ARTIGUE M., COURDILLE J.-M., GRENIER D., HALLEZ M., LEGRAND M., MÉNIGAUX J., RICHARD F. & VIENNOT L. (1988). Le thème « différentielles » : un exemple de coopération maths/physique dans la recherche. In G. Vergnaud, G. Brousseau & M. Hulin (Éds), *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques*. Grenoble, La Pensée sauvage, pp. 7-46.
- ANDIOL D. & FÉLIX C. (1995). *Du rapport des filles au savoir scientifique*. Mémoire de maîtrise. CIRADE, Université de Provence, Aix-en-Provence.
- BAHLOUL M. (1996). *Pédagogie différenciée dans l'école tunisienne, intelligibilité, conceptualisation, opérationnalisation et obstacles*. Thèse de doctorat, Université Louis Lumière, Lyon 2.
- BAUDELLOT C. & ESTABLET R. (1993). *Allez les filles !* Paris, Points actuels.
- BELOTTI E.G. (1975). *Du côté des petites filles*. Paris, Éditions des Femmes.
- BEN MIM H. (1999). *Influence culturelle, sociale et sexuelle (genre) sur les conceptions des élèves tunisiens de la 4^{ème} année secondaire en rapport avec l'électrocinétique*. Mémoire de DEA, Institut Supérieur pour l'Enseignement et la Formation Continue (SEFC), Université Tunis 1.
- CHARLOT B., BAUTIER E. & ROCHEX J.-Y. (1992). *École et savoir dans les banlieues... et ailleurs*. Paris, A. Colin.
- CHEVALLARD Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble, La Pensée sauvage.
- CHEVALLARD Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol. 12, n° 1, pp. 73-112.
- CLOSSET J.-L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.
- DESPLATS M. (1989). *Les femmes et la physique*. Thèse de 3^{ème} cycle, Université des Sciences Humaines, Strasbourg.
- DUPIN J.-J. & JOHSUA S. (1985) *Étude sur deux exemples, d'un point de vue didactique, des problèmes posés dans l'enseignement de la physique lors des transitions lycée-université et collège-lycée*. Rapport de l'Action Thématique Programmée « Transitions dans le système éducatif », vol. 1. Université de Provence, Aix-en-Provence.

- DUPIN J.-J. & JOHSUA S. (1988). Conceptions en électrocinétique. Permanences géographiques et évolution dans le temps. *Techniques, Idéologie, Pratiques*, vol. VII, n° 2, pp. 23-42.
- DURU-BELLAT M. (1990). *L'école des filles. Quelle formation, pour quels rôles sociaux ?* Paris, l'Harmattan.
- DURU-BELLAT M. (1992). *Sociologie de l'école*. Paris, A. Colin.
- DURU-BELLAT M. (1994). Filles et sciences. *Rapport final, Université de Bourgogne, Institut de Recherche en Économie de l'Éducation*.
- JONES G. & WHEATLEY J. (1989). Factors influencing the entry of women into science and related field. *Science Education*, vol. 73, n° 5, pp. 535-545.
- LAHIRE B. (1993). *Culture écrite et inégalités scolaires. Sociologie de « l'échec scolaire » à l'école élémentaire*. Lyon, Presses Universitaires de Lyon.
- LAHIRE B. (1995). *Tableaux de familles*. Paris, Seuil.
- LELIÈVRE F. & LELIÈVRE C. (1991). *Histoire de la scolarisation des filles*. Paris, Nathan.
- LOUNIS A. (1989). *L'introduction des modèles vectoriels en physique et en mathématiques : conceptions et difficultés des élèves, essai de remédiation*. Thèse de doctorat, Université de Provence, Aix-en-Provence.
- MOSCONI N. (1994). *Femmes et savoir. La société, l'école et la division sexuelle des savoirs*. Paris, l'Harmattan
- ROUSTAN-JALIN M. (1995). *Du rapport des filles au savoir scientifique, d'une différence entre filles et garçons au niveau des modes de raisonnement en physique et en biologie*. Mémoire de maîtrise. Centre Interdisciplinaire de Recherche : Apprentissage, Didactique, Évaluation, Université de Provence, Aix-en-Provence.
- ROUSTAN-JALIN M. (1997). *Du rapport des filles au savoir scientifique : tentative de mise en évidence d'une topogénèse différencielle du rapport au savoir technologique selon le sexe des élèves*. Mémoire de DEA, Centre Interdisciplinaire de Recherche : Apprentissage, Didactique, Évaluation, Université de Provence, Aix-en-Provence.
- SHIPSTONE D., VON RHONECK C., JUNG W., KARRQVIST C., DUPIN J.-J., JOHSUA S. & LICHT P. (1988). A study of students understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, vol. 10, n° 3, pp. 303-316.
- VERRET M. (1975). *Le temps des études*. Paris, Honoré Champion.
- WHITELEGG E. (1996). *Gender effect in science classrooms, Research in Science Education in Europa. Current issues and Themes*. London, Falmer Press.
- ZAZZO B. (1993). *Féminin, masculin, à l'école et ailleurs*. Paris, PUF.

ANNEXE

Indicateurs généraux de familiarité avec l'électricité (élèves de Tunis)

Egéné : effectif global

ECC+ : élèves dont les parents ont un fort capital culturel

ECC- : élèves dont les parents ont un faible capital culturel

Utilises-tu des jouets fonctionnant à l'électricité chez toi ?									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	164	86	78	50	24	26	21	8	13
%	81	73	92	91	89	93	72	53	93

As-tu aidé tes parents à changer une lampe, un fusible... ?									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	155	77	78	44	18	26	24	11	13
%	76	65	92	80	67	93	83	73	93

As-tu peur de l'électricité ?									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	135	84	51	33	14	19	18	15	6
%	67	71	60	60	52	68	62	80	43

Aimerais-tu avoir un travail dans un domaine utilisant l'électricité ?									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	83	31	52	16	1	15	16	6	10
%	41	26	61	29	4	54	55	40	71

As-tu étudié l'électricité à l'école primaire ?									
	EGéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	164	93	71	43	21	22	24	10	14
%	81	79	84	78	78	79	83	67	100

As-tu étudié l'électricité durant tes études secondaires antérieures ?									
	Egéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	169	93	74	53	26	27	21	9	12
%	83	79	87	96	96	96	72	60	86

As-tu utilisé des appareils électriques au lycée ?									
	Egéné			ECC+			ECC-		
	global	filles	garçons	global	filles	garçons	global	filles	garçons
Nombre	97	57	40	32	16	16	9	4	5
%	48	48	47	58	59	57	31	27	36

Cet article a été reçu le 17/06/1999 et accepté le 10/01/2001.

La valeur du schéma cinématique en tant qu'artefact cognitif

The relevance of the kinematic scheme as a cognitive artefact

Jean-Pierre FROMENT

Institut National de Recherche Pédagogique
IUFM-UniMeca
Technopole de Château Gombert
60 rue Joliot Curie
13453 Marseille cedex 13, France.

Résumé

Les objets et les mécanismes sont très présents dans les enseignements technologiques. L'étude de leur fonctionnement suppose l'apprentissage de différents outils de modélisation. La question posée est de savoir à quelles conditions théoriques et méthodologiques il est possible de rendre compte de la valeur d'un langage technique du point de vue de sa fonction cognitive. Le dispositif expérimental effectue une comparaison entre deux situations qui abordent un problème identique, mais traité sous deux angles différents : dessin technique et schéma cinématique. Les résultats remettent en cause l'efficacité cognitive, attribuée au schéma cinématique.

Mots clés : *instrument sémiotique, sciences cognitives, épistémologie, cinématique.*

Abstract

Objects and mechanisms are present throughout technology education. The study of their operating process requires the didactic use of various models. At issue are the theoretical and methodological conditions under which evaluating the relevance of a technical language from the point of view of its cognitive functions is possible. To this end, two learning situations focusing on the same problem but through two different media – technical drawing and kinematic diagram – were compared. Results question the cognitive efficiency habitually attributed to kinematic diagrams.

Key words : *semiotic instrument, cognitives sciences, epistemology, kinematic.*

Resumen

Los objetos y los mecanismos tienen gran importancia en la enseñanza tecnológica. El estudio de su funcionamiento supone el aprendizaje de diferentes herramientas de modelización. La pregunta planteada trata de establecer cuáles condiciones teóricas y metodológicas hay que tomar en cuenta para valorar un lenguaje técnico desde el punto de vista de su función cognitiva. El dispositivo experimental efectúa una comparación entre dos situaciones que abordan un problema idéntico, pero tratado bajo dos ángulos diferentes : dibujo técnico y esquema cinemático. Las conclusiones tienden a explicar en que función cognitiva atribuida por naturaleza a la herramienta gráfica estudiada es deficiente.

Palabras claves : *instrumento semiótico, ciencias cognitivas, epistemología, cinemática.*

1. INTRODUCTION

Les objets fabriqués et les mécanismes plus ou moins complexes du point de vue de leur fonctionnement sont très présents dans les enseignements à caractère technologique. Ils constituent autant d'artefacts, au sens anthropologique du terme, qui s'offrent à la connaissance. L'initiation des élèves à l'utilisation des outils et modèles associés à l'étude de ces objets et systèmes fait partie des objectifs visés par l'enseignement de la technologie au lycée dès la classe de seconde. Ils se trouvent en bonne place dans les programmes, les objectifs, les recommandations, les manuels. En introduction à un ouvrage de mécanique industrielle l'invitation est claire : « *l'enseignement de la mécanique se doit de développer chez les élèves l'aptitude à conduire avec rigueur l'élaboration et le traitement de modèles associés à la réalité physique* » (Ballereau et al., 1994, p. 11).

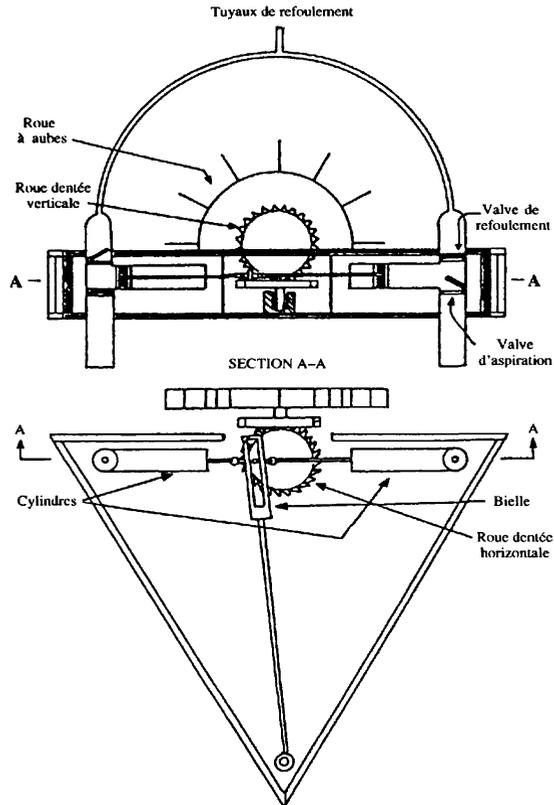
Ces substituts abstraits intègrent alors des hypothèses réductrices et un contrat de communication (Lebeaume, 1999). Il s'agit là d'artefacts cognitifs comme le définit Norman, c'est-à-dire « *d'outils artificiels conçus pour conserver, exposer et traiter l'information dans le but de satisfaire une fonction représentationnelle* » (Norman, 1993, p. 18).

L'action de l'homme est médiatisée par des systèmes de signes que Vygotski (1934) a désignés sous le terme « d'instruments psychologiques » tels que le langage, les schémas, les diagrammes, les cartes, les plans, etc., socialement élaborés et socialement transmis. On s'intéressera en particulier aux graphismes susceptibles de traduire la fonction technique d'un mécanisme, c'est-à-dire l'action interne au produit, entre ses constituants, choisie par le concepteur, dans le cadre d'une solution pour assurer des fonctions de service¹. Et ceci dans une perspective autant que possible instrumentale, impliquant que « *les outils graphiques enseignés ne soient pas ramenés à de simples formalismes constitués en objets de savoir à acquérir, mais que les élèves puissent les faire fonctionner dans des situations leur donnant du sens* » (Andreucci et al., 1996, p. 184). En d'autres termes, il s'agirait de rendre compte de la valeur d'un « instrument » particulier en tant qu'artefact cognitif.

2. ÉLABORATION DE LA PROBLÉMATIQUE

Les graphismes techniques occupent une grande place dans les enseignements technologiques ; ils ne vont pas sans difficultés. Un ouvrage (Benielli et al., 1996) destiné aux professeurs et aux élèves de seconde montre à quel point leur diversité est grande. Il n'est pas sans intérêt de consulter les définitions qu'en donnent les auteurs, en particulier en ce qui concerne le dessin d'ensemble² et le schéma cinématique³. En accordant au dessin d'ensemble un rôle essentiel dans la traduction du fonctionnement d'un mécanisme, on s'adresse sans nul doute à un niveau d'expertise déjà bien établi. On peut en effet se demander dans quelle mesure les élèves vont pouvoir, devant un dessin d'ensemble entendu comme modèle, expliquer le fonctionnement du mécanisme ainsi représenté. Un exemple permettra d'introduire le sujet. Bien que fort différent de l'objet technique retenu pour l'expérimentation, il présente à la fois une illustration des difficultés qui peuvent être rencontrées dans l'analyse de la cinématique à partir du dessin, et une ouverture sur l'histoire des sciences et des techniques. Il s'agit d'un système de pompe dont Hill (1997) fait état à partir du grand livre des machines d'al-Jazari, établi à Digar Bakr en 1206 (figure 1). Aujourd'hui, 800 ans plus tard, on retrouve le même principe dans un type de « scie sauteuse » commercialisé, par ailleurs enseigné au lycée, ce qui montre à quel point les modes de pensée font l'objet d'un développement historique lié à l'invention et à l'accumulation dans la

mémoire sociale de techniques intellectuelles et d'instruments psychologiques, comme le suggère Rochex (1997) ou encore Vérin (1993).



Ce mécanisme de pompe [l'invention de la pompe à piston est attribuée à Ctésibios au III^e siècle avant J.-C. (Laurier, 1995)] est constitué d'une roue à aubes entraînant par engrenage une roue horizontale qui actionne simultanément deux pompes, l'une d'aspiration, l'autre de refoulement par l'intermédiaire d'un système manivelle et bielle. L'élément essentiel est l'emploi de tuyaux d'aspiration, le principe de double action, la transformation d'un mouvement rotatif en mouvement alternatif. Le fonctionnement est le suivant : quand la roue horizontale tourne sous l'effet de la roue à aube, le pivot fixé sur le flan faisant office de manivelle agit à l'intérieur du coulisseau pour donner un mouvement de balancier à la bielle, entraînant ainsi les pistons en aspiration et refoulement. Ce dispositif étonnant montre en substance à quel point l'apport des techniciens et des scientifiques arabes a contribué de manière considérable au progrès de la technologie moderne. L'apparition du système bielle-manivelle est souvent située postérieurement (pour l'Encyclopædia Universalis il s'agit du début du XV^e siècle).

Figure 1 : Mécanisme de pompe à piston (HILL, 1997, p. 38)

C'est surtout du point de vue des différents niveaux d'analyse que ce dessin est intéressant. Un « novice » n'établira pas si facilement la correspondance de vues pourtant indispensable à l'analyse fonctionnelle, il éprouvera des difficultés pour décrire le fonctionnement. Au niveau des détails, il pourra y avoir confusion entre le tuyau de refoulement et le même double trait qui sert à représenter le « carter » en vue de dessus. De la même manière, la fonction de la bielle ne s'interprète pas aussi aisément, d'autant que le tenon de la roue dentée horizontale, déjà à peine visible, se trouve dans le prolongement des tiges de piston. L'interprétation du fonctionnement du système n'offre par contre aucune difficulté à des yeux plus expérimentés : un « expert » se trouve ici sur un autre plan que celui de la représentation géométrique familière, au-delà du « *réalisme naïf des propriétés spatiales* »⁴ (Bachelard, 1996, p. 5) qui laisserait deviner le besoin de poursuivre l'étude à d'autres niveaux, d'en savoir plus du point de vue des performances de la machine, en diversifiant les modèles. En complément à cette forme de représentation, on peut imaginer qu'il puisse exister une schématisation plus précisément destinée à traduire le fonctionnement de la pompe, un schéma explicatif (Vezin, 1986). C'est justement le propre du schéma cinématique : si on en connaît les règles d'écriture, et si la simple lecture du dessin ne suffit pas, alors la réalisation du schéma cinématique devrait amener un changement de point de vue et entraîner une analyse beaucoup plus fine en termes de mobilités caractéristiques du dispositif.

À partir de cet exemple, nous tenons là les trois principales dimensions autour desquelles la problématique va prendre place : la résolution d'un problème de cinématique ; le niveau de compétence avec au moins deux modalités : novice et expert ; l'outil graphique sous les deux formes : dessin et schéma. La question qui se pose est alors la suivante : dans un contexte d'enseignement, le formalisme du schéma cinématique a-t-il valeur d'artefact cognitif ?

3. CADRE THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTAL

Dans le but d'essayer de comprendre ce que sont nos connaissances, Bastien (1997) distingue deux cadres d'apprentissage : par induction ou par enseignement. Alors que l'essentiel des travaux concernant l'apprentissage en psychologie cognitive porte sur l'apprentissage par induction (*c'est-à-dire sur des situations dans lesquelles le contenu à apprendre n'est pas explicitement donné au sujet*), l'intérêt de recourir à « l'apprentissage par enseignement » tient au fait qu'une bonne partie de l'activité cognitive est liée à des acquisitions de ce type et que, dans beaucoup de situations, la capacité d'accomplir une tâche dépend, de

manière critique, de l'environnement et des artefacts que la société a créés (Norman, 1993). C'est avec l'hypothèse suivante, formulée par Bastien, que les choses se précisent : « *apprendre par enseignement consiste à transformer l'organisation rationnelle des connaissances à apprendre en une organisation fonctionnelle, la transformation s'effectuant au moyen de la résolution de problèmes* » (Bastien, 1997, p. 49). La perspective théorique⁵ qui consiste à poser l'acquisition des connaissances sous cet angle constitue dès lors un cadre de recherche opérationnalisable.

Le dispositif adopté se propose de mettre en scène ces deux types d'organisation des connaissances pour rendre compte du processus de transformation à travers l'analyse de protocoles individuels. Cette phase expérimentale sera précédée d'une situation initiale (test) consistant à décrire le fonctionnement d'un mécanisme à partir du dessin d'ensemble, sans autres éléments. Le niveau d'expertise qui en découlera sera d'autant plus pertinent que c'est ce même problème qui sera repris dans le cadre de l'expérimentation, et que l'ensemble des productions pourra être classé en catégories bien distinctes.

	Analyse de la fonction technique d'un mécanisme	
Description :	1. Situation de test initial Dessin d'ensemble (format A3) de la partie opérative d'un sécateur électronique avec la nomenclature des pièces.	2. Situation expérimentale Situation construite sur ordinateur, réalisée avec le langage HyperTalk. Dessin d'ensemble.
Tâches :	Expliquer le fonctionnement du mécanisme en partant du dessin d'ensemble réaliser un croquis ou un schéma (à main levée) en complétant avec une explication orale.	Réaliser le schéma cinématique à l'écran. Pour ce faire, les sujets disposent du dessin d'ensemble, et d'un programme donnant accès à un ensemble de documents.
Observables :	Productions graphiques et commentaires.	Chronique détaillée des procédures de résolution. « Film » des différentes étapes d'élaboration du schéma. Schémas réalisés.
Sujets :	87 élèves de seconde et première de lycée qui suivent un enseignement technologique.	32 élèves de première choisis en fonction du test.

Tableau 1 : **Planification et caractéristiques du dispositif expérimental**

Ces deux situations présentent à la fois une différence (l'une fait appel à des capacités générales, l'autre à des connaissances spécifiques) et une analogie (analyse du fonctionnement d'un même objet technique). Mais c'est tout un ensemble d'éléments intégrés à la situation expérimentale qui va permettre de nous orienter en direction de la psychologie cognitive.

Le principe consiste à apporter, en même temps que le problème, un ensemble de données caractéristiques du domaine en respectant les décompositions telles qu'elles figurent dans les situations d'apprentissage. C'est l'aspect rationnel qui présente à la fois des définitions et des tâches plus simples comme la constitution des *classes d'équivalence cinématique*. L'espace du problème englobe alors des éléments de différente nature pouvant être organisés par les sujets en fonction des procédures qu'ils adopteront (aspect fonctionnel) pour apporter la solution. La situation expérimentale regroupe et met à disposition les moyens utilisés dans les étapes traditionnelles d'apprentissage du schéma cinématique, pour autant ce n'est ni un *multimédia* au sens d'une combinaison de textes, de dessins, de sons, d'animations et d'éléments vidéographiques, ni un *TP classique* étroitement guidé par un polycopié que la littérature anglo-saxonne qualifie parfois de « *cookbook labwork* ». Il s'agirait plutôt d'un fonds de connaissances, ensemble d'éléments susceptible d'être organisé dans des relations telles que chacun concourt au fonctionnement et à la signification des autres (Poitou & Chabot, 1991). C'est par ailleurs la tendance que l'enseignement voudrait voir se développer : amener les élèves à exploiter une base d'informations structurées qui puisse prendre des formes diverses (Jourdan, 1996).

La prise en compte des variations intra-individuelles se rapporte à l'hypothèse suivante : les sujets réaliseront, au cours de la seconde phase, une production de meilleure qualité intrinsèque que le test initial, du fait d'une recomposition de l'activité lors du changement d'instrument. Cette hypothèse est fondée sur la finalité analogue des tâches à réaliser, d'autant qu'elles portent sur le même objet et que les élèves poursuivent entre temps leurs apprentissages, notamment en ce qui concerne l'étude des parties opératives, et en particulier le schéma cinématique comme « outil » propre à faciliter l'analyse fonctionnelle des mécanismes. Cette hypothèse traduit les attentes spontanées des enseignants concernés, pour lesquels le transfert de connaissances est la raison d'être des dispositifs de formation. *A contrario*, s'il n'en était pas ainsi, on serait en mesure d'avancer des explications. L'intérêt d'étudier un tel apprentissage « par instruction » est en partie de répondre à une alternative : ou bien le transfert joue pleinement son rôle, ou bien il en va autrement. Dans le premier cas la capacité d'adaptation à des situations diversifiées domine, alors que l'autre cas met l'accent sur un mécanisme qui viendrait plutôt contrarier l'acquisition de connaissances.

La situation expérimentale permettra de recueillir les protocoles individuels et de s'engager dans une approche comparative et clinique (Leutenegger, 2000), tant sous l'angle de la perspective théorique proposée par Bastien qu'en ce qui concerne l'approche cognitive des représentations (Ehrlich et al., 1993) et des instruments contemporains (Rabardel, 1995).

Plusieurs composantes entrent en synergie. Avec un certain humour Mendelsohn (1996) propose une recette sous forme d'ingrédients à combiner : une pincée de théorie de l'expertise qui permettra de décrire comment les connaissances expertes et les savoir-faire d'un sujet bien entraîné sont organisés en mémoire ; une dose de théorie des processus d'acquisition pour comprendre comment ce même sujet a pu passer du stade de novice à celui d'expert ; une mesure pleine de théorie de l'intervention pour modifier le cours de ces processus et en améliorer le fonctionnement. Ce à quoi il convient d'ajouter le développement historique lié à l'invention et à l'accumulation dans la mémoire sociale de techniques intellectuelles et d'instruments psychologiques (Rochex, *ibid.*) Ces éléments viendront, pour une part du moins, alimenter la discussion.

4. DESCRIPTION DU TEST INITIAL

L'objet technique est un « sécateur électronique », à la différence du sécateur usuel, c'est un système. Il se présente sous la forme d'un corps en matière moulée intégrant un mécanisme électro-mécanique relié à une batterie portable et à un dispositif électronique. C'est un système automatisé dans la mesure où il se décompose en une partie commande (traitement de l'information) et une partie opérative (exécution des opérations). Plus précisément, c'est un système asservi qui permet d'obtenir l'action voulue sur la matière d'œuvre (sarments de vignes, branches de vergers).

Le test initial porte sur l'étude du dessin d'ensemble qui représente sous plusieurs vues la partie opérative de cet objet avec la nomenclature des pièces (figure 2). L'étude proposée est une analyse de la fonction technique, c'est-à-dire de l'action entre les constituants. La tâche prescrite consiste à trouver un moyen simple et efficace pour bien montrer le fonctionnement du mécanisme. Cette consigne est assortie du commentaire suivant : « *comme tout dessin d'ensemble, celui-ci indique la forme de chacune des pièces jusqu'aux plus petits détails, mais en lui-même il ne rend pas bien compte du fonctionnement, il s'agit donc de trouver un moyen pour bien montrer comment ça marche, quel est le fonctionnement de ce mécanisme* ». Quel moyen ? Un dessin, un croquis à main levée qui sera complété d'explications (Caverni, 1988).

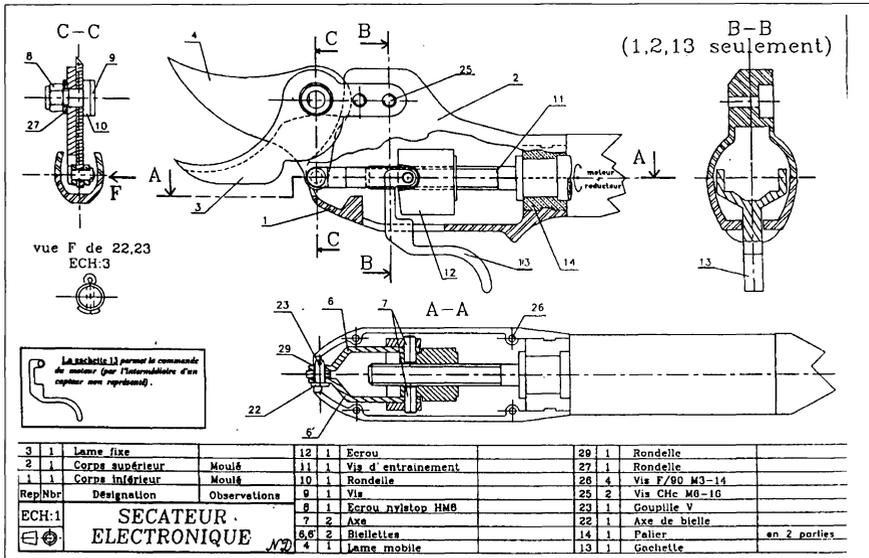


Figure 2 : Dessin d'ensemble de la partie opérative du sécateur électronique (ici à l'échelle 1/3)

Cette reproduction du dessin d'ensemble à une échelle beaucoup plus réduite qu'en réalité n'a qu'une valeur indicative, plusieurs détails n'apparaissant pas. Ceci simplement pour montrer quelques aspects du signifiant auquel il a été fait appel. Les professeurs ont l'habitude de dire que l'activité de lecture de dessins est le plus souvent difficile. À première vue, le dessin paraît assez simple, les pièces ne sont pas très nombreuses, les lames, le corps de l'appareil sont bien visibles, ce qui l'est moins c'est la partie centrale, la correspondance des vues est nécessaire pour discriminer certaines pièces, notamment la vis d'entraînement et les bielles. Sur la vue de face, en effet, ces deux parties se confondent dans la mesure où elles sont dans le même prolongement, et ceci d'autant plus que le repère des bielles n'y figure pas. La vue de dessus (coupe AA) apporte la solution, encore faut-il s'y référer en cours d'analyse. Ce qui peut également prêter à confusion, c'est la position centrale de la gâchette dans le dessin, alors qu'elle occupe une place secondaire dans la chaîne cinématique. C'est la raison pour laquelle elle fait l'objet d'un encart précisant sa fonction, attirant ainsi l'attention sur le fait que le sécateur est muni d'un moteur comme cela est indiqué sur la vue de face et illustré par une flèche indiquant le mouvement de rotation au niveau du palier.

Les réponses sont demandées sous la forme d'une production graphique (à main levée) et de commentaires (verbalisations consécutives). Le test se déroule au cours de séances de travaux dirigés de technologie,

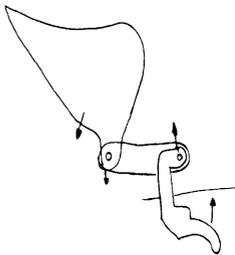
en passations individuelles d'une durée de 15 mn environ. Dans la plupart des cas, une verbalisation préalable est sollicitée, pour s'assurer que la consigne a bien été comprise. Les sujets disposent simplement du dessin d'ensemble (échelle 1, format A3), de feuilles, crayons et d'une gomme. Une présence discrète durant le déroulement a permis d'intervenir à nouveau pour rappeler la consigne lorsque le besoin s'en est fait sentir.

5. TYPOLOGIE DES RÉPONSES AU TEST INITIAL ET PREMIÈRES ANALYSES

L'ensemble des réponses recueillies (dessins et verbalisations) a fait l'objet d'examen attentifs, en vue de constituer une typologie. Quatre types bien distincts ont ainsi été repérés. Elle est exhaustive en ce sens qu'un premier classement a été opéré par deux personnes différentes avec un degré d'accord important, et que les cas de désaccord ont été résolus par une décision commune sans qu'il ait été besoin d'une cinquième catégorie plus hétéroclite.

5.1. Type 1 : simplification

Tout se passe comme si le mécanisme était ramené à un objet mieux connu, le sécateur manuel (figure 3). Les sujets expriment une relation directe entre la pression sur la gâchette et le mouvement de la lame, sans se préoccuper du reste, ce qui n'est pas sans rappeler les résultats de Lafontaine et al. (1990) pour des problèmes d'hydrodynamique avec le raisonnement local conduisant certains sujets à restreindre les effets des actions produites à l'endroit où on agit, ou à proximité immédiate.



Le schéma montre la gâchette et la lame mobile, reliées par une pièce intermédiaire. Ces trois éléments sont fidèles au dessin de définition, la forme de la gâchette, la forme de la lame et la forme de la biellette se retrouvent parfaitement. Le trait horizontal marque la limite inférieure du corps. Les flèches caractérisent le fonctionnement de l'ensemble. Les deux flèches de droite indiquent un déplacement vers le haut de la gâchette et de la barre de liaison, qui en même temps bascule et ferme la lame mobile, ce qu'indiquent les flèches tournées vers le bas.

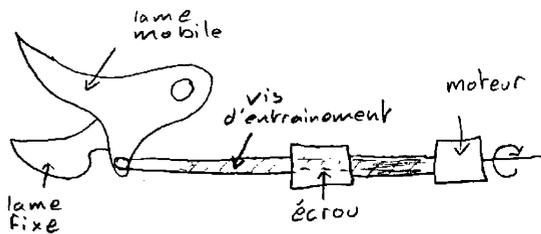
Figure 3 : Production graphique du type 1 « simplification »

L'élaboration de représentations anthropologiques est encouragée par la parenté entre les caractéristiques de l'objet et la familiarité du fonctionnement. Mendelsohn (1996) trouvant des résultats similaires avait montré à quel point des sujets peuvent éprouver des difficultés pour se décentrer et distinguer les caractéristiques de leur fonctionnement propre de celles du fonctionnement du système.

Le type de comportement caractérisant cette classe peut être expliqué par la nature même de l'objet (Richard, 1992) qui entre dans deux catégories distinctes, l'une, commune, dans laquelle tous les sécateurs se ressemblent plus ou moins, l'autre, plus nouvelle, dans laquelle tout est à reconsidérer. Dans le premier cas, l'expérience passée, ou du moins la connaissance empirique, vient déterminer une série d'attentes quant à l'apparence et au fonctionnement de l'objet : pour sectionner un rameau, c'est la force du poignet qui est en cause ; il s'agirait là, en somme, d'une modalité de capture « écologique » des propriétés de l'objet (Bideaud & Houdé, 1989 ; Houdé, 1992) tributaire des contraintes contextuelles physiques et sociales. L'objet sécateur manuel constituerait ainsi un prototype marqué par des corrélats d'attributs descriptifs, fonctionnels, positionnels. Dans le second cas, le mécanisme n'a plus rien à voir, il se caractérise tout autrement : un instrument assisté, pour tailler au-delà des conditions habituelles, en exploitation agricole, d'une technologie sophistiquée, etc. Des nuances sont apparues, elles semblent indiquer à la fois des différences d'approches et une homogénéisation assez forte quant au résultat. En effet, certains vont droit au but sans marquer d'hésitation, d'autres relèvent des contradictions entre les mouvements qui résultent de la solution envisagée, d'autres encore s'interrogent sur la présence du moteur. Les verbalisations contribuent aux contrastes, mais jamais au point de remettre en question le type d'analyse effectué. En résumé, c'est bien la simplification qui paraît caractériser ce groupe, c'est autour d'un référent simplifié que les sujets ont traité le problème.

5.2. Type 2 : approximation

Ce qui semble pouvoir caractériser ce type de réponses, c'est à la fois un point de vue d'ensemble et une analyse approximative du fonctionnement du dispositif. Par point de vue d'ensemble, il est seulement question de dire que les principaux éléments du mécanisme sont pris en compte, ce qui n'était pas le cas précédemment. L'approximation qualifie une analyse sommaire du fonctionnement (figure 4).



Le schéma donne un ensemble plus complet des différents éléments du mécanisme, chacun étant dénommé. Le mouvement de rotation du moteur est indiqué par une flèche, le principe de transformation de mouvement est indiqué de manière approximative.

Figure 4 : Production graphique de type « approximation »

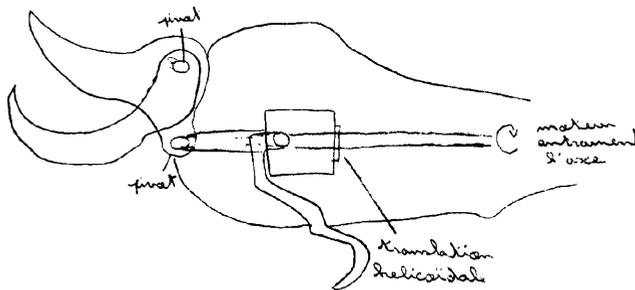
Si, à la différence du groupe précédent, les éléments apparaissent en plus grand nombre, ils ne sont pas pour autant disposés de telle sorte qu'ils rendent compte du fonctionnement. L'erreur la plus fréquente consiste à relier directement le moteur à la lame mobile par une seule et même vis d'entraînement, ce qui rend les choses impossibles. On retrouve ici aussi des différences d'approches, certains se rendent compte des contradictions entre les mouvements qui résultent de la solution envisagée, d'autres moins ou pas du tout. Le plus souvent, il s'agit d'une esquisse du sécateur, les pièces sont représentées dans leurs formes et reliées les unes aux autres de manière plus ou moins évidente. Pour ce qui est du fonctionnement du mécanisme, un questionnement complémentaire est, la plupart du temps, nécessaire. Dans tous les cas, ce qui est indiqué révèle une analyse imparfaite du fonctionnement du mécanisme.

À partir des travaux de Rabardel (1995), deux interprétations peuvent être avancées. La première tient au concept de *représentation préexistante*. Il y aurait réutilisation par les sujets de représentations d'actions construites à l'occasion de tâches très différentes, du type obtention de l'effet direct comme avec une perceuse ou une visseuse : c'est la rotation du moteur qui produit l'effet voulu, sans qu'il y ait transformation de la nature du mouvement. La seconde interprétation tient à une *incomplétude de la représentation* qui peut revêtir deux acceptions. La première désigne ce qui n'est pas encore élaboré chez un sujet débutant et qui est destiné progressivement à disparaître, c'est-à-dire une vision sommaire, peu fondée sur l'analyse. Plusieurs indications convergent dans ce sens. Les schémas produits relient l'entrée du mouvement et la sortie, non pas tant pour expliquer le mécanisme de transformation, mais pour signifier qu'il existe *quelque chose* entre les deux entités, mais que le dessin se révélerait insuffisant à qualifier avec précision. Même dans le cas où les sujets font part de certaines contradictions dans les explications verbales, cela ne remet pas en cause pour autant la production graphique, comme s'il était entendu que l'on ne pouvait qu'en rester à un niveau superficiel. À l'opposé, la seconde acception est présentée comme une caractéristique des représentations pour l'action en situation d'activité avec instrument : « il

s'agit d'une incomplétude construite, recherchée, gérée et maintenue, en tant que telle, par un sujet compétent, voire expert, en tant que moyen de gestion de la complexité des situations » (Rabardel, 1995, p. 160). Bien que cette explication soit assez peu probable, ici précisément, mentionnons-la pour ce qu'elle indique quant à l'importance de la construction et des contenus de la représentation pour l'action.

5.3. Type 3 : résolution

Le problème peut être considéré comme résolu (figure 5). Les productions (graphiques et verbales) qui entrent dans ce cadre répondent à la consigne, elles informent sur le fonctionnement du mécanisme, bien que des nuances apparaissent dans la précision. Les graphismes peuvent varier d'un schéma de principe à un schéma cinématique, en passant par des formes d'expression moins conventionnelles.



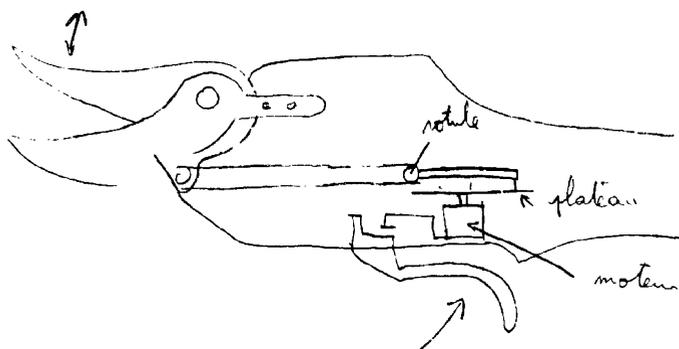
Le fonctionnement du sécateur est expliqué, d'une part en ce qui concerne le type d'entraînement, d'autre part du point de vue de la transformation opérée. La nature des principales liaisons est indiquée. Le doute qui pourrait subsister quant à la pièce qui relie écrou et lame mobile est levé dans le cadre de la verbalisation.

Figure 5 : Production graphique de type « résolution »

Rares sont les cas pour lesquels le problème peut être considéré comme entièrement résolu. Une certaine latitude est laissée quant au degré de précision, entre une analyse envers laquelle rien ne serait à ajouter et une forme qui s'en approche, il existe certes des nuances qui relèvent d'une plus ou moins grande habileté et qui ont leur importance, mais dont on peut considérer, à ce niveau, qu'elles entrent l'une et l'autre dans la même catégorie. Les différentes productions de cette catégorie fournissent une explication du mécanisme, au moins en ce qui concerne le principe et l'organisation des différentes parties entre elles.

5.4. Type 4 : interprétation

Ce type de réponse se caractérise par des solutions originales, mais qui s'écartent des données et donc du dessin de définition (figure 6). Les solutions proposées sont de nature différente, certaines pourraient être adoptées dans un esprit d'étude de projet. D'autres semblent relever d'une compréhension erronée du dessin donnant lieu à une interprétation particulière.



C'est un mécanisme original qui est proposé, il s'agit d'un système à manivelle actionné par le moteur placé dans l'axe vertical, le schéma montre clairement de quoi il s'agit, jusque dans le détail de la gâchette permettant la commande du moteur. Ce schéma présente un contraste entre la précision de certains détails (lame fixe, lame mobile, forme du corps) et l'interprétation du mécanisme lui-même.

Figure 6 : Production graphique de type « interprétation »

Ce mécanisme n'a rien à voir avec le dessin d'ensemble, mais il pourrait fonctionner. Dans l'ensemble, les solutions apportées relèvent d'interprétations à différents niveaux. Il peut s'agir du tracé lui-même, ou d'une nouvelle élaboration. Tout se passe comme si le sujet se laissait entraîner soit par une lecture erronée, soit par un excès d'originalité. Dans le premier cas certains contours de pièces ont été interprétés comme des courroies, dans le second cas (comme ici, figure 6) c'est plus nettement une solution originale qui a été proposée à la place d'une analyse. Néanmoins, ces réponses se caractérisent bien par une interprétation.

Entre la fonction théoriquement dévolue au dessin d'ensemble (montrer le fonctionnement d'un mécanisme) et ces résultats, les écarts sont grands, ce qui incite à en faire l'analyse en référence à la définition psychologique de la notion d'instrument, à la fois artefact (matériel ou symbolique) et schèmes d'utilisation associés « pour les sujets, un artefact s'enrichit des situations d'action où il a été inséré circonstanciellement,

singulièrement en tant que moyen de leur action » (Rabardel, 1995, p. 119). Or, précisément, on peut penser que l'expérience acquise par les élèves, du point de vue de la fonction attribuée au dessin d'ensemble, est encore faible, dans la mesure où ils sont concernés par une progression qui les amènent d'abord à des activités d'analyse et de description : repérer les différents éléments en présence dans un dessin, isoler une pièce d'un ensemble, se représenter d'une certaine manière les différentes pièces qui constituent le mécanisme. Distinguer et discriminer en quelque sorte ; mais pas toujours et en tout cas pas seulement analyser le fonctionnement du mécanisme. Avec quelles conséquences ? Quels en sont les effets sur l'activité du sujet ? (question que pose Rabardel, 1995). Peut-on considérer que l'artefact instrumentalisé de cette manière structure la tâche des sujets en posant de nouveaux problèmes, comme le suggère Payne (1991) ? Compte tenu de ce qui vient d'être dit, si on considère que c'est l'analyse et la discrimination des différentes pièces qui l'emportent, toutes n'ont pas le même relief, si les lames du sécateur se distinguent nettement, ce n'est pas le cas de la partie dénommée « écrou » qui ressemble si peu à l'image que l'on s'en fait habituellement tout en ayant un rôle essentiel dans le mécanisme. Le dessin d'ensemble constituerait ainsi une sorte d'épure indiquant les propriétés essentielles de l'objet (un sécateur actionné par un mouvement rotatif), le reste étant plus incertain. Les différents traits, éléments et symboles qui constituent le dessin n'ayant pas tous le même statut, certains étant moins évidents que d'autres, c'est ce qui a pu inciter des élèves à faire preuve de plus ou moins d'imagination dans l'interprétation. Ce serait par exemple le cas lorsque le trait de contour d'une pièce est pris pour une courroie. Ou encore lorsque la forme carrée qui figure l'écrou central est analysée comme une sorte de « boîte noire » enfermant un mécanisme dont certains sujets peuvent penser que le but de l'activité est d'imaginer ce qu'il pourrait être, ce qui donne des réponses de type pignon / roue dentée ou cardan. Si cela devait se confirmer, et comme le suggère par ailleurs Rabardel, on verrait à quel point des langages sémiotiques ne sont pas seulement des instruments de la connaissance (des instruments cognitifs), mais des instruments psychologiques qui médiatisent la relation du sujet avec lui-même et avec les autres. Ici, l'action du sujet semble se dérouler sur deux plans : discriminer les éléments qui peuvent l'être sans faute, pour le reste imaginer comment pourrait fonctionner cet objet si particulier qui ne ressemble en rien à un sécateur manuel.

6. RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES, PONDÉRATION DES CATÉGORIES

Le test initial a été proposé au cours de l'année 1997-1998, à un effectif de 87 élèves de seconde et de première de lycée suivant un enseignement technologique. En seconde, il s'agissait de l'option TSA (Technologie des Systèmes Automatisés), en première, soit de l'option technologie industrielle dans la filière scientifique (S-OTI), soit de la filière sciences et technologies industrielles (STI) option électrotechnique. Au total, cet effectif a concerné quatre classes, deux de seconde et deux de première, l'âge des élèves allant de 15 à 18 ans. Un premier classement de ces résultats a été effectué (tableau 2).

Typologie	Simplification	Approximation	Résolution	Interprétation	Total
Effectifs	28	34	11	14	87
%	32,2	39,1	12,6	16,1	100

Tableau 2 : Répartition des effectifs en fonction des différents types d'analyse du dessin technique

Avec seulement 12,6 %, peu d'élèves ont résolu le problème de manière satisfaisante ; 39,1 % ont procédé par approximation, et près d'un tiers par simplification. La part de l'interprétation n'est pas non plus négligeable. Ces premiers résultats indiquent une réelle difficulté à analyser un dessin d'ensemble du point de vue de la fonction technique du mécanisme représenté. On peut se demander maintenant ce qu'il en est par niveau de formation (tableau 3).

Typologie	Simplification	Approximation	Résolution	Interprétation	Total
Élèves de seconde	14 32,6 %	17 39,5 %	2 4,6 %	10 23,3 %	43 100 %
Élèves de première	14 31,8 %	17 38,6 %	9 20,5 %	4 9,1 %	44 100 %

Tableau 3 : Analyse du dessin en fonction du niveau des élèves

Les résultats changent peu en ce qui concerne les deux premières catégories, par contre, ils expriment une nette amélioration en première qui se traduit à la fois par une résolution plus fréquente du problème posé, et une diminution de l'interprétation erronée des données graphiques. À un même niveau, qu'en est-il pour des filières différentes (tableau 4) ?

	Simplification	Approximation	Résolution	Interprétation	Effectifs & %
Effectifs 1 ^{er} S option technologie	7 (38,9 %)	7 (38,9 %)	1 (5,5 %)	3 (16,7 %)	18 (100 %)
Effectifs 1 ^{er} Sciences et techno. industrielle	7 (26,9 %)	10 (38,5 %)	8 (30,8 %)	1 (3,8 %)	26 (100 %)

Tableau 4 : **Analyse du dessin en fonction de la filière (classes de première)**

Les contrastes sont encore plus nets entre ces deux classes. Alors que les résultats obtenus en *Première S option technologie* sont sensiblement les mêmes qu'en seconde (pas de grande différence), il en va autrement en *Première Sciences et Technologies industrielles*. Une résolution du problème posé est obtenue dans plus de 30 % des cas, ce qui va de pair avec la quasi disparition du type « interprétation ». Néanmoins, la tendance à l'approximation est toujours aussi forte, et dans une moindre mesure la simplification, ce qui peut surprendre compte tenu des caractéristiques de cette filière.

7. SECONDE ÉTAPE : APPROCHE COMPARATIVE ET CLINIQUE

Des différences aussi grandes dans les productions ne manquent pas de poser quantité de questions. Pour tenter d'apporter quelques réponses, l'étape suivante met en jeu une approche clinique permettant de prendre en compte, dans le détail, les procédures et démarches mises en œuvre par les sujets pour résoudre le problème, mais cette fois-ci au moyen d'un langage adapté : le schéma cinématique. Seuls les sujets qui maîtrisaient parfaitement les signes graphiques de ce langage ont été retenus, parmi ceux de 1^{ère} exclusivement (32 élèves sur 44), ce qui lève les difficultés concernant la relation code-signifiant. En d'autres termes, le langage que l'on va proposer aux élèves d'utiliser leur est parfaitement connu. Nous aurons d'ailleurs le moyen de nous en assurer.

8. DESCRIPTION DE LA SITUATION DE L'EXPÉRIMENTATION

Le problème consiste à établir un schéma cinématique susceptible de traduire le fonctionnement du mécanisme, sa « fonction technique » plus précisément. Il doit mettre en œuvre les symboles des liaisons mécaniques entre solides. En ce qui concerne le sècheur, seulement deux types de liaisons interviennent : une liaison pivot (à l'image d'une roue autour d'un axe représentée par un petit cylindre dont l'axe est barré de deux traits) et une liaison hélicoïdale (à l'image d'une vis susceptible de se déplacer dans un écrou) représentée aussi par un petit cylindre dont l'enveloppe porte une courbe sinusoïdale, son axe étant libre. Au total, le mécanisme est composé de six liaisons (articulations) : cinq liaisons pivots et une liaison hélicoïdale. Les symboles sont placés dans un espace $O(x,y,z)$ isomorphe à l'objet, ils sont reliés les uns aux autres pour schématiser le montage entre les différentes parties (figure 7).

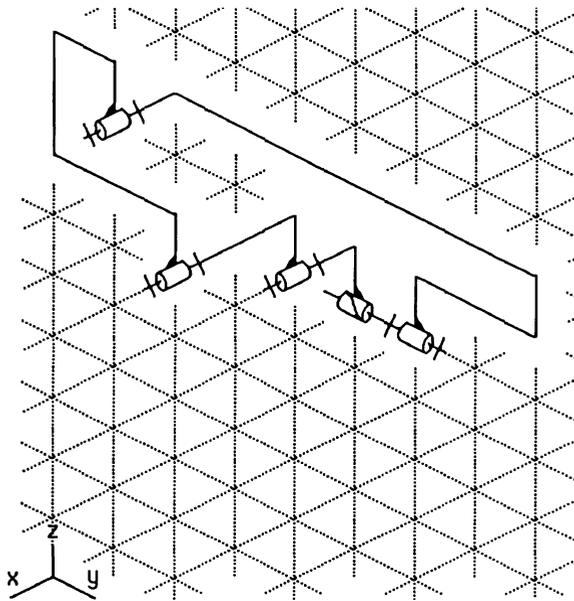


Figure 7 : Exemple de schéma cinématique du sècheur électronique (résultat obtenu par un élève, copie d'écran)

Le schéma pris en exemple répond au problème posé, il met en évidence les mouvements relatifs entre les ensembles cinématiquement liés du mécanisme. De l'entrée du mouvement (à droite) vers la sortie on retrouve bien l'axe moteur qui entraîne l'écrou, lequel transmet un mouvement de rotation à la lame mobile par l'intermédiaire des biellettes. Les symboles sont à la fois correctement sélectionnés, disposés, orientés et reliés les uns aux autres. Le schéma cinématique traduit la fonction technique de la partie opérative du sécateur électronique, bien qu'il puisse encore être complété d'un sixième élément en la présence d'une liaison pivot qui aurait indiqué la symétrie des biellettes, visible sur le dessin d'ensemble.

Un contexte bien précis a été élaboré pour parvenir à ce résultat. La situation expérimentale⁷ réalisée avec le langage HyperTalk est composite, tout en fixant un but, elle intègre divers éléments. L'espace du problème englobe ainsi des activités de nature différente qui peuvent être organisées en fonction des procédures adoptées, lesquelles sont, bien entendu, enregistrées dans chaque cas. Les sujets disposent seulement du dessin d'ensemble en tant que document « papier », tout le reste est installé sur ordinateur. Le temps est laissé libre, cela ayant été précisé, il varie de 30 à 90 minutes.

La tâche prescrite consiste à établir le schéma cinématique de la partie opérative du sécateur électronique. La consigne dit explicitement que « *pour ce faire, vous avez à votre disposition devant vous le dessin du sécateur avec la nomenclature des pièces, et à l'écran un ensemble de documents à consulter ou à compléter selon vos besoins. Vous procéderez de la manière qui vous conviendra le mieux, à savoir que vous pourrez exploiter la totalité des éléments du dossier ou seulement une partie de ceux-ci, dans l'ordre qui vous paraîtra le plus approprié. Il vous sera par exemple possible de revenir en arrière ou de consulter un même document à plusieurs reprises* ».

7. Elle a été réalisée par Jean-Claude ROBERT, professeur associé à la recherche, décédé en avril 1998. Je tiens ici à lui rendre hommage, et dire combien son aide a été précieuse, tant au plan humain que professionnel. Il a mis en œuvre toutes les qualités qui étaient les siennes pour parvenir à un résultat qu'au départ je n'espérais même pas, y associant son fils Samuel, avec lequel il partageait la même passion.

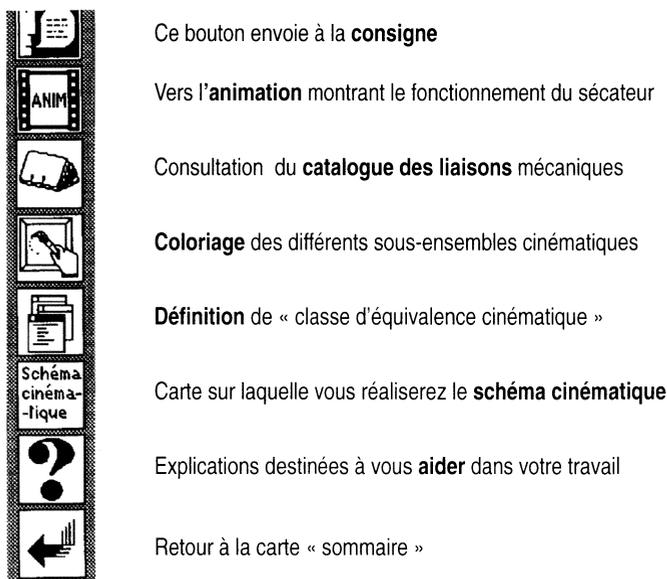


Figure 8 : **Après la consigne, une carte « sommaire » donne à l'écran la liste des documents disponibles et des étapes possibles**

L'animation montre la transmission des mouvements entre l'entrée du mécanisme et la sortie. Le sujet a la possibilité de mettre en marche ou d'arrêter l'animation en cliquant sur les boutons appropriés. Comme à chaque fois, il a la possibilité de « naviguer » sans avoir à revenir au sommaire, une barre d'icônes est prévue à cet effet. Le catalogue donne la définition des différentes liaisons ainsi que la définition de ce qu'est une classe d'équivalence cinématique. Le sujet choisit sur une liste (barre d'icônes) ce qu'il désire consulter. Pour les classes d'équivalence, le dessin d'ensemble apparaît sur l'écran avec un cadre qui présente six ensembles à compléter. Il suffit de cliquer successivement sur les repères des pièces pour constituer les différentes classes. Une option coloriage donne le résultat sur le dessin en nuances de gris. Les mobilités des liaisons sont caractérisées également à l'entière initiative des sujets. Il suffit de cliquer successivement sur deux ensembles parmi ceux constitués précédemment et de choisir parmi les différents icônes celui qui convient. Le résultat vient s'afficher directement dans un tableau à double entrée. Le schéma cinématique est à construire sur un fond en treillis figurant les trois dimensions identifiées par un repère d'axes X, Y, Z. Sur la gauche de l'écran, le sujet dispose des symboles des différentes liaisons ainsi que d'outils permettant de tracer le schéma cinématique.

L'ensemble des éléments qui composent la situation expérimentale constitue une « base technologique » au sens employé par Poitou & Chabot (1991) et Poitou (2001) évoquant à la fois l'idée d'ensemble de connaissances fondamentales, ou de patrimoine culturel technique, et celle de base de connaissances, au sens informatique. Ces connaissances

(déclaratives et procédurales) regroupent les savoirs enseignés dans le domaine de la cinématique au cours de la première année, voire des deux premières années de lycée dans le cadre des options technologiques. Elles font l'objet de plusieurs modules d'enseignement, cours et travaux dirigés, organisés en une progression relativement stabilisée : repérer les différents sous-ensembles qui constituent un mécanisme, établir des classes d'équivalence cinématique, établir le tableau des liaisons en utilisant le langage iconique, établir un graphe, interpréter ou réaliser un schéma cinématique. La question qui se pose est de savoir comment cet ensemble de connaissances est utilisé, si par exemple la progression mise en œuvre par le maître sera assimilée à une procédure chez les élèves débutants, et ceci en fonction de leur niveau d'expertise du point de vue de l'analyse de la fonction technique de la partie opérative du sécateur.

On peut considérer que la « base technologique » ainsi constituée par tout cet ensemble est complète, du point de vue des savoirs enseignés. Elle offre en plus *la solution* au problème, avec l'animation à l'écran. Tout est en place pour satisfaire à l'hypothèse d'une évolution dans l'étude de la fonction technique. Cette hypothèse est renforcée par le caractère formatif de la situation proposée, le schéma pouvant être produit au terme d'une démarche susceptible d'aider à sa réalisation, démarche qui prendrait alors appui sur la documentation disponible (tableau des liaisons, définitions), la démonstration (animation), les tâches intermédiaires (constitution des sous-ensembles cinématiques, tableau des liaisons). Ceci constitue un ensemble dans lequel puiser des « connaissances » au sens large du terme, dans la mesure où cet ensemble comporte en fait deux bases : une base de connaissances et une base de problèmes. L'hypothèse est d'autant plus forte que ces facteurs sont susceptibles de se conjuguer, et, par conséquent, de provoquer une amélioration tout à fait significative des résultats, là où c'est possible bien entendu. *A contrario*, on ne s'attend nullement à observer des erreurs de même nature entre les deux situations, dessin et schéma.

9. RÉSULTATS COMPARATIFS

Pour un certain nombre de raisons, on s'attendait à des changements de catégories entre le test initial et le schéma : tâches dont la finalité est similaire, poursuite de l'apprentissage entre les deux passations, contextualisation pédagogique de la situation expérimentale. En d'autres termes, si le schéma cinématique intervient effectivement en tant qu'artefact cognitif cela devrait permettre, d'une manière significative, de résoudre les difficultés d'une simple lecture de dessin, non instrumentée. La comparaison se fait donc entre les productions espacées de quelques semaines (dessin à main levée, puis schéma cinématique) réalisées par les mêmes sujets,

32 élèves de 1^{ère} (tableau 5). Le tableau présente en lignes les résultats au test initial, et en colonnes la répartition en fonction du type de schéma cinématique produit.

Schéma :	Simplification	Approximation	Résolution	Total
Test initial :				
Simplification	6	3	0	9
Approximation	0	11	2	13
Résolution	0	1	7	8
Interprétation	0	1	1	2
Total	6	16	10	32

Tableau 5 : Répartition des 32 élèves soumis au test initial et au schéma cinématique

Une première observation concerne l'homogénéité du groupe ayant résolu le problème sous les deux conditions (dessin et schéma). S'il en avait été autrement, on aurait pu émettre des doutes quant à la nature de l'expérimentation. En effet, mal construite, elle aurait pu mettre en difficulté des sujets ayant réussi le test initial, ce qui n'a pas été le cas, à une exception près. Si on considère maintenant les changements possibles de catégories, 24 élèves sont concernés (total pour les deux premières et la dernière classe du test initial). Dans 7 cas seulement (29 %) une amélioration s'est produite, mais pour le reste (71 %) il n'y a pas eu changement. Ce résultat paraît surprenant, dans les conditions décrites on aurait pu s'attendre à une proportion pour le moins inversée. Il est donc bien difficile d'accepter l'hypothèse, et la question est de savoir ce qui peut expliquer cette absence d'évolution entre le test initial et le schéma. La première explication peut être recherchée dans la démarche d'élaboration du schéma. Pour l'essentiel, l'effectif qui ne s'inscrit pas dans le sens de l'hypothèse se partage en deux groupes d'effectifs respectifs 6 et 11. Une description précise des différentes stratégies est nécessaire, c'est ce que nous allons voir en prenant appui sur quelques cas.

10. ÉTUDE CLINIQUE COMPLÉMENTAIRE

Cette étude a été faite pour l'ensemble des sujets concernés, mais dans le cadre de cet article, seulement deux cas seront étudiés, pris dans chacune des deux catégories distinctes : simplification et approximation. On s'intéressera en particulier à l'organisation des connaissances et aux procédures adoptées par les sujets.

10.1. Étude d'un premier cas : maintien d'une même forme de simplification

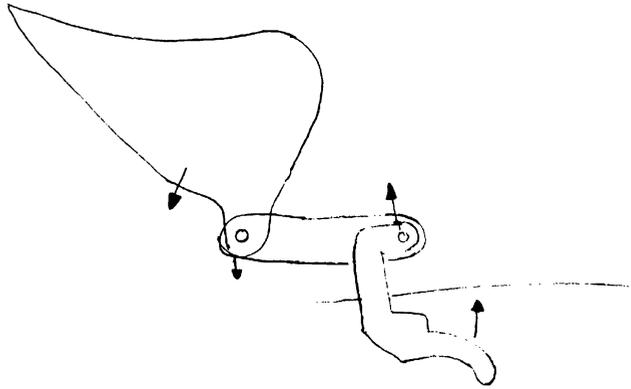
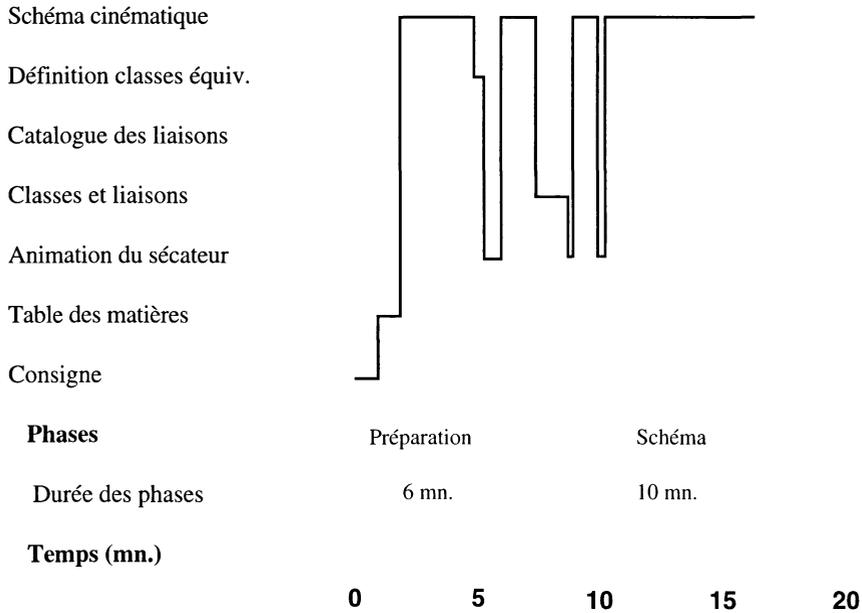


Figure 9 : Dessin du mécanisme (élève de 1^{re} STI électrotechnique)

Ce dessin (figure 9) – dont nous avons déjà parlé – présente une vision simplifiée du mécanisme, c'est l'action directe sur la gâchette qui entraîne la fermeture de la lame mobile. Les flèches indiquent bien le mouvement produit, en appuyant sur la gâchette cela procure un déplacement vers le haut et la barre de liaison est animée d'un mouvement de bascule qui provoque la fermeture de la lame mobile. Le déroulement de la procédure mise en œuvre pour le schéma cinématique a été le suivant (figure 10).



Temps total / nb. de séquences	16 mn. / 11 séquences.
Préparation	Prise en compte de la situation but durant un temps assez long.
Schéma cinématique	Trois liaisons sont successivement mises en place, dans l'ordre : pivot, glissière, ponctuelle. Elles sont respectivement en relation avec le mouvement moteur de rotation, la translation de la partie inférieure de la lame, la gâchette. Un tracé rudimentaire relie ponctuelle et pivot, la lame est portée à proximité de la glissière.

Figure 10 : **Procédure mise en œuvre dans le premier cas pour réaliser le schéma**

La prise en compte de la situation but intervient dès le début, le mode d'emploi est soigneusement étudié. L'exploration semble alors se poursuivre au niveau de l'animation et des classes d'équivalence, en même temps que débute le schéma avec un premier symbole.

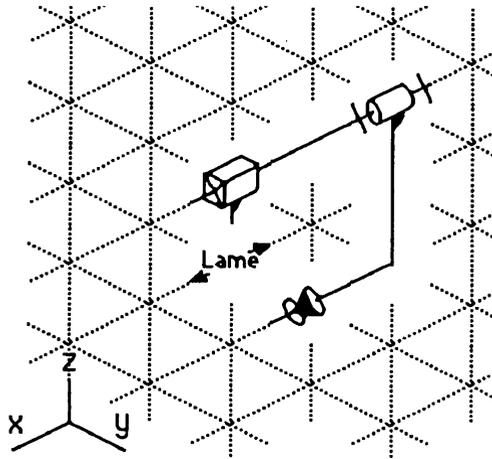


Figure 11 : Schéma cinématique produit dans le premier cas

Le schéma est succinct (figure 11), il semble vouloir indiquer seulement l'existence de la gâchette en relation avec l'écrou, et un mouvement de translation en relation avec la lame. La liaison ponctuelle a été introduite comme élément majeur pour symboliser le contact du doigt de l'opérateur sur la gâchette, de manière à agir directement sur la lame. La similitude entre le test initial et le schéma est particulièrement frappante dans ce cas, malgré la prise en compte de l'animation du sécateur (mais en l'absence d'analyse plus fine conduisant à constituer les classes d'équivalence) le point de vue reste strictement identique. On retrouve dans les deux productions la même simplification liée au rôle direct de la gâchette.

10.2. Étude d'un second cas : maintien d'une même forme d'approximation

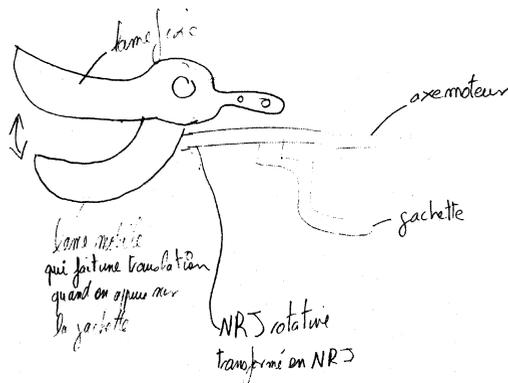
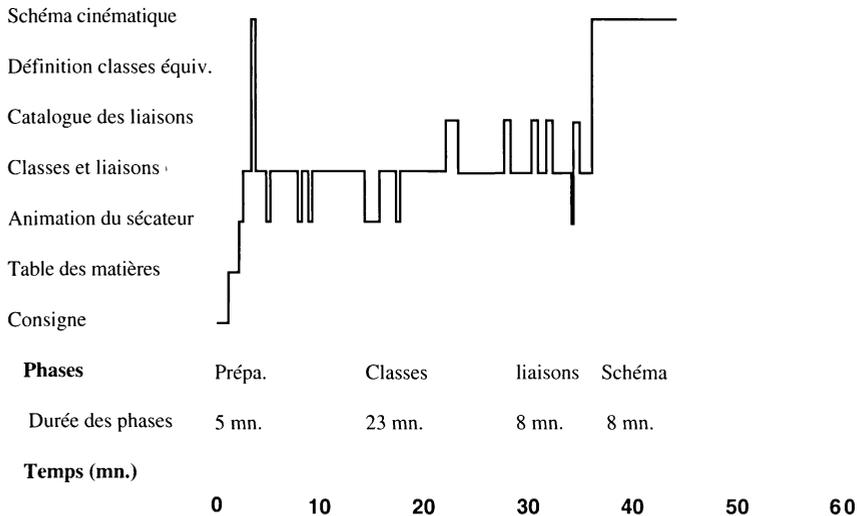


Figure 12 : Dessin du mécanisme (élève de 1ère S option technologie)

Dans ce test initial (figure 12), le principe de transformation du mouvement est mentionné « *NRJ rotative transformée en NRJ* » (explication par ailleurs incomplète, le sujet ne se souvenant pas du terme qu'il désirait employer), et situé au niveau de la jonction supposée entre l'axe moteur et la lame mobile. Plusieurs erreurs apparaissent ici. La première concerne la distinction des lames, la lame fixe est confondue avec la partie supérieure de la lame mobile, du coup la lame inférieure devient mobile, à l'inverse de ce qui est indiqué sur le dessin de définition. L'axe moteur est ininterrompu, comme s'il s'agissait d'une seule et même pièce reliant le moteur à la lame mobile, autrement dit les biellettes n'ont pas été repérées comme éléments distincts. La gâchette est collée à l'axe moteur, l'écrou central n'étant pas représenté. Ainsi, en l'absence des biellettes et de l'écrou, la transformation du mouvement est reportée au niveau de la lame mobile. La procédure mise en œuvre en vue du schéma cinématique est la suivante (figure 13).



Tps. / séquences	44 minutes / 27 séquences
Préparation	Elle se caractérise par une prise de contact avec les activités susceptibles d'intervenir dans la réalisation de la tâche.
Classes d'équivalence	La constitution des classes d'équivalence se fait en prenant régulièrement connaissance du fonctionnement du mécanisme. Deux classes successives sont d'abord constituées, la première avec la lame mobile et les pièces fixes, la seconde avec la vis d'entraînement. Dans la première classe les petites pièces secondaires sont ajoutées. A mi parcours, une troisième classe apparaît avec les biellettes, puis trois autres. Six classes sont progressivement constituées : A) Lame mobile, parties fixes et petites pièces de liaison. B) Vis d'entraînement. C) Biellettes et ses deux axes. D) Petites pièces de fixation de la lame mobile aux biellettes. E) Lame fixe. F) Écrou central.

Liaisons	Plusieurs liaisons sont définies entre les classes précédentes, dans l'ordre : pivot entre A & E ; pivot entre A & B ; glissière entre B & F ; glissière hélicoïdale entre C & F. Dans la toute dernière partie, une modification est apportée. La lame fixe est placée avec les biellettes, ce qui réduit le nombre de classes à cinq.
Schéma	Le schéma se fait en plaçant à la suite quatre liaisons, dans le sens entrée du mouvement vers sortie : hélicoïdale, glissière, hélicoïdale et pivot sur un axe différent. La lame est située à côté du pivot, l'ensemble fixe indiqué à proximité de l'entrée.

Figure 13 : **Procédure mise en œuvre dans le second cas pour réaliser le schéma**

La procédure suivie est celle enseignée, elle correspond à un sujet novice. L'essentiel du temps est consacré aux classes d'équivalence et aux liaisons. Le schéma cinématique (schéma 14) en est l'application, à ceci près de l'erreur dans le choix du premier symbole (hélicoïdal pour pivot). Une autre erreur de désignation des lames a été faite pratiquement depuis le début. Autres particularités, la traduction visuelle du mouvement de l'écrou central en mouvement glissière, et le report de la liaison hélicoïdale au niveau de la partie écrou-biellettes comme une sorte de traduction littérale de sa définition, conjuguant un mouvement de translation avec un mouvement de rotation.

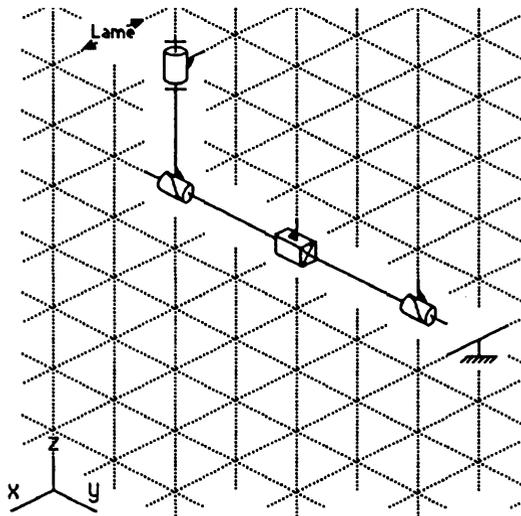


Figure 14 : **Schéma cinématique produit dans le second cas**

Le schéma vient conclure une étude préalable des classes d'équivalence cinématique et des liaisons. En définitive, le schéma apporte peu d'évolution par rapport au test initial. On retrouve la même confusion à l'égard des lames, le même axe central, le même report de transformation du mouvement au contact de la lame mobile. Le schéma reste tout à fait approximatif, comme l'était le test initial. Ceci peut sembler d'autant plus surprenant que l'analyse avait conduit à repérer les éléments en jeu, à distinguer la vis d'entraînement, l'écrou et les biellettes.

11. DÉMARCHES ET PROCÉDURES DE RÉOLUTION PAR LE SCHÉMA CINÉMATIQUE

Le dispositif expérimental n'est pas un didacticiel, il ne s'agit donc pas d'évaluer la pertinence de l'outil informatique de ce point de vue. Il s'agit au contraire d'un dispositif de recherche dans un cadre bien précis permettant notamment de pister l'ensemble des démarches mises en œuvre par les sujets. L'analyse des protocoles individuels permet la prise en compte explicite des variations inter-sujets et intra-sujets. L'intérêt est moins de constituer une typologie que d'analyser plus finement la manière dont un problème de cinématique est traité, et dont un ensemble de « savoirs enseignés » est organisé et mis en œuvre à cette fin.

1. Dans plusieurs cas, le problème est traité à travers une *procédure alternée* construite sur des allers retours avec l'animation, illustration du fonctionnement du mécanisme aux apparences parfois trompeuses, à en rester là. La procédure s'inscrit en totalité dans une forme d'alternance entre la situation but et l'animation du fonctionnement. Les séquences consacrées au schéma sont assez courtes, l'élaboration se fait de proche en proche, généralement sans retours en arrière (peu de modifications). L'élaboration du schéma traduit le mouvement apparent plutôt qu'une analyse du fonctionnement. C'est notamment le cas avec la traduction du mouvement apparent de déplacement de la partie inférieure de la lame mobile sous la forme d'une liaison glissière. Chaque procédure de ce type se caractérise par une forte analogie entre le test initial et le schéma.

2. Dans d'autres cas, la démarche adoptée est une démarche en apparence de type « expert », qui supposerait des connaissances acquises rendant inutile la prise en compte de parties annexes telles que la constitution des classes d'équivalence, le tableau des liaisons, les définitions, le catalogue des liaisons, la prise en compte du fonctionnement du mécanisme (animation). Elle se caractérise par un plateau, une phase continue au niveau du schéma cinématique. En somme, la démarche peut être qualifiée de *procédure pseudo-experte*. Après une phase de préparation (consigne,

sommaire, définition) l'accès se fait directement au niveau de la situation but, l'activité se déroule à ce niveau, sans aucun recours à d'autres éléments. En particulier, l'animation n'est jamais intervenue. Chaque procédure de ce type se caractérise également par une forte analogie entre le test initial et le schéma. Le schéma cinématique est, dans ce cas, la traduction de l'analyse préalablement effectuée, qui constitue en quelque sorte une forme de connaissance non remise en question.

3. Dans d'autres cas encore, les sujets décomposent la tâche en étapes successives : constitution des classes d'équivalence cinématique en ayant recours à l'animation, définition des liaisons entre les classes en ayant recours au catalogue des liaisons, puis élaboration du schéma. Cette démarche reprend la progression pédagogique, elle correspond en somme à une *procédure d'apprentissage*. Cette procédure est plus ouverte que les précédentes ; certains obtiennent ainsi de bons résultats, d'autres pas du tout en raison soit d'erreurs dans l'établissement des liaisons, soit tout simplement d'interruption plus ou moins franche du travail, comme si ce qui avait été fait permettait de remplir le contrat formel au sens d'un TP d'une certaine durée. Pour ces derniers, l'élaboration du schéma cinématique constituant la dernière phase d'une procédure, qui peut se révéler laborieuse, en reste parfois à une simple tentative.

4. Dans d'autre cas enfin, c'est la situation elle-même qui semble guider le sujet, à l'image de ce qu'on ramènerait en fouillant dans un sac, sans trop savoir quoi y chercher, donnant lieu à une approche peu rationnelle, une *procédure empirique*. Les sujets se trouvent devant une base de connaissances explorable de multiples façons, le sommaire lui-même constitue des « ancrs » qui permettent d'accéder à des définitions et à des illustrations ainsi qu'à des exercices partiels. En particulier, le temps passé à consulter les définitions peut être mis en relation, sinon avec une carence dans la connaissance des différents symboles, du moins avec une transformation du but de l'action comme s'il s'agissait d'explorer l'ensemble du dossier et de franchir toutes les étapes avant d'en arriver à la phase ultime, l'élaboration du schéma cinématique.

Ces différentes procédures reflètent assez clairement des différences de statut, de prise en compte du problème par les élèves, et plus largement permettent de discuter la question de la compréhension des représentations graphiques à partir de la thèse vygotkienne d'une instrumentation du psychisme par ces systèmes et celle du processus à l'œuvre dans ce type d'apprentissage.

12. ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Le rapport à l'organisation rationnelle des connaissances constitue le premier aspect de ces résultats. Le choix du « schéma cinématique » pour étudier cette question a répondu notamment à un critère de complétude : il était possible, avec ce sujet, de regrouper l'ensemble des connaissances telles qu'elles sont actuellement enseignées. Et donc de présenter une organisation de ces connaissances qui corresponde à cet enseignement. Les quatre procédures caractéristiques mises en relief se distinguent nettement les unes des autres du point de vue des transformations opérées. Nulle, dans certains cas, lorsque les élèves reprennent à la lettre la progression suivie au cours de leur apprentissage ; manifeste mais inadaptée dans le cas d'une procédure pseudo-experte ; en perte de repères lorsqu'elle devient empirique ; judicieuse et pourtant vouée à l'échec lorsqu'elle se fait procédure alternée. Ces différentes procédures reflètent assez clairement des différences dans la prise en compte du problème par les élèves. Alors que l'objectif visé était la mise en œuvre d'un instrument sémiotique dans une situation lui donnant du sens, ce qui paraît l'emporter c'est la dimension exercices, tâches et travaux d'exécution. Ce qui incite vraiment à s'interroger sur l'organisation fonctionnelle des connaissances qui en a résulté.

Des similitudes intra-individuelles aussi nettes entre des productions de nature pourtant bien différentes (lecture de dessin, schématisation cinématique) ne peuvent se comprendre sans faire appel à des connaissances mémorisées, des heuristiques déjà construites. Le phénomène résiste au-delà de ce que nous avons pu imaginer. En particulier, la séquence d'animation du mécanisme n'a, le plus souvent, rien fait évoluer, tout se passant comme si les sujets s'en tenaient à leur premier niveau d'analyse, même après avoir eu connaissance de la solution du problème sous la forme d'une simulation du fonctionnement. La faible efficacité que l'on pourrait, de ce fait, attribuer au schéma cinématique peut s'expliquer par le caractère contextualisé des connaissances. Et en particulier le *contexte interne* (Bastien, 1997) constitué de l'expérience individuelle du sujet, du flux des connaissances à un moment donné, « *cet appel aux connaissances en mémoire, par le contexte, a pour effet de filtrer et de relativiser en les structurant, les données de la situation à traiter.* » (Bastien, 1977, p. 25). Il en résulte une organisation fonctionnelle des connaissances qui présente plusieurs caractéristiques. Un aspect essentiel concerne ce que Bastien nomme le rôle des précurseurs. De ce point de vue, le test initial a eu certainement un effet beaucoup plus important que celui d'une simple évaluation, l'analyse qui a été faite de la typologie, inspirée des travaux de Rabardel (1995) concernant la définition psychologique de la notion d'instrument, montre à quel point le mécanisme étudié a fait l'objet

de représentations très solidement ancrées, jusqu'à ses propriétés, comme le suggèrent Tijus et al. (1996), pour lesquels l'approche de la sémantique des actions⁸ est avant tout basée sur une théorie de l'objet et des propriétés attribuées. C'est en fait, probablement, le référent réel, matériel, l'objet « sécateur » qui a pris forme à ce moment là. Le fait d'aboutir à une conception simpliste du mécanisme dans un premier temps a servi de point de départ pour la suite, et a conduit à un résultat identique concernant la tâche que les sujets se sont donnée du point de vue de la phase expérimentale. C'est particulièrement net aussi avec les sujets qui ont d'abord procédé par approximation.

En d'autres termes, tout s'est passé comme si la tâche prescrite qui consistait à établir le schéma cinématique conduisait à adapter cet outil au problème traité préalablement avec le dessin d'ensemble et non à résoudre le problème sur de nouvelles bases avec un outil sémiotique *ad hoc*. Nous serions alors tentés de conclure en la faible valeur de cet artefact cognitif, du moins dans les conditions présentes. Mais les conditions de cette expérimentation sont-elles exceptionnelles ? Elles se sont limitées à associer, à quelques semaines d'intervalle, le dessin technique et le schéma cinématique d'un mécanisme, ce qui est relativement fréquent. Néanmoins, entre ces deux situations les éléments qui ont changé sont nombreux, la médiation informatique absente dans la situation initiale est massivement présente dans la seconde. On pourrait alors formuler l'objection suivante : passer d'un dessin d'ensemble, unique instrument graphique, à un duo dessin d'ensemble & logiciel de schéma cinématique n'introduit-il pas des obstacles trop divers et difficilement appréciables pour donner place à une interprétation à prétention objective ? Le risque est faible, pour plusieurs raisons : la conception du logiciel a cherché à réduire au mieux les obstacles ; le cas échéant l'analyse des protocoles individuels en aurait rendu compte ; peu d'indicateurs ont été recueillis en cours de déroulement d'obstacles éventuels et l'expérimentateur était présent pour y répondre lorsque cela se présentait ; des schémas ont bien été réalisés dans la plupart des cas ce qui n'aurait pu avoir lieu si de réels obstacles avaient été rencontrés ; les élèves sont habitués à travailler sur des postes équipés eux aussi de logiciels. Il en a résulté, par la suite, une redondance et non une reconstruction. Cela rejoindrait-il les observations faites par Séré & Beney (1997) : en TP, les étudiants s'enferment facilement dans des réseaux d'actions, évitant éventuellement de les piloter par des réseaux conceptuels ? Ce serait là une façon assez négative de conclure, si on considérait que ce qui est en cause ce sont des « natures d'élèves ». Il semble plus judicieux de considérer que la variabilité inter-individuelle est la conséquence logique des processus qui gèrent la construction des connaissances.

Au vu de ces résultats, le *contexte interne* aurait donc un « poids » bien réel, beaucoup plus important en tout cas que celui imaginé habituellement dans l'enseignement et la planification des situations d'apprentissage. Dans un cadre assez analogue à celui d'un enseignement, on s'attendait ici à ce que les élèves révisent et modifient leurs représentations initiales à la faveur d'un changement conséquent de l'instrumentation, il n'en a rien été pour la plupart. Mais on ne s'est pas demandé jusqu'à maintenant si l'instrument permettait ce changement de point de vue : outil sémiotique *ad hoc*, en est-on si sûr ? N'y a-t-il pas là à s'interroger sur un plan épistémologique ? Ne pourrait-il pas y avoir un obstacle, au sens de Bachelard, et présence d'une culture de premier aspect, non questionnée comme l'exprime Fabre : « *Et si l'obstacle est dit "épistémologique", c'est que les représentations d'élèves ne sont interprétables qu'à partir d'une grille de lecture historique qui les réfère aux hésitations et aux erreurs des scientifiques eux-mêmes, dans la construction du savoir.* » (Fabre, 1977, p. 52). En somme, ce langage occupe-t-il (toujours) une place fondamentale dans le champ des connaissances scientifique et technologique ou bien subsiste-t-il du seul fait qu'il soit au programme ?

13. LA VALEUR DE CES CONNAISSANCES D'UN POINT DE VUE ÉPISTÉMOLOGIQUE

Les bases de la cinématique, en tant que discipline d'enseignement, relèvent en grande partie de connaissances accumulées au fil du temps. L'essor de la « cinématique » s'est fait au travers de débats le plus souvent vifs et passionnés dont on retrouve les traces dans les ouvrages qui traitent de cette science à différentes époques. Ainsi par exemple, au milieu du XIX^e siècle, vit-on un personnage tel que Laboulaye (1848) s'offusquer de ce qu'en quarante ans, dans le domaine de la cinématique, on se soit contenté de copier un travail ancien sans chercher à l'améliorer, travail jugé insuffisant, conçu sans vues scientifiques et ne pouvant servir à aucun enseignement rationnel [il faisait référence à un ouvrage au titre évocateur : « *Traité complet de mécanique appliqué aux arts ; contenant l'exposition méthodique des théories et des expériences les plus utiles pour diriger le choix, l'invention, la construction et l'emploi de toutes les espèces de machines* » Bognis (1818)]. Un peu plus tard, au cours de la seconde moitié du XIX^e siècle, on vit émerger un ensemble de questions qui devait donner lieu à un contre-projet : quelle est la loi qui doit être observée dans le procédé qui sert à combiner un mécanisme ? Une telle loi existe-t-elle, ou doit-on prendre comme point de départ les résultats de l'invention ? Dans ce cas, le problème scientifique se réduirait-il à un procédé descriptif et historique d'analyse de résultats ? (Reuleaux, 1877). C'est sur le terrain d'un véritable

pari que le débat a été engagé : élucider les fondements scientifiques susceptibles de conduire à l'invention plutôt que de s'en remettre au génie des inventeurs, c'est à peine, lui semble-t-il, si l'on trouve quelques traces de recherches destinées à pénétrer « derrière la scène ». Dans le même temps, de nombreuses tentatives ont été faites du point de vue des systèmes de classification des mécanismes élémentaires afin d'établir un ensemble de connaissances organisées. Pour Debaube (1873) notamment, le secret reste dans l'extraction d'un système de classification bien adapté. Avec Reuleaux (ibid.), il s'agit tout au contraire d'établir un langage et une symbolique susceptibles de renouveler l'analyse et l'invention (la synthèse) des mécanismes. Les savoirs à enseigner devant alors se nourrir de ce langage, propre à constituer la science du mouvement des machines, l'intention était bien d'introduire de profondes modifications dans l'enseignement de la cinématique. Projet sans suite (en 1920 pourtant, Bourguignon dit dans son « cours de cinématique » que Reuleaux a donné des mécanismes une étude absolument scientifique, qui a été reprise par Koenigs, alors professeur de mécanique physique et expérimentale à la Sorbonne), projet malgré tout sans véritable suite si on pense au langage lui-même (langage symbolique voulu tel qu'il tenait à la fois des mathématiques et de la chimie), mais fécond par un certain nombre de concepts toujours d'actualité : liaisons cinématiques, couples d'éléments, chaîne cinématique en particulier. Fécond aussi de par les ouvertures sur un terrain à l'époque encore bien en friche : la synthèse cinématique. Plusieurs ouvrages scientifiques et techniques, et ce, sur une longue période, expriment une adhésion pleine et entière, parfois formulée avec lyrisme, à la définition avancée par Ampère. Reuleaux, pour ne prendre que cet exemple, s'y est référé en ces termes : « *Vers 1830, il se produit, dans l'enseignement des mécanismes, une révolution d'une importance d'autant plus considérable que les bases philosophiques du nouveau système étaient le résultat d'un examen critique approfondi. Ce fut l'œuvre du grand physicien Ampère (essai sur la philosophie des sciences). Cette science devait par la suite aider à définir la machine, non pas comme on l'a fait ordinairement (un instrument à l'aide duquel on peut changer la direction et l'intensité d'une force), mais comme un instrument à l'aide duquel on peut changer la direction et la vitesse d'un mouvement donné* » (Reuleaux, 1877, p. 22). Si la cinématique répond à la définition qu'en donnait Ampère en 1834, définition à laquelle tant de travaux se sont fait l'écho par la suite, est-ce bien là toujours ce qui est à enseigner du point de vue de la formation initiale, avec les concepts et les méthodes qui en ont résulté ?

De fait, « *actuellement, le domaine de l'étude des mécanismes et des machines est en plein développement, parce que les outils de calcul modernes permettent de bien exploiter les résultats classiques dans ce domaine.* » (Arakélian, 1997, p. 10). Il existe notamment des logiciels

(*Dynamic Designer*, par exemple) qui permettent la simulation du fonctionnement des mécanismes et l'exportation des résultats sous forme de fichiers d'animation, de tableaux Excel et de courbes montrant l'évolution de chacun des paramètres dans le temps. La nature du débat a énormément changé, mais ne vit-on pas aujourd'hui sur un stock de connaissances qui est resté le même depuis maintenant plus d'un siècle ? Du moins dans l'enseignement, et c'est ce qui pourrait expliquer que la schématisation cinématique ne soit guère utilisée dans l'industrie.

14. CONCLUSION

Guider efficacement l'apprentissage est bien évidemment une préoccupation majeure des enseignants qui ont à transmettre des connaissances structurées et organisées par des principes généraux en termes de programmes, référentiels, chapitres, questions à traiter et progressions, en bref toute une « organisation rationnelle » des connaissances qui se retrouve dans les situations d'apprentissage. Mais la structuration qui en résulte du point de vue des élèves reste une question largement récurrente, qui ne reçoit le plus souvent que des réponses tout à fait partielles (Brossard, 1999). Aujourd'hui par exemple, des recommandations sont faites concernant l'organisation d'une nouvelle option technologique en seconde (initiation aux sciences de l'ingénieur) sous la forme d'un découpage du processus d'apprentissage en deux temps, l'un consacré à des activités d'élèves dans le cadre de tâches prescrites voulant privilégier une démarche inductive ; l'autre réservé à des activités du professeur œuvrant à la structuration des connaissances : « *les activités pratiques occupent 2/3 du temps, le 1/3 restant étant réservé à des activités de synthèse pour structurer les connaissances et faire émerger les concepts...* » (Bulletin Officiel de l'Éducation nationale, hors-série, n° 6 du 31 août 2000, p. 6). Il s'agit là d'une vision pour le moins fort discutable du processus d'apprentissage, si on ne tient pas compte du rôle essentiel de la résolution de problèmes (Bastien & Richard, 1995), c'est-à-dire de « l'apprentissage par l'action » : « *c'est la résolution de problèmes qui fixe les buts, active les précurseurs et finalement structure la connaissance* » (Bastien, 1997, p. 50). La transformation qui s'opère de la structure présente au sein des activités en une organisation dite « fonctionnelle », si elle rend compte de l'apprentissage par enseignement, n'est pas simple à guider efficacement.

Nous en avons eu un exemple particulièrement significatif. Si la *schématisation cinématique* fait partie intégrante des savoirs enseignés, c'est en tant que langage consacré à l'analyse de la fonction technique des mécanismes. Il devrait en principe conduire à un résultat différent de la

simple lecture d'un dessin d'ensemble, sinon quel en serait l'intérêt ? Or, tel n'est pas le cas ici, l'hypothèse d'une meilleure performance en situation expérimentale ne pouvant être retenue, on devrait être en mesure de conclure à une faible valeur de cet instrument en tant qu'artefact cognitif. Est-ce *l'outil sémiotique* lui-même qui est en cause ? L'explication tient-elle à une méconnaissance du schéma cinématique en tant que tel ? Probablement non, dans la mesure où les sujets ont su maîtriser cet outil, du moins au niveau du langage, les schémas cinématiques renseignant parfaitement sur le point de vue adopté par les sujets, témoignant de l'acquisition de savoirs scolaires, sans pour autant que cela se traduise en acquisition d'expertise.

En adoptant une approche méthodologique orientée vers l'analyse des protocoles individuels et donc l'explicitation des variations inter-sujets et intra-sujets, on retiendra surtout ici la place essentielle du *contexte interne*. En particulier, nous avons vu à quel point le test initial a pu influencer le reste. De même, on peut penser que l'analogie situation expérimentale/situation d'enseignement a prédisposé les sujets à se placer dans une dynamique d'apprentissage plutôt que d'application, ce qui conduit à évoquer la présence d'un biais de recentrage sur « l'organisation rationnelle des connaissances » portée par la situation d'apprentissage mettant plus ou moins en échec l'opérationnalisation attendue. En d'autres termes, comme le souligne Clot « *la place d'un outil dans l'action est une caractéristique du sujet et non directement de l'artefact* » (Clot, 1999, p. 124), ajoutant à cela que, pas plus que l'artefact n'est en lui-même un instrument, le but de la tâche prescrite ne vaut pour lui-même. Mais c'est aussi la nature même des savoirs enseignés qui est au cœur du débat. D'un côté, la question consiste à caractériser l'enseignement par une approche globale et concrète des systèmes automatisés, qui doit permettre l'acquisition de solides connaissances. De l'autre, dans un univers marqué par l'usage surabondant de modèles graphiques les plus divers, on déplore les difficultés des élèves à s'en saisir en tant qu'instruments sémiotiques. Ce sont les concepts mêmes sur lesquels viennent prendre appui les savoirs enseignés qui demanderaient aujourd'hui un nouvel examen.

NOTES

1. La terminologie est celle des normes (NF X 50 150-153) introduites en analyse de la valeur : la fonction de service est l'action attendue d'un produit (ou réalisée par lui) pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné.

2. Dessin d'ensemble : dessin dont le rôle est essentiellement de montrer *le fonctionnement* d'un mécanisme et la façon dont le concepteur a agencé les pièces constituant les solides.

3. Schéma cinématique : modèle destiné à établir une représentation claire du mécanisme étudié afin de mettre en évidence les liaisons mécaniques à un ou plusieurs degrés de liberté intervenant dans la transmission du mouvement entre les solides.

4. « *Tôt ou tard, dans la plupart des domaines, on est forcé de constater que la première représentation géométrique, fondée sur un réalisme naïf des propriétés spatiales, implique des convenances plus cachées, des lois topologiques moins nettement solidaires des relations métriques immédiatement apparentes, bref des liens essentiels plus profonds que les liens de la représentation géométrique familière. On sent peu à peu le besoin de travailler pour ainsi dire sous l'espace, au niveau des relations essentielles qui soutiennent et l'espace et les phénomènes. La pensée scientifique est alors entraînée vers des « constructions » plus métaphoriques que réelles, vers des « espaces de configuration » dont l'espace sensible n'est, après tout, qu'un pauvre exemple* » (Bachelard, 1938, p. 5)

5. « *Pour être conservées et transmissibles, les connaissances doivent présenter un format accessible à tous : leur « organisation rationnelle ». En clair, elles doivent être structurées par des principes généraux qui sont en grande partie extérieurs à leur emploi, la décomposition en parties et sous-parties, par exemple. Et c'est cette organisation qui est nécessairement présentée dans les situations d'apprentissage par enseignement et c'est elle qui, en raison de l'organisation fonctionnelle des connaissances individuelles, subit une transformation au cours de l'acquisition.* » (Bastien, 1997, p. 49).

6. Par « *transfert de connaissances* » Mendelsohn désigne le mécanisme qui permet à un sujet d'utiliser dans un nouveau contexte des connaissances acquises antérieurement. Un apprentissage est possible « *l'apprentissage du transfert (et non plus le transfert comme mécanisme implicite de l'apprentissage) désigne alors les méthodes d'intervention qui favorisent l'émergence de ce mécanisme* » (Mendelsohn, 1996.)

8. « *L'action, représentée sous la forme de buts et de procédures (séquence de sous-buts qui permet la réalisation du but) est considérée comme une propriété attribuée par catégorisation. En effet, l'action n'est pas une propriété de la situation. C'est une propriété mentalement attribuée. Par exemple, un objet rond posé sur une pelouse pourra être catégorisé comme « ballon » avec attribution de propriétés (léger, manipulable, football) dont une action possible « tapez dans ». Ce but ne sera heureusement pas*

activé, s'il s'agit d'un objet rond et noir posé sur les remparts d'un château fort près d'un canon. » (Tijus et al., 1996, p. 210).

BIBLIOGRAPHIE

- AMPÈRE A.-M. (1834). *Essai sur la philosophie des sciences, ou Exposition analytique d'une classification de toutes les connaissances humaines*. Paris, Bachelier.
- ANDREUCCI C., FROMENT J.-P. & VÉRILLON P. (1996). Contribution à l'analyse des situations d'enseignement/apprentissage d'instruments sémiotiques de communication technique. *Aster* n° 23, pp. 181-211.
- ARAKÉLIAN V. (1997). *Structure et cinématique des mécanismes*. Paris, Hermès.
- BACHELARD G. (1996). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin.
- BASTIEN C. & RICHARD J.-F. (1995). La résolution de problèmes. In R. Ghiglione & J.-F. Richard (Éds), *Cours de psychologie*. Paris, Dunod.
- BASTIEN C. (1997). *Les connaissances de l'enfant à l'adulte*. Paris, A. Colin.
- BALLEREAU A.-J., BUSATO J.-P. & TRANIER G. (1994). *Mécanique industrielle*. Paris, Foucher.
- BENIELLI G., CERATO G., PRAT D. & VIAL L.-M. (1996). *TSA, technologie des systèmes automatisés*. Paris, Foucher.
- BIDEAUD J. & HOUDÉ O. (1989). Le développement des catégorisations : « capture » logique ou « capture » écologique des propriétés des objets ? *L'Année Psychologique*, n° 89, pp. 87-123.
- BORGNIS J.-A. (1818). *Traité complet de mécanique appliquée aux arts ; contenant l'exposition méthodique des théories et des expériences les plus utiles pour diriger le choix, l'invention, la construction et l'emploi de toutes les espèces de machines*. Paris, Bachelier.
- BOURGUIGNON P. (1920). *Cours de cinématique théorique et appliquée*. Paris, Vuibert.
- BROSSARD M. (1999). Apprentissage et développement : Tensions dans la zone proximale. In Y. Clot (Éd.), *Avec Vygotski*. Paris, La Dispute, pp. 209-220.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2000). *Hors-série, n° 6 du 31 août 2000*. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.
- CAVERNI J.-P. (1988). La verbalisation comme source d'observables pour l'étude du développement cognitif. In J.-P. Caverni, C. Bastien, P. Mendelsohn & G. Tiberghien (Éds), *Psychologie cognitive : modèles et méthodes*. Grenoble, PUG, pp. 123-139.
- CLOT Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Paris, PUF.
- DEBAUVE A. (1873). *Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées rédigé conformément au programme annexe au décret du 7 mars 1868 réglant l'admission des conducteurs des ponts et chaussées au grade d'ingénieur*. Paris, Dunod.
- EHRlich M.-F., TARDIEU H. & CAVAZZA M. (Éds), (1993). *Les modèles mentaux. Approche cognitive des représentations*. Paris, Masson.
- FABRE M. (1997). Pensée pédagogique et modèles philosophiques : le cas de la situation-problème. *Revue Française de Pédagogie*, n° 120, pp. 49-58.
- HILL D.-R. (1997). Technologie. In R. Rashed, *Histoire des techniques arabes : technologie, alchimie et sciences de la vie, vol. 3*. Paris, Seuil, pp. 11-54.
- HOUDÉ O. (1992). *Catégorisation et développement cognitif*. Paris, PUF.
- JOURDAN L. (1996). Communication personnelle.

- LABOULAYE C. (1848). *Traité de cinématique*. Paris, Librairie du dictionnaire des arts et manufactures.
- LAFONTAINE D., BLONDIN C., LAFONTAINE A. & CLOSSET J.-L. (1990). Résolution de problèmes d'hydrodynamisme face à un circuit concret. Comparaison avant et après apprentissage. *European Journal of Psychology of Education*, vol. V, n° 4, pp. 517-531.
- LAURIER J. (1995). *Les machines de construction de l'antiquité à nos jours. Une histoire de l'innovation*. Paris, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées.
- LEBEAUME J. (1999). *L'éducation technologique*. Paris, ESF.
- LEUTENEGGER F. (2000). Construction d'une « clinique » pour le didactique. Une étude des phénomènes temporels de l'enseignement. *Recherches en didactique des mathématiques*, n° 20/2, pp. 209-250.
- MENDELSON P. (1996). Le concept de transfert. In P. Meirieu & M. Develay (Éds), *Le transfert de connaissances en formation initiale et en formation continue. Actes du colloque organisé à l'université Lumière-Lyon 2*. Lyon, CRDP, pp. 11-19.
- NORMAN D.-A. (1993). Les objets dans l'action. *Raisons pratiques*, n° 4, pp. 15-34.
- PAYNE S.-J. (1991). Interface problems and interface resources. In J.-M. Carroll (Éd.) *Designing interaction. Psychology of human computer interface*. Cambridge University Press.
- POITOU J.-P. & CHABOT R. (1991). *Vers un outil de gestion des connaissances* (Texte photocopié). Aix-en-Provence, CREPCO, UA 182 CNRS, Université de Provence.
- POITOU J.-P. (2001). Les formations hommes / machines : proposition d'un cadre théorique. In M. Grundstein & M. Zacklad (Éds), *Management des connaissances, modèles d'entreprise et applications*. Paris, Hermès, pp. 150-180
- RABARDEL P. (1995). *Les hommes et les techniques*. Paris, A. Colin.
- REULEAUX F. (1877). *Cinématique*. Paris, Savy.
- RICHARD J.-F. (1992). *Catégorisation et développement cognitif*. Paris, PUF.
- ROCHEX J.-Y. (1997). L'œuvre de Vygotski : fondements pour une psychologie historico-culturelle. *Revue Française de Pédagogie*, n° 120, pp. 105-147.
- SÉRÉ M.-G. & BENEY M. (1997). Le fonctionnement intellectuel d'étudiants pendant la pratique expérimentale. Observation de séances non préparées de travaux pratiques de DEUG scientifique. *Didaskalia*, n° 11, pp. 73-100.
- TIJUS C.-A., POITRENAUD S. & RICHARD J.-F. (1996). Propriétés, objets, procédures : les réseaux sémantiques d'action appliqués à la représentation des dispositifs techniques. *Le Travail Humain*, vol. 59, n° 3, pp. 209-230.
- VÉRIN H. (1993). *La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVI^e au XVIII^e siècle*. Paris, Albin Michel.
- VEZIN L. (1993). Schématisation et acquisition des connaissances. *Revue française de Pédagogie*, n° 77, pp. 71-78.
- VYGOTSKY L.S. (1934). La méthode expérimentale en psychologie. In B. Schneuwly & J.-P. Bronckart (Dir.), *Vygotsky aujourd'hui*. Paris, Delachaux et Niestlé, pp. 39-47.

Cet article a été reçu le 15/05/2000 et accepté le 20/05/01.

Analyse de productions graphiques d'élèves de troisième sur la poussée d'Archimède : causalité naturelle et cohérences sémiotiques

An analysis of 9th grade students' graphical productions on Archimedes' force : natural causality and semiotical coherences

Christian DÉPRET

Université Pierre Mendès France
Laboratoire des Sciences de l'Éducation
U.F.R. S.H.S., 1251 avenue Centrale
BP 47, Domaine Universitaire
38040 Grenoble cedex 9, France.

Résumé

L'étude des conceptions naturelles en physique s'inscrit dans la problématique de l'articulation des influences opératoires et causales (au sens piagétien). Dans ce cadre, on a relevé l'importance des formalismes graphiques. Nous analysons ici, dans leurs dimensions explicatives et formelles, les productions graphiques d'élèves de troisième sur la poussée d'Archimède. Les résultats montrent une grande cohérence dans les réponses des élèves. Ils vont dans le sens d'une résolution non cloisonnée,

où la forme graphique n'est pas un ensemble séparé où l'on projetterait une solution préalablement construite, mais plutôt un support imposant ses règles à la construction de la solution.

Mots clés : *explication causale, formalisme graphique, poussée d'Archimède, cohérence, articulation.*

Abstract

The study of natural conceptions in physics is related to the issue of articulating operatory and causal influences. In this domain, we stress the importance of graphical formalisms. In this research, we analyse graphical productions of fourteen years old students about Archimedes' force, through their explanative and formal dimensions. Results show a great coherence in students' responses. We also present evidence of an unseparated elaboration of solution : Graphical format is not a separate space where a previous elaborated solution is projected. It's undoubtedly a support, but it rather appears to be imposing its rules to the construction of the solution.

Key words : *causal explanation, graphical format, Archimedes' Force, coherence, articulation.*

Resumen

El estudio de las concepciones naturales en física se inscribe en la problemática de la articulación de las influencias operatorias y causales (en el sentido Piagetiano). En este marco, se extrajo la importancia de los formalismos gráficos. Aquí se analiza, en las dimensiones explicativas y formales, las producciones gráficas de los alumnos de troisième (cuarto año de la educación secundaria francesa) sobre el empuje de Arquímedes. Los resultados muestran una gran coherencia en las respuestas de los alumnos. Estos se dirigen en el sentido de una resolución no cerrada, donde la forma gráfica no es un conjunto separado que proyectaría una solución previamente construida, sino más bien un soporte que impone sus reglas a la construcción de la solución.

Palabras claves : *explicación causal, formalismo gráfico, empuje de Arquímedes, coherencia, articulación.*

1. INTRODUCTION

Les principaux travaux théoriques sur les conceptions naturelles ont été entrepris sur la base de la description piagétienne de l'articulation du logico-mathématique et de la causalité des objets, spatialisée et temporalisée, dans laquelle s'ancre la pensée symbolique (Piaget, 1947, 1971 ; Piaget & Garcia, 1987). En effet, Piaget propose une division fondamentale sur la base de laquelle s'articule sa théorie constructiviste. D'un côté il suppose des structures logiques qui vont permettre des actions logiques abstraites. De l'autre, avec la « causalité des objets », il fait intervenir la prise d'informations sur le réel qui exprime ce que font les objets en agissant les uns sur les autres. Cette dichotomie permet d'expliquer, d'une part la capacité humaine d'envisager des possibles, et d'autre part celle de rendre compte du nécessaire : c'est le postulat d'un dualisme entre formes logiques extra-temporelles et informations spatialisées et temporalisées. Notons que l'épistémologie génétique est bien nommée, en ce sens que cette position s'accorde avec les problématiques de l'épistémologie des sciences et notamment celle initiée par Kant d'un monde inaccessible en nature et reconstruit, d'une manière ou d'une autre selon les auteurs, par le sujet pensant (Bachelard, 1938 ; Eco, 1999 ; Kant, 1990). Dès lors, Piaget se heurte à la difficile tâche de séparer l'opérateur et le causal. Les opérations ne peuvent pas être premières puisque, dans leur fondement préopérateur, elles sont associées à la matière. L'indépendance de la pensée opératoire sur le causal est donc le produit d'une épuration. Inversement, ce ne peut être la causalité qui prime puisque les relations causales ne sont pas des données directement observables dans l'expérience immédiate des objets, et ne peuvent donc pas être appréhendées par abstraction simple sans recours aux opérations (Piaget, 1971). Pour Piaget, il y a donc nécessairement co-développement et co-différenciation de la causalité et des opérations. Cette réponse, intéressante pour une épistémologie génétique, est équivoque pour le questionnement didactique : la séparation, ou l'articulation, des influences opératoires et causales étant centrale dans les travaux sur les conceptions naturelles (Vicentini Missoni, 1989).

Tout en conservant la nécessaire articulation mise en évidence par Piaget, les essais théoriques ultérieurs se sont intéressés à des conceptualisations plus locales, en accord avec le développement des didactiques des disciplines. Les aspects sémiotiques et linguistiques y ont trouvé une place importante, encore amplifiée par l'arrivée des nouvelles technologies et des approches ergonomiques. Cette appropriation du questionnement psychologique par la didactique n'a pas conduit à un nouveau courant pédagogique prescriptif, mais à des didactiques des disciplines qui admettent la multi-dimensionnalité de leurs objets sans

renoncer à leurs études. On a vu apparaître des points de vue intégratifs et argumentés. Il en est ainsi de la théorie des champs conceptuels de G. Vergnaud où le concept est un triplet à la fois défini par ses dimensions opératoires, situationnelles et sémiotiques (Vergnaud, 1991). De même pour le point de vue d'A. Tiberghien, où les activités de modélisation mettent en jeu une articulation entre le niveau théorique, le niveau du modèle et celui du champ expérimental, à l'intérieur desquels on retrouvera les principes causaux, les relations mathématiques et les représentations symboliques, ainsi que les expressions du langage naturel (Tiberghien, 1994).

Sur le plan empirique, une majorité d'études a été consacrée à des notions introduites très tôt dans les cursus scolaires (primaire et secondaire). L'exemple des structures additives nous apparaît particulièrement parlant par sa simplicité apparente, révélant en fait une articulation des dimensions causales (ou temporelles) et opératoires (Vergnaud, 1981). Les difficultés conceptuelles révélées mettent en exergue le constat de Simon pour qui l'antipathie pour les mathématiques n'apparaît pas avec les premiers apprentissages du calcul mais avec les premiers énoncés de problèmes (Simon cité par Julo, 1995). Dit autrement, les difficultés conceptuelles apparaissent avec les premières formalisations de situations concrètes pour lesquelles l'expérience pense encore avoir son mot à dire (Bachelard, 1938). Cette résistance de la pensée commune (ou naturelle) a été l'objet de nombreuses études en didactique de la physique sur les conceptions naturelles (Viennot, 1995). Ces premières formalisations apparaissent en sciences physiques, dès le collège, dans trois domaines importants et en association avec un formalisme graphique précis :

– tout d'abord en électricité, où l'expérience commune, pourtant bien éloignée de l'étude des circuits électriques, impose son flot de raisonnement séquentiel (Closset, 1989) et d'analogies structurantes (Gentner & Gentner, 1983), en association avec le formalisme du schéma de principe (Johsua & Dupin, 1989). Ce dernier, fidèle à sa nature sémiotique, joue son rôle de support et d'apport au raisonnement. En effet, le schéma de principe, s'il permet une lecture « *simple* » (Johsua & Dupin, 1993, p. 316) du montage physique correspondant, apporte avec lui des lectures prototypiques. Ces dernières pouvant être de nature métaphorique, avec l'importation de propriétés d'autres systèmes (analogie aux circuits hydrauliques, à l'écoulement d'une foule, à une voie ferrée, etc.), ou géométriques, avec l'accentuation des propriétés syntaxiques propres au formalisme (forme générale du schéma ou d'une de ses parties, symétrie apparente, taille respective des éléments, etc.) ;

– ensuite, en optique (Viennot, 1995) avec la difficulté du « rayon lumineux » si facilement matérialisé dans les schématismes géométriques. Dès lors, quand on sait la tendance à réifier, on sent la pente glissante.

Rappelons la recherche de Lerouge (1993) où il est demandé si deux droites ont un ou plusieurs points d'intersection, et cela à partir de représentations de droites se coupant selon des angles différents. Le cas d'orthogonalité ne pose pas de problèmes aux élèves de 3^{ème}, mais pour un angle suffisamment plat on relève jusqu'à 57 % de réponses erronées dans lesquelles les deux droites partagent plusieurs points. Ce résultat est interprété comme une contagion du signifié mathématique par le signifiant graphique, pour lequel les lignes tracées se chevauchent effectivement d'autant plus que l'angle se rapproche de 180°. Une droite n'est pas une ligne et un « [...] *rayon lumineux n'est pas un objet matériel* » (Viennot, 1995, p. 26). Pourtant, les « rayons de construction », outils géométriques de construction des images en optique, peuvent changer de statut et devenir des éléments constitutifs de l'image. C'est parfois le cas dans les expériences mettant en jeu des lentilles et des caches, ce qui provoque la disparition abusive de tout ou partie de l'image (Viennot, 1995) ;

– enfin, en mécanique, où la référence à des situations réelles est évidente, parfois soulignée par l'enseignement, et tout aussi source de « dérapages conceptuels ». Nous rappelons à ce sujet les propos virulents de Bachelard : « *On répugne à faire violence au « sens commun ». Et dans les méthodes d'enseignement élémentaire, on recule comme à plaisir, les heures d'initiations viriles, on souhaite garder la tradition de la science élémentaire, de la science facile ; on se fait un devoir de faire participer l'étudiant à l'immobilité de la connaissance première.* » (Bachelard, 1953, p. 213). Le côté dynamique de ces problèmes de mécanique renforce d'autant plus la référence à un réel temporalisé, mis en évidence par Viennot (1979) avec l'adhérence force-vitesse (i.e. un amalgame entre ces deux grandeurs, voir page 94), et intimement lié à l'idée de cause (Piaget, 1971 ; Ogborn, 1993). On sait donc que, dans ce domaine de la mécanique, les explications, débordées par la pensée naturelle, peuvent vite devenir confuses. Cela est d'autant plus vrai que les représentations graphiques associées sont, de prime abord, moins abstraites qu'en électricité ou en optique : on rencontre, au gré des pages des manuels de physique, des illustrations colorées, semblables à celles des bandes dessinées, et sur lesquelles des forces sont accolées. Pourtant, derrière cette simplicité apparente, il y a, en plus du juste choix des forces, la nécessité de maîtriser le formalisme vectoriel (direction, sens, norme) et le point d'application (centre de gravité, centre de poussée).

Donc, cette maîtrise des formalismes peut être, au collège, une difficulté importante, d'autant qu'elle prend parfois, par rapport à l'enseignement de la discipline, le statut de notion implicite (Chevallard, 1985). Dès lors, on est en droit de se demander si le schéma en dynamique élémentaire n'apporte pas avec lui, comme le schéma de principe en

électricité ou les « rayons de construction » en optique, sa propre logique de raisonnement, risquant de biaiser les acquisitions en cours.

Ce questionnement nous a conduit à imposer le format graphique à de jeunes élèves aux prises avec un des premiers problèmes de mécanique où deux forces, la poussée d'Archimède et le poids, entrent en jeu. Nous nous intéressons tout autant au format de la réponse apportée qu'à la réponse elle-même, et ce, en passant par les interrogations suivantes :

– 1. Tout d'abord nous voudrions vérifier si, en utilisant la forme graphique, les sujets se centrent tout aussi fortement sur l'explication du mouvement, c'est-à-dire si l'on peut retrouver (et sous quelle forme) une adhérence force/vitesse ;

– 2. Nous voulons ensuite observer le formalisme graphique choisi par les sujets : correspond-il aux conventions graphiques adoptées à ce niveau scolaire ? En quoi s'en écarte-t-il ?

– 3. Ensuite, peut-on dégager des liens entre formalisme graphique et explication causale ? Le formalisme gêne-t-il l'élaboration de la réponse ? Ces deux axes sont-ils indépendants ?

– 4. Enfin, peut-on, à travers les réponses exprimées, dégager les principes causaux qu'utilisent les sujets pour expliquer le phénomène décrit dans l'énoncé ? Quels sont-ils ?

2. LE CADRE DE L'ÉTUDE PRINCIPALE

2.1. Procédure et sujets

Nous avons réalisé en 1999 une enquête sur les conceptions que les enfants ont de la poussée d'Archimède. Ce recueil d'informations a eu lieu auprès d'élèves de troisième (97 élèves répartis dans 5 classes) dans la semaine qui suivait la fin de l'enseignement sur la poussée d'Archimède. Il s'agissait, pour ces élèves, de compléter un questionnaire comportant dix exercices sur la poussée d'Archimède (voir la note à la fin de l'article). Ce questionnaire fut rempli dans le cadre du cours de sciences physiques sous la surveillance de l'enseignant et, le cas échéant, de l'auteur. Le temps imparti était d'une heure et permettait à tous les élèves de rendre un questionnaire qu'ils jugeaient complet. Par ailleurs, plusieurs versions de ces questionnaires furent proposées, ces versions se distinguant par l'ordre des exercices (aucun effet d'ordre n'a été relevé).

Quatre exercices nécessitaient la réalisation d'un calcul ; deux exercices consistaient en des questions de type « vrai/faux », relevées dans des manuels scolaires, et portant sur les déterminants de la poussée d'Archimède ; deux exercices consistaient en des explorations expérimentales sur des dimensions spatio-temporelles de situations mettant en jeu la poussée d'Archimède (dont nous ne parlerons pas ici) ; un exercice était une question ouverte sur la flottaison ; enfin, nous proposons un exercice de production graphique.

2.2. L'exercice de production graphique

L'exercice dont il sera principalement question ici est un exercice classique de production graphique en sciences physiques, où il s'agit de tracer les forces agissant sur des solides : « *Deux corps de même volume sont lâchés sous l'eau. L'un remonte vers la surface, l'autre s'enfonce. Représentez toutes les forces qui agissent sur ces deux corps.* »

Il était accompagné d'une représentation (à compléter) d'un récipient rempli. La représentation correcte attendue est présentée à la figure 1 (sans le nom des forces). Elle correspond aux connaissances supposées des élèves et, sur le plan du formalisme graphique, aux conventions adoptées en 3^{ème} pour les problèmes de mécanique :

- une force est représentée par un vecteur ancré au centre de gravité du corps pour le poids et au centre de poussée pour la poussée d'Archimède (centres non différenciés, en 3^{ème}, pour les solides homogènes) ;

- ce vecteur est orienté suivant la direction et le sens de la force, sa norme en représente l'intensité.

La force « poids », P , est définie par la masse, m , et la constante de gravitation, g , dans la relation $P = m.g$. Cette relation peut être vectorialisée, le vecteur g pointant vers le centre de gravité du globe terrestre, ce qui correspond approximativement à la verticale, dans le sens haut-bas.

La force « poussée d'Archimède », P_a , est définie par la masse volumique du liquide ρ_1 , le volume du liquide déplacé, V_1 , et la constante de gravitation, g , dans la relation $P_a = \rho_1.V_1.g$, ce qui correspond au poids du liquide déplacé. Cette relation peut être vectorialisée, auquel cas un signe moins s'insère, la poussée d'Archimède s'exerçant dans la même direction que le poids mais en sens contraire.

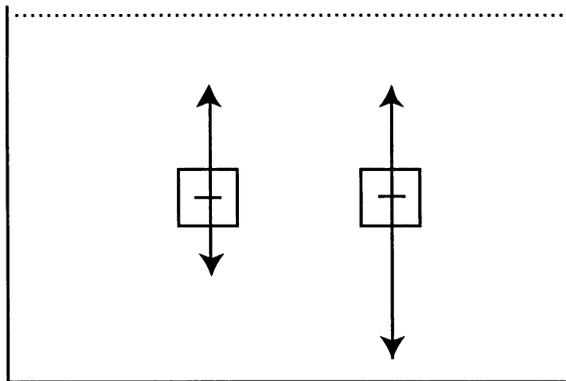


Figure 1 : **Solution attendue**

La poussée d'Archimède subie par un corps complètement immergé dépend donc de son volume et de la nature du liquide. Ici, deux solides de même volume, immergés dans un même liquide, subissent la même poussée d'Archimède. Puisque, lâchés sans vitesse initiale, le premier corps remonte vers la surface alors que le second coule, ces deux corps ne subissent pas la même force « poids ».

Les connaissances (hors formalisme graphique) nécessaires à la résolution de ce problème sont les suivantes :

- C1. Un corps immergé subit la poussée d'Archimède, qui s'exerce de bas en haut ;
- C2. Un corps qui appartient au champ gravitationnel subit le poids, qui s'exerce de haut en bas ;
- C3. La poussée d'Archimède dépend du volume du corps et de la nature du liquide dans lequel il est immergé. On en déduit (ou l'on connaît seulement) la règle suivante : « *Même volume dans même liquide donne même poussée d'Archimède* » ;
- C4. Un solide lâché sans vitesse initiale se déplace dans le sens de la résultante des forces qu'il subit.

Nous avons testé les connaissances déclaratives C1, C2 et C3 dans un autre exercice du questionnaire (donc sur les mêmes sujets) à l'aide de questions « vrai/faux ». Les affirmations proposées et les résultats correspondants sont les suivants :

- Q1 : « *Sur un corps entièrement immergé, la poussée d'Archimède s'exerce verticalement de bas en haut* » – « vrai » pour 87,6 % des sujets ;

– Q2 : « *Un corps qui appartient au champ gravitationnel subit le poids, qui s'exerce de haut en bas* » - « vrai » pour 94,6 % des sujets ;

– Q3 : « *La poussée d'Archimède dépend du volume de l'objet* » et « *La poussée d'Archimède dépend de la nature du fluide* » - « vrai » et « vrai » pour 70,1 % des sujets.

Quant à la connaissance C4, nous l'avions, elle aussi, testée dans un exercice exploratoire se rapprochant d'un jeu de prédictions que nous n'exposerons pas ici (sur ce point voir « 3. Résultats et interprétations »).

2.3. Analyse a priori

En dehors de productions marginales, les aspects potentiels des réponses se définissent par les dimensions que les sujets peuvent manipuler dans les schémas et qui sont les suivantes :

- type de vecteur (flèche pointant vers le solide, depuis le solide, groupe de flèches) ;
- présence de vecteurs horizontaux (ou « poussées latérales ») ;
- nombre de vecteurs verticaux (par solide) ;
- type de variation d'un solide à l'autre (inversion ou allongement ou suppression d'un vecteur).

Le nombre de vecteurs verticaux et le type de variation entre les deux solides sont directement liés à l'explication causale du phénomène : si ce nombre n'est pas le bon, la représentation est nécessairement fautive ; de même si le type de variation n'est pas correct la réponse est fautive. Néanmoins des réponses correctes sur ces deux seules dimensions devraient permettre à l'élève d'exprimer oralement la réponse attendue. Le type de vecteur est lié au formalisme : on peut en effet produire une représentation correcte des forces qui s'exercent sur l'objet en posant une autre convention graphique. La présence de vecteurs horizontaux est à la fois liée au formalisme et à l'explication causale, mais est indépendante de la dimension verticale : la présence de vecteurs horizontaux est une erreur ; néanmoins, la représentation peut être exacte dans sa dimension verticale.

Nous détaillons ci-dessous les aspects potentiels des réponses.

2.3.1. Type de vecteur

Nous parlerons de vecteur « pression » lorsqu'il y a des groupes de petites flèches pointant vers une face du corps (figure 2a). Un groupe de petites flèches est compté pour un vecteur. Nous parlerons ensuite de

vecteur « poussée » pour une flèche pointant vers une face du corps (figure 2b). Enfin, nous parlerons de vecteur « force » pour une flèche partant du corps et pointant vers l'extérieur (figure 2c). L'ancrage d'un tel vecteur pouvant être fait sur le bord du corps ou à l'intérieur de celui-ci.

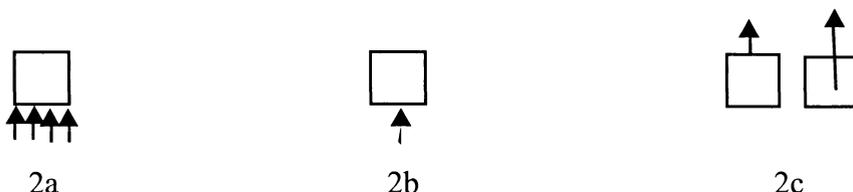


Figure 2 : Trois types de vecteurs : 2a « pression » ; 2b « poussée » ; 2c « force »

2.3.2. Orientation et nombre de vecteurs

Pour l'orientation nous étudierons de manière détaillée les vecteurs verticaux qui sont déterminants dans cet exercice. Quant aux vecteurs horizontaux, nous ne distinguerons que la présence ou l'absence de ceux-ci (voir figure 3). Pour la réponse correcte aucun vecteur horizontal ne doit apparaître.

Le nombre de vecteurs verticaux par solide peut être de 1, de 2 ou de plus. Deux vecteurs sont nécessaires à l'expression de la bonne réponse. Tous les cas sont présentés en même temps que les types de variations dans les paragraphes suivants.

2.3.3. Types de variation des vecteurs d'un corps à l'autre

Afin de ne pas alourdir cette présentation des aspects potentiels des réponses, nous ne présentons que les solutions pertinentes vis à vis du mouvement à expliquer (un corps monte, l'autre descend). Nous reviendrons sur ce point dans la partie « 3. Résultats et interprétations ».

Cas « un vecteur »

Pour les cas où un seul vecteur est utilisé, une seule variation d'un solide à l'autre est possible. C'est l'inversion du vecteur utilisé (exemple : corps A avec poussée vers le haut, corps B avec poussée vers le bas) et cela avec ou sans variation quantitative.

En fonction du type de vecteurs, et des vecteurs horizontaux, il existe 6 possibilités (figure 3), auxquelles il faut rajouter les représentations mixtes qui mélangent les types de vecteur (exemple : vecteur « poussée » pour le premier solide et vecteur « force » pour le second).

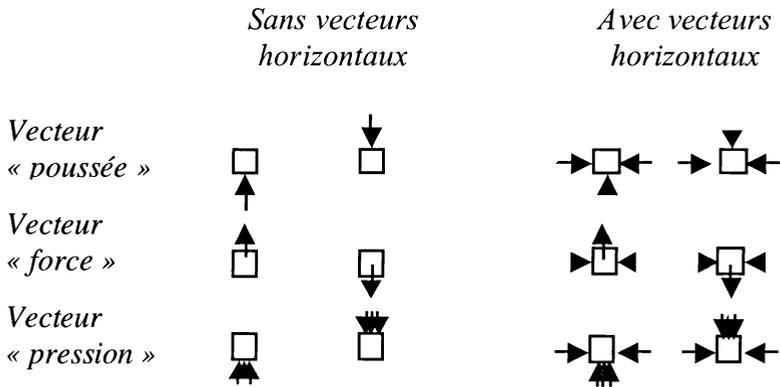


Figure 3 : **Inversion « un vecteur » (trois types de vecteur et présence/absence de vecteurs horizontaux)**

Cas « deux vecteurs »

Pour les cas où deux vecteurs sont utilisés, seuls quatre types de variation peuvent expliquer le mouvement. Le corps subit, soit deux forces allant dans le même sens, soit deux forces opposées d'intensité différente. On sépare les cas d'inversion, qui correspondent au changement de sens d'une force d'un corps à l'autre sans changement d'intensité, et les cas de variation qui correspondent à un changement d'intensité. Le seuil choisi pour juger d'un changement d'intensité correspond à une variation graphique de plus d'un centimètre.

1. L'**inversion simple** pour laquelle la force la plus importante (en intensité) est inversée. On peut toujours rencontrer plusieurs variations en fonction du type de vecteur (dont des cas mixtes) et de la présence/absence de vecteurs horizontaux. Nous ne donnons plus une représentation de tous les cas possibles comme à la figure 3, mais seulement un exemple (figure 4a).

2. La **double inversion** pour laquelle les deux forces sont inversées (figure 4b).

3. La **covariation** pour laquelle un vecteur s'allonge alors que l'autre se réduit (figure 4c).

4. La **variation simple** pour laquelle un vecteur subit une variation quantitative (réduction ou allongement), alors que l'autre est inchangé. La bonne réponse prend place dans cette catégorie (figure 4d).

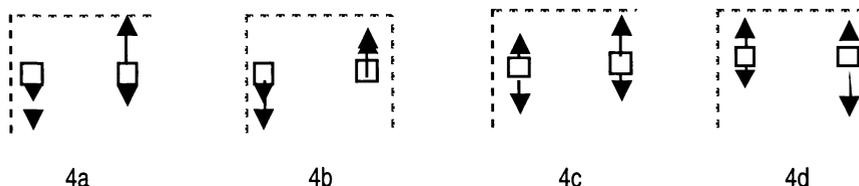


Figure 4 : Exemples pour les types de variation à deux vecteurs avec des vecteurs « force » : 4a « inversion simple » ; 4b « double inversion » ; 4c « covariation » ; 4d « variation simple »

Autres cas

Nous ne détaillons pas les aspects potentiels des réponses mettant en jeu plus de 2 vecteurs verticaux, ni les cas où le nombre de vecteurs verticaux varie d'un solide à l'autre par la suppression ou l'ajout d'un vecteur (voir « 3. Résultats et interprétations »).

3. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Sur les 97 élèves interrogés dans cette étude, nous avons dénombré 10 non-réponses et 10 réponses marginales. Ces dernières représentaient des ressorts (4 réponses rappelant la traditionnelle mesure de la valeur de la poussée d'Archimède à l'aide d'un dynamomètre), des trajectoires (3) ou des corps seuls (3). Nous avons classé les 77 réponses dans le tableau 1. Ce tableau est la réduction de l'ensemble des réponses potentielles, telles qu'elles viennent d'être présentées selon les différentes variables dans l'analyse *a priori*, aux réponses observées.

Nous présentons ces résultats dans les paragraphes qui suivent en reprenant les quatre interrogations soulevées en introduction.

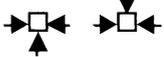
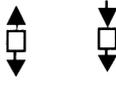
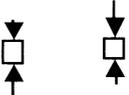
			Vecteur « pression »	Vecteur « poussée »	Vecteur « force »	Totaux	
Un vecteur (Inversion) 		Sans vecteurs horizontaux	3	8	4	15	35 %
		Avec vecteurs horizontaux	1	<u>10</u>	1	12	
Deux vecteurs	Inversion simple 	Sans vecteurs horizontaux	0	<u>5</u>	5	6 %	9 %
		Avec vecteurs horizontaux	0	2	2	3 %	
	Covariation 	Sans vecteurs horizontaux	2	<u>12</u>	5	19	43 %
		Avec vecteurs horizontaux	4	10	0	14	
	Variation simple 	Sans vecteurs horizontaux	0	1	<u>3</u>	4	8 %
		Avec vecteurs horizontaux	0	2	0	2	
Trois vecteurs			1	0	3	4	5 %
Totaux			11	43 56 %	16 21 %	77	100 %
				7 soit 9 % mixtes			

Tableau 1 : Réponses au problème des deux corps immergés : types, effectifs et pourcentages des schémas avec une explication vectorielle (les schémas à gauche correspondent aux cas majoritaires, dont les effectifs sont soulignés, pour l'inversion, l'inversion simple, la covariation et la variation simple ; la case grisée correspond à la solution attendue)

3.1. Première interrogation : l'explication du mouvement

Dans l'analyse *a priori* nous nous étions limités à la présentation des aspects potentiels des réponses pertinentes vis à vis des mouvements à expliquer. Les résultats justifient cette limitation : toutes les réponses vectorielles exprimées (indépendamment du nombre de vecteurs utilisés) expliquent le mouvement, c'est-à-dire que l'addition des vecteurs représentés correspond, en sens et en direction, au mouvement de chaque solide.

Bien sûr, pour les représentations à un seul vecteur, on peut s'interroger, malgré la consigne, sur le sens à donner à ce vecteur : s'agit-il d'une volonté de représenter une force résultante ou plutôt de représenter directement le déplacement de l'objet décrit dans l'énoncé ? En d'autres termes, il peut tout aussi bien s'agir d'une description du mouvement (la représentation d'une vitesse) que d'une explication de ce mouvement (représentation d'une force). Le nom des forces est très rarement précisé (15 % des réponses), et aucune représentation n'indique expressément un vecteur vitesse. Par ailleurs, sur le plan du formalisme, on observe des variations sur les types de vecteur (vecteur « pression », vecteur « poussée » ou vecteur « force »). Ces indices ne nous permettent donc pas de conclure. Néanmoins, toujours sur le plan du formalisme, la proportion importante (45 %) de schémas dans lesquels on trouve des vecteurs horizontaux qui s'ajoutent à ce vecteur isolé n'est cohérente qu'avec une interprétation en termes de forces.

Il y a, dans cette univocité de l'explication du mouvement, une contradiction troublante avec l'incapacité à produire la solution correcte : sur les 50 élèves qui représentent plusieurs forces, 6 seulement produisent des forces verticales correctes (8 % des réponses totales – voir tableau 1). Quant aux élèves qui se contentent d'un seul vecteur, ils déclarent pourtant, à 89 %, que le solide devrait subir deux forces (croisement des connaissances C1 et C2 pour ces élèves). Dès lors, il semble que l'élève s'engage dans la résolution du problème avec l'explication du mouvement comme premier objectif, qui primerait en particulier sur l'expression des forces en présence.

Cette importance de l'explication du mouvement peut faire penser à l'adhérence force-vitesse, bien qu'il soit impossible de la mettre en évidence ici (les solides étant initialement au repos, la correspondance « résultante des forces/vitesse » est juste). En effet, ce raisonnement intuitif a, d'après Viennot, les caractéristiques suivantes.

« – *S'il existe une vitesse ou une composante de vitesse dans une direction donnée, alors il existe une force de même direction. [...]*

– *Si la vitesse d'un mobile est nulle, la force exercée sur ce mobile est nulle aussi. [...]*

– *Si les vitesses sont différentes en direction et/ou en module, ou plus généralement si les mouvements de deux mobiles sont différents, alors les forces exercées sur ces mobiles sont différentes.* » (Viennot, 1979, pp. 25-28).

La première caractéristique peut expliquer l'importance surprenante des réponses à un seul vecteur. La dernière caractéristique peut expliquer, quant à elle, la difficulté que nous observons chez les élèves à ne pas faire varier la poussée d'Archimède entre les deux solides (voir « 3.4. Quatrième interrogation : les explications causales »).

3.2. Deuxième interrogation : le formalisme graphique

Les conventions graphiques sont très peu respectées et donnent pour les types de vecteur les résultats qui suivent (voir tableau 1).

Il n'y a que 21 % de vecteurs « force », et ceux-ci sont pour la plupart ancrés sur le bord du corps. Il y a 14 % de vecteurs « pression » et 56 % de vecteurs « poussée ». Néanmoins, les types de vecteurs sont utilisés de manière très cohérente. En effet, on ne compte que 9 % de représentations mixtes mélangeant vecteur « force » et vecteur « poussée » (voir dans le tableau 1 les deux cases fusionnées). De plus, ces cas mixtes apparaissent tous dans le cas d'inversion à deux vecteurs où le format graphique est en contradiction avec l'explication causale (voir « 3.3. Troisième interrogation : formalisme et explication causale »).

Une première interprétation de la prévalence des représentations utilisant des vecteurs « poussée » (56 %) tiendrait dans le terme même de « poussée d'Archimède ». Si le langage parle de « poussée », pourquoi pas les représentations graphiques ? On sait l'importance que le langage peut prendre dans les constructions de concepts en physique (Collet, 1997). Nous avons donc mené une étude similaire auprès de 50 élèves de la même population. La tâche consistait simplement à tracer les forces qui s'exercent sur un corps en chute libre (poids). Aucun vecteur de type « poussée » n'est apparu. L'utilisation de vecteurs « poussée » ne semble donc pas de l'ordre d'un formalisme décontextualisé que les élèves auraient adopté préférentiellement aux vecteurs « force », mais semble plutôt liée à la nature du phénomène étudié.

En dehors d'une interprétation linguistique, ce résultat est cohérent avec une autre vue théorique liée à l'ontologie des forces. En effet, si la causalité se construit sur la notion égocentrique d'agent actif (Piaget, 1937 ;

Ogborn & Bliss, 1990), alors la représentation d'une force est d'abord (i.e. tant que cette construction est satisfaisante pour le sujet) construite par anthropomorphisme, comme l'action d'un « quelque chose » sur un autre « quelque chose ». Ainsi, deux objets se tirent et se poussent plus volontiers qu'ils n'exercent une force l'un sur l'autre (Viennot, 1995) : un objet en chute libre ne sera, dès lors, non pas poussé vers la terre par quelque chose, mais tiré par la terre (acteur) vers elle (représentation de type vecteur « force » : flèche partant de l'objet et pointant vers la terre). Inversement un corps immergé ne sera pas tiré par l'air, mais poussé par l'eau (acteur) vers la surface (représentation de type vecteur « poussée »). Notons, à propos de la force de pesanteur, que des résultats plus nuancés que le nôtre, qui a été obtenu après l'enseignement relatif au poids, ont été relevés. Ils mettent en évidence des conceptions variées dans lesquelles on trouve des actions de « *quelque chose qui est en dessous* » – des « tractions » –, mais aussi des actions de « *quelque chose qui le pousse d'en haut* » – des « poussées » – (Lemeignan & Weil-Barais, 1993, p. 95).

Quant aux vecteurs horizontaux, qui sont toujours de type « poussée » ou « pression », ceux-ci apparaissent dans 40 % des cas (le chiffre n'apparaît pas directement dans le tableau 1, mais est facilement obtenu par addition). Un grand nombre de représentations est donc faussé par la présence de ces vecteurs horizontaux et cela dans tous les types d'explication. Mais il est essentiel de noter encore une fois que ces vecteurs horizontaux sont utilisés de manière très cohérente avec le reste de la représentation et, en particulier, avec le type de vecteur. En effet, comme le montre le tableau 2, les élèves choisissent un formalisme et s'y tiennent (les chiffres entre parenthèses sont toujours la conséquence des deux cases fusionnées dans le tableau 1). Un test du χ^2 (l'effectif théorique minimum de 5,52 rend ce test valide) pour le tableau 2 donne (χ^2 (ddl=1) = 7,99, $p < .01$).

	Avec vecteurs horizontaux	Sans vecteurs horizontaux
Poussée ou pression (verticalement)	27 (29 max.) <i>Cohérence sémiotique</i>	26 (31 max.) <i>Cohérence sémiotique</i>
Force (verticalement)	1 (3 max.) <i>Incohérence sémiotique</i>	12 (17 max.) <i>Cohérence sémiotique</i>

Tableau 2 : Effectifs pour la cohérence sémiotique entre les vecteurs horizontaux et verticaux (entre parenthèses les effectifs maximums avec l'inclusion des cas mixtes)

Une interprétation du nombre important de vecteurs horizontaux, et des vecteurs « pression », mais aussi des vecteurs « poussée » tient à l'explication de la poussée d'Archimède comme résultante des forces de pression (figure 5).

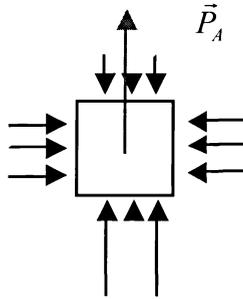


Figure 5 : **Représentation de l'explication de la poussée d'Archimède comme résultante des forces de pression**

On voit que ce schéma utilise des poussées latérales (vecteurs horizontaux) et des vecteurs « pression ». Nous avons pu montrer dans une autre partie de cette étude (non publiée) que les représentations par les vecteurs « poussée » ou « pression » sont significativement plus nombreuses pour les classes où le schéma explicatif de la poussée d'Archimède est présenté en cours : 46 % des élèves des classes où le schéma n'est pas présenté utilisent des représentations avec des vecteurs « force », contre 13 % des élèves des autres classes (pour toutes ces classes le schéma explicatif de la poussée d'Archimède figurait dans le manuel scolaire).

3.3. Troisième interrogation : formalisme et explication causale

Nous avons déjà remarqué l'importance des réponses à un seul vecteur (35 %) et souligné que ces réponses étaient en contradiction avec les connaissances exprimées des élèves. Comme nous l'avions énoncé dans l'analyse *a priori*, les possibilités de variation entre les deux solides se réduisent dans ce cas à l'inversion du vecteur. Mais nous notons que dans 100 % des cas, il s'agit d'inversion avec déplacement du vecteur, c'est-à-dire avec la conservation du type de vecteur (voir tableau 1). Le formalisme adopté par l'élève est donc respecté.

Les représentations à deux vecteurs concernent 60 % des réponses. Elles se répartissent dans trois des quatre types de variations présentés dans l'analyse *a priori* : 9 % sont des inversions simples, 43 % des covariations et 8 % des variations simples (voir tableau 1).

Nous notons l'absence de cas de double inversion qui, rappelons-le, implique la superposition de vecteurs. L'absence de ces cas de double inversion est, pour plusieurs raisons, très parlante. D'abord, nous n'avons trouvé *a priori* aucune raison, au niveau de l'explication causale, pour que le cas de double inversion soit absent. Ensuite, les cas d'inversions simples sont tous sans déplacement du vecteur, et donc, là aussi, vierges de toute superposition de vecteurs. Toutefois, ces inversions sans déplacement du vecteur conduisent obligatoirement à des représentations mixtes du point de vue du type de vecteur : le vecteur étant inversé sans être déplacé, il change de type (les vecteurs « force » deviennent des vecteurs « poussée », et inversement – voir figure 6). Enfin, ces représentations mixtes sont les seules réponses où le formalisme choisi par l'élève n'est pas respecté.

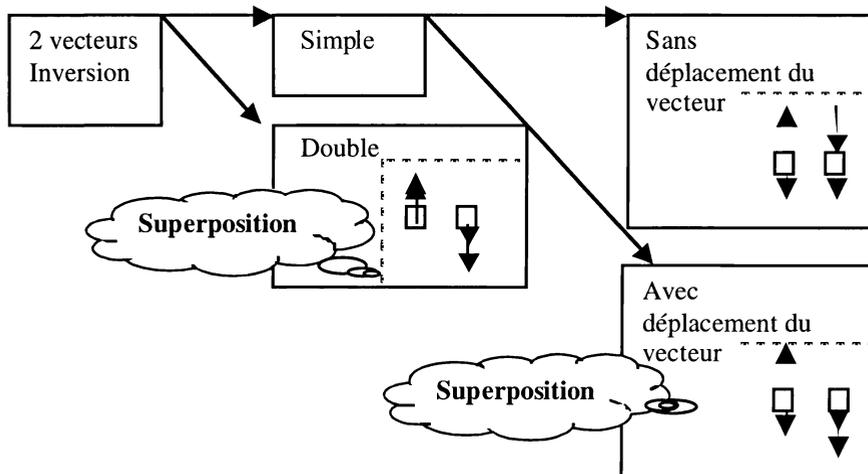


Figure 6 : L'évitement des superpositions de vecteurs dans les cas d'inversions à deux vecteurs, impasse conduisant au cas mixte (qui mélange vecteurs « force » et « poussée »)

On peut donc émettre ici l'hypothèse d'un évitement des superpositions, qui conduirait les élèves à une alternative délicate pour toutes les situations d'inversions à deux vecteurs. Ils devraient alors choisir entre la superposition (rejetée) et la mixité du type de vecteur (préférée) (voir figure 6). Cette dernière solution correspondant aux seuls cas où la cohérence sémiotique des représentations est bafouée. Enfin, cette impasse des inversions à deux vecteurs pourrait expliquer la préférence donnée

aux représentations à un vecteur, ou à la covariation pour les représentations à deux vecteurs. La dominance du cas de covariation est aussi interprétée dans les parties suivantes.

Nous ne présentons pas les quatre représentations qui mettent en jeu trois vecteurs, et dont nous n'avons pas détaillé les formats possibles dans l'analyse *a priori*.

3.4. Quatrième interrogation : les explications causales

Le lecteur aura remarqué que nous n'avons pas développé dans l'analyse *a priori* les aspects potentiels des réponses pour lesquelles le nombre de vecteurs aurait varié d'un solide à l'autre. Ce développement aurait été particulièrement lourd et nous avons choisi, *a posteriori*, de ne pas le présenter. En effet, aucun cas de ce type n'est apparu. Cela montre, une fois de plus, une certaine cohérence des réponses d'élèves. Ils semblent considérer, à juste titre, que les solides, placés dans des conditions similaires, subissent le même nombre de forces. En cela, les élèves n'apparaissent pas être perturbés par le mouvement.

Les résultats sur les variations d'un solide à l'autre (inversion « un vecteur », inversion simple « deux vecteurs » etc.), que nous avons déjà entrevus au point précédent, nous semblent montrer une structure intéressante. Nous avons tenté de voir, en utilisant la démarche suivante, dans quelle mesure le niveau scolaire les prédisait. Nous avons relevé les moyennes trimestrielles des élèves en physique. Puis nous avons affiné cette variable en en dégrèvant l'effet de la classe. Enfin, nous avons discrétisé ces résidus en trois modalités. Nous avons ainsi obtenu une variable ordinale « niveau en physique » séparant les élèves en « faibles », « moyens » et « bons ». Puis nous avons construit un tableau croisé avec, en colonne, cette variable et, en ligne, les types de variations, en excluant les productions à trois vecteurs (4 élèves).

		Niveau en physique			Totaux
		Faible	Moyen	Bon	
Type de variation d'un solide à l'autre	Non-réponses et réponses marginales	11	6	3	20
	Inversion, un vecteur	12	13	2	27
	Inversion simple, deux vecteurs	0	4	3	7
	Covariation, deux vecteurs	7	8	18	33
	Variation simple, deux vecteurs	1	1	4	6
	Totaux	31	32	30	93

Tableau 3 : **Tableau croisé (effectifs) : type de variation d'un solide à l'autre * Niveau en physique**

La faiblesse des effectifs ne nous autorise pas à réaliser un test du χ^2 . Nous disposons bien d'autres tests pour les tableaux croisant des variables nominales (le Lambda et le Tau de Goodman & Kruskal seraient ici pertinents). Mais nous pouvons aussi émettre l'hypothèse d'un ordonnancement des types de variations. De manière abrupte, on peut considérer les différentes variations comme une évolution du qualitatif au quantitatif, qui dénoterait une maîtrise opératoire. Cela s'articulant, comme suit, avec la nécessité d'intégrer les deux forces connues (poids et poussée d'Archimède), même si cette intégration doit compliquer l'élaboration de la solution et en particulier l'explication du mouvement :

- 1. Non-réponses ;
- 2. Inversion (1 vecteur) : changement du sens de la force ;
- 3. Inversion (2 vecteurs) : changement du sens d'une seule force ;
- 4. Covariation (2 vecteurs) : changement quantitatif de toutes les forces ;
- 5. Variation « un vecteur » (2 vecteurs) : changement quantitatif de la seule force nécessaire.

On peut, dans cette hypothèse, utiliser le d de Somer, qui testera ici la prédiction des types de variations par le niveau scolaire. Cette statistique nous donne : d de Somer = .40, $p < .001$.

On peut lire dans le tableau 3 cette évolution des types de variations en fonction du niveau en physique (les cases grisées correspondent aux valeurs maximales en ligne). Interprétons maintenant plus précisément cette évolution des variations.

Le passage des cas de non-réponse à l'inversion à un vecteur dénote une différence qualitative indubitable. De même, le passage de la représentation à un vecteur aux représentations à deux vecteurs, correspond à l'intégration des forces connues. Cela se fait d'abord sur la base de l'inversion à un vecteur : on obtient l'inversion simple à deux vecteurs. Mais cette variation, on l'a vu, conduit à une incohérence du formalisme. Elle ne concerne que peu d'élèves, et peut être considérée comme transitoire. Dès lors, il ne reste plus que deux possibilités, qui impliquent le passage au quantitatif : la covariation et la variation simple. C'est la covariation, majoritairement choisie, qui correspond au palier suivant. Tout d'abord, on pourrait dire naïvement que ce cas permet d'expliquer « deux fois plus » le phénomène. Mais, il nous apparaît surtout être lié à un principe de simplicité ou d'unité d'explication du phénomène, bien qu'à première vue un plus grand nombre de forces varie. En effet, à un niveau perceptif, un corps coule alors que l'autre va flotter. C'est toute la difficulté du phénomène de flottaison qui est d'abord perçu comme un phénomène unique, alors qu'il doit, pour être maîtrisé, être compris comme un rapport entre deux forces (Guillaud, 1992 ; Robardet & Guillaud, 1997). La conception unitaire du phénomène est cohérente avec d'autres résultats trouvés sur la poussée d'Archimède :

- les élèves déclarent que la poussée d'Archimède dépend du poids de l'objet, mélangeant poussée d'Archimède et flottaison (question « vrai/faux » de notre questionnaire : « *La poussée d'Archimède dépend du poids de l'objet* », « vrai » pour 49,5 % des sujets) ;

- les élèves donnent une explication du phénomène de flottaison par une caractéristique du corps (analyse de la question ouverte de notre questionnaire : « *Pourquoi, dans l'eau, seuls certains corps flottent ?* », 40 % des sujets répondent par une caractéristique du corps) ;

- l'obstacle substantialiste (Bachelard, 1934), que l'on retrouve aussi dans les expressions du langage courant, amène à parler d'une caractéristique de « flottabilité » (Guillaud, 1992).

Cette conception, associée à la nécessité de représenter les deux forces de poids et de poussée d'Archimède, induirait le raisonnement naïf suivant, qui ignore l'information d'égalité des volumes : il y a le corps qui flotte (mouvement ascendant) et le corps qui coule (mouvement descendant). Le corps qui flotte est un peu moins lourd et flotte mieux que

le corps qui coule, et inversement le corps qui coule est un peu plus lourd et flotte moins bien.

Évidemment ce raisonnement n'est qu'une supposition. Toutefois, nous avons dans la question ouverte du questionnaire (« *Pourquoi, dans l'eau, seuls certains corps flottent ?* ») des réponses qui se rapprochaient de ce raisonnement : « *Parce que les corps plus lourds flottent moins bien que les corps moins lourds* », élève de 3^{ème}.

L'appariement poids/poussée d'Archimède conduirait alors à la covariation. Ou encore, pour le dire en termes causaux : on a une cause unique et s'il faut malgré tout représenter la flottaison comme un rapport de deux forces subies par l'objet (on en a noté plus haut les réticences), alors elles covarient. Ces différents arguments rendraient le cas de variation simple plus difficile à produire, puisqu'il nécessite de découper le phénomène en deux causes distinctes et indépendantes.

4. CONCLUSION

L'analyse que nous avons menée met en évidence des résultats de prime abord très différents. Premièrement, nous relevons des résultats « bruts » : les élèves se centrent sur l'explication du mouvement. Ils ne respectent que minoritairement les conventions graphiques (21 % des vecteurs « force », pour la plupart mal ancrés). Ils font intervenir des vecteurs horizontaux, mélangeant deux niveaux d'explication du phénomène. Néanmoins, pour ce point précis, on pourrait trouver une explication à la lumière des schémas présentés en cours. Ils utilisent, pour plus d'un tiers, des représentations monovectorielles simplistes eu égard au problème posé. Enfin, sur 97 élèves, 3 seulement produisent la solution attendue. De là, à un cuisant constat d'échec pour l'enseignement, et toute la cascade de conclusions sur les élèves eux-mêmes qui s'ensuit généralement, il n'y a qu'un pas. Mais c'est un pas de trop.

En effet, dans un second temps, une analyse approfondie nous révèle d'autres résultats. Nous montrons une grande cohérence dans les productions d'élèves, qui invite à modérer le prime jugement. Cela validant d'ailleurs tout à fait le statut, fondamental, de l'erreur en didactique. Cette cohérence apparaît, en premier lieu, isolée dans les formalismes. Ainsi, on remarque une cohérence interne à la représentation graphique de chaque élève sur la dimension « type de vecteurs verticaux », qui n'est mise à mal que par 7 élèves (sur 77) et cela dans un cas bien particulier. Les élèves choisissent donc un formalisme et s'y tiennent. Le non-respect des conventions graphiques devrait-il être relu à la lumière de cette étonnante « rigueur naturelle » ? On note aussi une cohérence interne aux

représentations sur l'articulation des dimensions « type de vecteurs verticaux » et « vecteurs horizontaux ». Elle est d'autant plus remarquable que ces dimensions apparaissent, *a priori*, indépendantes. Enfin, la cohérence interne aux représentations se révèle encore dans l'explication du phénomène : quelle que soit l'explication choisie, le nombre de forces ne varie pas d'un solide à l'autre (alors que la suppression d'une force résoudrait, pour l'élève, bien des problèmes...)

Troisièmement, nous mettons en évidence des invariants entre les réponses d'élèves dans les explications causales du phénomène et cela en lien avec les formalismes. Il ne s'agit plus de cohérence interne à la production d'un élève, puisqu'on ne compare pas des dimensions appartenant à une même réponse, mais d'une cohérence des productions du groupe d'élèves. Ainsi, tous évitent les explications impliquant la superposition des vecteurs. Et toutes les productions, pour le cas d'inversion simple à deux vecteurs, sont des cas d'incohérence sémiotique du point de vue des types de vecteurs, et ce sont les seuls. Ces résultats sont des arguments pour une articulation consensuelle des formalismes avec les explications causales. Enfin, nous observons une prédiction des types d'explications par le niveau scolaire. Les interprétations de ce résultat sont principalement de nature causale et opératoire, mais les deux résultats précédents montrent que ces dimensions ne sont pas indépendantes du formalisme. Pour approfondir ce lien, il conviendrait de procéder à l'étude longitudinale des types d'explications afin d'en montrer l'ordonnancement, et cela corrélativement à l'étude des formalismes. Si nous retrouvions cet ordonnancement en « intra-élève », nous pourrions l'interpréter en termes d'étapes dans l'évolution vers la réponse correcte. Alors, on pourrait envisager que les situations d'incohérences sémiotiques (comme celle liée à l'inversion simple) soient elles-mêmes les déclencheurs de processus dialectiques conduisant à l'élaboration d'autres explications (comme la covariation). Ceci étant avancé en référence à la dynamique piagétienne selon laquelle « [...] *le moteur des différenciations [de notions ou structures causales] sont (donc) à chercher dans les processus dialectiques que provoquent les contradictions.* » (Piaget, 1971, p. 121).

Loin d'un constat d'échec, l'étude des productions graphiques de ces élèves nous révèle donc des dynamiques sous-jacentes cohérentes, et une causalité qui n'est pas figée, puisqu'elle s'articule avec des registres sémiotiques. Comme nous l'avons suspecté en introduction, le schéma en dynamique élémentaire joue son rôle de système de code, et impose ses règles à l'élaboration de la solution. On ne peut bien sûr pas qualifier ici son intervention en termes de pertes ou profits. Mais on insistera sur l'importance à accorder, dans l'enseignement, aux formalismes qui y sont utilisés : ils sont porteurs de sens.

NOTE

L'auteur tient à la disposition de tout lecteur souhaitant le consulter le questionnaire complet dont est extrait l'exercice de production graphique, objet du présent article.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mes collègues du laboratoire, et en particulier Erica De Vries pour ses lectures attentives des ébauches de cet article et pour la pertinence de ses conseils, ainsi que Jacques Baillé pour son soutien. Je remercie aussi les enseignants qui m'ont accepté sans hésitation au sein de leurs classes, et bien sûr les élèves desdites classes.

BIBLIOGRAPHIE

- BACHELARD G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique*. Paris, PUF.
- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin.
- BACHELARD G. (1953). *Le matérialisme rationnel*. Paris, PUF.
- CLOSSET J.-L. (1989). Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 716, pp. 931-950.
- CHEVALLARD Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble, La Pensée sauvage.
- COLLET G. (1997). Définition de règles d'appariement linguistiques pour l'analyse didactique d'une tâche de modélisation en physique. *Informations In Cognito*, n° 7, pp. 5-16.
- ECO U. (1999). *Kant et l'ornithorynque*. Paris, Grasset.
- GENTNER D. & GENTNER D.R. (1983). Flowing waters or teeming crowds : Mental models of electricity. In D. Gentner & A.L. Stevens (Éds), *Mental Models*. New-York, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 99-129.
- GUILLAUD J.-C. (1992). *Quelques aspects de l'expérimentation d'un contenu d'enseignement : cas de la poussée d'Archimède en classe de 3^{ème}*. Mémoire de D.E.A., Grenoble, Université Joseph Fourier.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : Le « débat scientifique » dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne, Peter Lang.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- JULO J. (1995). *Représentation des problèmes et réussite en mathématiques*. Rennes, Presses Universitaires de Rennes.
- KANT E. (1990). *Critique de la raison pure*. Paris, Gallimard.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris, Hachette.
- LEROUGE A. (1993). Contagion de signifiant et contagion de référence : sur la conceptualisation mathématique de l'intersection de deux droites. *Les sciences de l'éducation*, vol. 1-3, pp. 119-135.

- OGBORN J. & BLISS J. (1990). A Psycho-Logic of Motion. *European Journal of Psychology of Education*, vol. 5, n° 4, pp. 379-390.
- OGBORN J. (1993). Approche théorique et empirique de la causalité. *Didaskalia*, n° 1, pp. 29-47.
- PIAGET J. (1937). *La construction du réel chez l'enfant*. Neuchâtel, Delachaux & Niestlé.
- PIAGET J. (1947). *La psychologie de l'intelligence*. Paris, A. Colin.
- PIAGET J. (1971). *Les explications causales*. Paris, PUF.
- PIAGET J. & GARCIA R. (1987). *Vers une logique des significations*. Genève, Murionde.
- ROBARDET G. & GUILLAUD J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris, PUF.
- TIBERGHEN A. (1994). Modeling as a basis for analysing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, vol. 4, pp. 71-87.
- VERGNAUD G. (1981). *L'enfant, la mathématique et la réalité*. Berne, Peter Lang.
- VERGNAUD G. (1991). La théorie des champs conceptuels. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol. 10, n° 23, pp. 133-170.
- VIENNOT L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris, Hermann.
- VIENNOT L. (1995). *Raisonner en physique*. Bruxelles, De Boeck Université.
- VICENTINI MISSIONI M. (1989). État des recherches sur les schémas de connaissances communes, alternatifs à la connaissance scientifique. In A. Giordan & A. Henriquez (Éds), *Psychologie génétique et didactique des sciences*. Berne, Peter Lang, pp. 127-151.

Cet article a été reçu le 06/12/01 et accepté le 16/04/02.

Les sciences dans l'enseignement secondaire

Scientific Education in Secondary Schools

Gérard FOUREZ

Facultés Universitaires de Namur
B5000 Namur, Belgique.

Résumé

Après avoir déploré la rareté d'études sur l'articulation entre l'enseignement des sciences et les autres disciplines, l'article examine les positions des acteurs sociaux liés à la crise de l'éducation scientifique. Il expose ensuite une liste de controverses et de polarisations liées aux conceptions que l'on a de cet enseignement.

Mots clés : *enseignement des sciences, représentations, alphabétisation scientifique et technique.*

Abstract

After noticing how few are the publications dealing with the relationship between scientific education and other disciplines, this paper examines how several social agents relate to the present crisis in Science education. It then examines controversies and tensions related to the image teachers have of Science and of Science teaching.

Key words : *Science teaching, representations, Scientific and technical literacy.*

Resumen

Después de haberse manifestado la rareza de estudios sobre la articulación entre la enseñanza de las ciencias y las otras disciplinas, el artículo examina las posiciones de los actores sociales unidos a la crisis de la educación científica. Se expone seguidamente una lista de controversias y de polarizaciones ligadas a las concepciones que se tiene de esta enseñanza.

Palabras claves : *enseñanza de las ciencias, representaciones, alfabetización científica y técnica.*

INTRODUCTION

Nous ne savons généralement pas comment articuler les sciences avec d'autres branches de l'enseignement secondaire. Le numéro spécial de Didaskalia (n° 18) sur les sciences dans l'enseignement secondaire est resté vide à ce sujet... Pourtant, il y a deux champs de recherche connexes : celui de la transdisciplinarité et celui de l'articulation des branches. La *transdisciplinarité* consiste à effectuer des transferts de démarches, de méthodes et de concepts entre disciplines tandis que l'articulation des branches, c'est, par exemple, faire des liens explicites entre les cours de sciences et le cours de français ou d'histoire. Dans le cours de français, on pourrait étudier des textes scientifiques et analyser la ressemblance entre un récit de quête et un rapport de laboratoire. Ou considérer comment les discours scientifiques véhiculent de l'idéologie. Dans le cours de sciences on pourrait mieux clarifier qui est le destinataire d'un texte scientifique et comment l'écrire pour être compris. Il y a là matière à recherches dans un terrain assez vierge.

Cela dit, je continuerai ce « point de vue » sur les sciences dans le secondaire en passant en revue une série de lieux où une politique pédagogique à ce sujet est en jeu.

1. LA CRISE DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES DANS LE SECONDAIRE, UN FAIT ?

Aujourd'hui presque tous acceptent l'existence de cette crise dans le monde industrialisé. Ainsi, Black & Atkin : « *Every country that participated*

in our international study is dissatisfied with the education of its students in science, mathematics or technology » (Black & Atkin, 1996a, p. 12). Mais il n'est pas facile d'interpréter ou de conceptualiser les controverses qui entourent cet état de fait. Examinons d'abord les acteurs et leurs intérêts par rapport aux objectifs et aux moyens de l'éducation aux sciences.

Ces dernières années, les élèves ont boudé les filières à fort contenu scientifique. Non qu'ils sous-estiment l'intérêt et la valeur des sciences. Des enquêtes montrent le contraire (Yager & Penick, 1986). Mais ils ne sont pas prêts à s'engager dans des études scientifiques.

Beaucoup pensent qu'au centre de la crise, il y a une question de sens (Black & Atkin, 1996b). Les élèves auraient l'impression qu'on veut les obliger à voir le monde avec les yeux des scientifiques alors qu'ils aspireraient à un enseignement des sciences les aidant à mieux comprendre leur propre univers. Non que les élèves veuillent rester dans leur petit monde. Mais, pour que les modèles scientifiques qu'on leur impose d'étudier aient du sens pour eux, ces modèles doivent leur permettre de comprendre « leur » histoire et « leur » monde (Black & Atkin, 1996a). Ils n'acceptent plus de signer des chèques en blanc à leurs éducateurs. En lien avec cette question de sens, il y a celle des sciences et des technologies. Les élèves - du moins ceux de l'enseignement général - ne reçoivent, dans la plupart des pays, aucune formation aux technologies pensées comme système technico-social.

Les enseignants des sciences, comme les autres, ont d'abord à se débrouiller face à la crise de l'école et à la perte de pouvoir et de considération de leur profession. Ensuite, on leur demande de montrer le sens que pourrait avoir, pour un jeune d'aujourd'hui, l'étude de ces disciplines. Mais leur formation universitaire a été centrée sur le projet de faire d'eux des techniciens des sciences plutôt que des éducateurs. Au mieux a-t-on ajouté à leur formation une introduction à la didactique de leur discipline. Mais ils n'ont guère été confrontés à des questions épistémologiques, historiques et sociétales. Leurs études ne se sont guère souciées ni de la pratique technologique, ni de l'articulation entre sciences et technologies, ni de démarches inter- ou trans-disciplinaires. Ils confondent souvent technologie et application des sciences. Quant à l'interdisciplinarité, on ne leur a que rarement appris comment, lorsqu'ils sont confrontés à une situation problématique, convoquer les disciplines pertinentes, que celles-ci soient issues de sciences naturelles ou humaines. Dans les meilleurs des cas, ils ont seulement pratiqué de l'interdisciplinarité que beaucoup limitent au croisement des disciplines scientifiques scolaires (physique, chimie, biologie). Bref, leur formation a, en gros, fait une impasse sur l'analyse du sens d'un travail scientifique. Un fossé s'est ainsi creusé entre la formation et les exigences du terrain. Pas étonnant, dans un tel contexte,

que les enseignants des sciences se sentent assez démunis et se réfugient dans leurs savoirs.

Quant aux **dirigeants de notre monde économique et industriel**, ils s'inquiètent du manque d'ingénieurs et d'autres scientifiques capables de produire des richesses en quantités suffisantes pour satisfaire nos besoins croissants. Souvent, cependant, le monde industriel ne voit que les dimensions techniques et économiques de ce problème de société (celles que la formation des ingénieurs privilégie).

Beaucoup de **parents d'élèves**, préoccupés de l'emploi futur de leurs enfants, épousent le point de vue du monde économique. Encore qu'une analyse plus fine, en fonction des milieux sociaux, serait de mise.

L'ensemble des **citoyens** se sentent-ils capables de comprendre comment le scientifico-technique conditionne leur existence ? Parviennent-ils à garder une distance critique suffisante pour pouvoir négocier avec les technologies et avec les représentations du monde véhiculées par les sciences. (On parle de négocier avec une technologie ou avec une vision du monde, quand on parvient à construire un compromis, l'adaptant à ses projets tout en s'adaptant à ses contraintes. Ainsi, pour se donner une représentation de notre planète qui ne soit ni purement géologique, ni purement économique, ni purement poétique, etc., tout en étant pourtant un peu de chaque, il faut la négocier). Que fait-on aujourd'hui pour former les citoyens à participer intelligemment à des débats politiques sur des sujets fortement imprégnés de questions scientifiques comme : l'euthanasie, la politique énergétique, l'attitude face aux drogués, etc. ?

Pour la plupart des citoyens, ce qui importe vraiment, c'est le développement technologique et non les sciences. Lorsqu'on interroge la population sur les avancées récentes des sciences, la réponse tourne le plus souvent autour des techniques médicales, de la conquête de l'espace et de l'informatique... toutes disciplines que les scientifiques classeraient plus comme technologiques que scientifiques.

2. QUELQUES CONTROVERSES LIÉES   LA CRISE DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

En arrière fond de cette crise, on peut pointer quelques controverses que je présenterai sous la forme de polarisations. Cela caricature le débat, mais fait réfléchir. Cependant, dans la pratique, les enseignants réussissent souvent à construire d'excellents compromis. D'ailleurs les polarités exposées ne sont pratiquement jamais adoptées sous leur forme extrême. Mais elles structurent les discours de justification de bien des enseignants.

2.1. Quantité de matières à étudier *versus* qualité de la formation

Pour certains enseignants - et ce sont parfois ceux qui sont très attentifs au sens de l'enseignement - les élèves doivent connaître assez de résultats scientifiques pour comprendre le monde qui nous entoure. D'où une tendance à charger les programmes.

Pour d'autres, les élèves ne connaîtront jamais tout : il est donc préférable d'étudier à fond quelques éléments, pour bien acquérir une méthode et une attitude auxquelles on ajoutera une solide formation à la pratique du transfert. Tant pis alors pour les lacunes, quitte à se documenter quand ce sera nécessaire. Reste que certains enseignants sont plus polarisés vers les résultats à enseigner (« produire des têtes bien pleines »), et d'autres vers les méthodes (« des têtes bien faites »). Remarquons que, derrière ces thèmes pédagogiques, se profilent aussi des intérêts professionnels.

2.2. Alphabétisation scientifique et technique versus les prouesses scientifiques

Cette polarisation peut être éclairée par l'examen des valeurs promues par des associations du genre « jeunesses scientifiques », lesquelles privilégient soit la capacité à utiliser les savoirs des disciplines pour faire face à l'existence, soit la prouesse scientifique. Chacune de ces perspectives a son intérêt. La première vise surtout la formation du citoyen : on parle d'alphabétisation scientifique et technique. La seconde privilégie le point de vue des spécialistes et intéresse surtout ceux qui aspirent à une carrière impliquant sciences et technologies.

Les cours visant une carrière scientifique se déclinent en physique, chimie, biologie. Ceux qui visent la formation citoyenne (et donc concernent la majorité des jeunes), parlent d'environnement, de pollution, de technologie, de médecine, de conquête spatiale, de l'histoire de l'univers et des vivants, etc. Dans l'une la technicité d'une discipline est une fin en soi, dans l'autre c'est un moyen (Fourez et al., 1994).

La perspective de l'alphabétisation scientifique peut être exprimée en termes de finalités humanistes, sociales et économiques :

– *les objectifs humanistes* visent la capacité de se situer dans un monde scientifico-technique et d'user des sciences pour décoder son univers, lequel devient alors moins mystérieux (ou moins mystifiant). Il s'agit à la fois de garder son autonomie critique et de se familiariser avec les

grandes idées des sciences. Bref, il s'agit de participer à la culture de notre temps ;

– *les objectifs liés au social* ont pour enjeu une certaine autonomie dans notre société scientifi o-technique et une diminution des inégalités, engendrées par le manque de compréhension des techno-sciences, en aidant les gens à se débrouiller et à participer à des débats démocratiques exigeant connaissances et sens critique (pensons à l'énergie, la drogue ou aux organismes génétiquement modifiés) ;

– *les objectifs liés à l'économique et au politique* veulent faire participer à la production de notre monde industrialisé et au renforcement de notre potentiel technologique et économique.   cela s'ajoute la promotion de vocations scientifiques et/ou technologiques, nécessaires à la production de richesses.

Ainsi faut-il se situer face à deux perspectives souvent opposées mais pourtant complémentaires : la formation du citoyen et la préparation des spécialistes. Cependant, il n'est pas sûr que la meilleure manière d'obtenir des vocations scientifiques soit de se centrer sur les disciplines. Certains, en effet, éprouvent un déficit de sens dans ce qu'ils perçoivent comme un embrigadement dans le monde des scientifiques. Par ailleurs, la formation des enseignants ne les a pas toujours aidé à montrer comment la vision des scientifiques peut ne pas être une fin en soi mais une médiation pour mieux décoder le monde et y participer. La tension existe entre ceux qui privilégient l'Alphabétisation Scientifique et Technique de tous et ceux qui visent d'abord la formation des futurs scientifiques. Cependant, la meilleure façon d'aller vers ce dernier objectif pourrait être de donner la priorité au premier : si on inculque à beaucoup le sens de ce qu'on peut faire avec les sciences, les vocations scientifiques suivront.

2.3. Une alphabétisation scientifique et technologique individuelle ou collective (Roth, 2002)

Est-ce l'individu seul ou une collectivité qu'on veut rendre capable de se débrouiller dans notre monde scientifi o-technique ? La tradition de notre enseignement pense d'abord à l'individu. Mais c'est rarement seul qu'on affronte la réalité. Alors, le sujet de l'alphabétisation scientifique n'est plus l'individu mais le groupe. Une collectivité locale peut être « alphabétisée » par rapport à une problématique. Cela signifie que, dans cette communauté, a été instaurée une culture (formée de savoirs, savoir-faire et savoir-être) permettant une discussion pertinente et démocratique d'une situation. Une  cole se préoccupant de l'alphabétisation scientifique et technique des groupes veillera à procurer aux élèves l'expérience d'avoir

été membre d'une collectivité pratiquant un débat éclairé à propos d'une situation particulière.

L'alphabétisation scientifique et technique est ainsi polarisée entre deux attitudes : celle qui promeut uniquement la formation de l'individu, et celle qui vise à fortifier la culture citoyenne des collectivités. L'une ne va pas sans l'autre, mais un enseignement ne vise que rarement à rendre une collectivité capable de délibérer des enjeux sociaux et politiques de décisions scientifiques et techniques (ou d'autres décisions impliquant des sciences ou des technologies).

2.4. Sciences des situations et matériaux purs ou sciences de tous les jours

Liée à la question de savoir si l'on privilégie l'alphabétisation scientifique ou la perspective de formation des spécialistes scientifiques, il y a celle des matériaux utilisés dans les laboratoires (Van Berkel, 2002a ; Van Berkel et al, 2002b). Va-t-on privilégier la quincaillerie du coin ou les fournisseurs de laboratoires ? La chimie enseignée, par exemple, sera-t-elle surtout celle des substances pures ou bien celle des produits de tous les jours ? Le travail des scientifiques sera-t-il lié à des situations courantes ou à celles du laboratoire ? Partira-t-on de la réalité expérimentée quotidiennement ou de celle que les scientifiques ont déjà conceptualisée dans leur paradigme ? Quel message l'école transmet-elle quant au « lieu » des pratiques scientifiques : un laboratoire fermé et bien équipé ou la vie quotidienne ?

2.5. Enseignement des sciences à des élèves socialement situés

Les sciences véhiculent une manière de théoriser le monde qui n'est pas indifférente aux classes sociales. Leur rigueur et leur froideur affective ne sont pas neutres. Sans m'attarder au rôle idéologique des mathématiques et des sciences dans notre société technocratique je voudrais dire quelques mots sur la position des diverses classes sociales face à ces disciplines. Deux polarisations me frappent. La première se situe autour de la distinction entre branches scientifiques et littéraires. La seconde concerne les cultures scientifique et populaire.

Un élève de classe sociale peu privilégiée a souvent, par rapport aux disciplines littéraires, des rapports ambigus. Elles lui paraissent le lieu des privilèges culturels. Les filles et fils de ceux qui possèdent ces biens

culturels apprennent à la maison une série de compétences qu'on n'enseigne guère en classe - si on ne les dit pas : inenseignables. C'est aussi le cas pour certaines compétences générales relatives aux sciences qui s'apprennent plus facilement si l'on a les relations « qu'il faut » (comme : le bon usage des spécialistes, la rédaction d'un rapport, la négociation de la précision, la pratique interdisciplinaire, etc.) Pour les enfants mal lotis culturellement (à moins qu'ils soient exceptionnellement brillants), cet univers de compétences générales est perçu comme celui des « autres », difficilement accessible et souvent injuste. Le monde des mathématiques et des sciences « pures » leur apparaît plus clair, voire plus honnête. Les dés y paraissent moins pipés et les règles plus clairement définies. On a moins à négocier face à un problème de physique bien posé que face à une dissertation. Mais cette « honnêteté » des sciences a son côté pervers : elle peut favoriser le point de vue du technicien exécutant.

Dans un sens opposé aux considérations précédentes, le monde des scientifiques, avec sa logique implacable, est loin de la culture populaire. L'acculturation aux mathématiques et aux sciences n'est pas facile pour ces milieux où les valeurs affectives sont importantes. Les sciences et les technologies apparaissent froides. [Pour une étude plus approfondie du lien entre les sciences et la culture féminine dans la société patriarcale, voir : Easlea (1980) et Elzinga & Janison (1981)]. Si, de plus, le lien de la théorisation avec des finalités concrètes n'est pas bien souligné, le monde scientifique semble au monde populaire un univers peu humain et ayant un déficit de sens, même s'il reste fascinant et plus « honnête » que le monde de la littérature.

Selon ces analyses, la didactique des sciences devrait mieux tenir compte des différences d'approches liées aux diverses positions sociales et aux habitus qui y sont liés. En demandant d'abstraire (c'est-à-dire d'oublier les particularités d'une situation) on ne demande pas la même chose à la fille d'un ouvrier ou au fils d'un directeur d'usine.

D'où aussi une controverse de fait parmi les enseignants des sciences. Il y a ceux pour qui l'important est d'enseigner les sciences, un point c'est tout, et ceux pour qui la tâche d'éducateurs les amène à parler avec des élèves qui vivent, à propos des sciences et des mathématiques, des tensions sociales et affectives.

2.6. Possibilité de former à des compétences assez larges

Lorsqu'on s'intéresse à l'alphabétisation scientifique ou à la formation aux méthodes plus qu'à l'accumulation des résultats, on est vite amené à s'interroger sur la façon de former à des compétences assez générales,

telles que : « savoir se construire une représentation claire (un « modèle ») d'une situation concrète » ; « savoir utiliser les spécialistes » ; « savoir quand cela vaut la peine d'approfondir une question et quand il vaut mieux se contenter – au moins provisoirement – d'une représentation plus simple » ; « savoir apprécier le niveau de rigueur avec lequel il convient d'aborder une situation précise » ; « savoir le bon usage des langages et savoirs standardisés » etc. Une polarisation existe à propos de ces compétences, certains les considérant comme un objet d'enseignement, d'autres pas.

Il y a pratiquement unanimité chez les spécialistes des Sciences de l'Éducation pour penser que de telles compétences ne s'apprennent pas d'une façon générale mais bien en partant de cas et de contextes particuliers, en les modélisant et en les transférant ensuite à une famille plus étendue de situations. On apprend ces compétences générales en les pratiquant sous la guidance de quelqu'un qui les maîtrise et qui en a une représentation lui permettant de discerner les lacunes et de guider l'apprentissage. Et généralement, il est possible de trouver des indicateurs de ce qu'elles ne sont pas acquises. On peut voir ainsi que les différences ne sont pas essentielles entre enseigner ces compétences-là et d'autres, plus classiques, comme « résoudre une équation du second degré ». Car cette dernière compétence, avant qu'on ne soit parvenu à formaliser ce qu'elle implique, peut paraître aussi floue que peut paraître « avoir le bon usage des spécialistes » avant qu'on ne l'ait conceptualisé.

Cependant la controverse reste ouverte entre ceux qui soutiennent que ces compétences (qui s'appliquent à de plus grandes familles de situations) ne sont pas enseignables et ceux qui estiment qu'elles le sont (même si c'est plus difficile parce qu'on ne dispose pas d'une tradition didactique à leur propos).

Notons enfin que, souvent, la thèse de la « non-enseignabilité » de ces compétences générales conduit à considérer que les élèves doivent les acquérir tout seuls ou à espérer qu'on les forme sur ces points à la maison – positions profondément élitistes... Ainsi, si on n'enseigne pas à l'école « comment on consulte un spécialiste », les élèves qui proviennent de familles où cela est enseigné seront profondément privilégiés.

2.7. Place du théorique et de l'expérimentation

Demander aux enseignants des sciences si ces dernières sont d'abord théoriques ou expérimentales déclenche généralement une réponse claire qui souligne le caractère expérimental des démarches scientifiques. Plusieurs raisons confortent cette position. D'abord, il y a le rôle décisif de

l'expérience pour accepter ou rejeter un modèle scientifique. Ensuite, cet appel à l'autorité de l'expérience « cloue le bec » à d'autres autorités, notamment mandarines ou religieuses. Enfin, le caractère concret de l'expérimentation est plutôt prisé par certains enseignants.

Mais cette valorisation – légitime – de l'expérience peut masquer le caractère abstrait, conceptualisateur, créateur et théorique des sciences. L'objectif des pratiques scientifiques n'est pas de faire des expériences, mais de construire et savoir se servir de représentations adéquates, testées et standardisées, des situations où nous agissons. Et, quand une représentation fonctionne mal, en construire une autre et l'essayer (c'est-à-dire : la tester). Les sciences visent ainsi la construction de représentations abstraites permettant d'agir dans le concret. Au centre des pratiques scientifiques, il y a cette recherche du modèle qui pourra prendre la place de la situation qu'on étudie. Rien de plus concret et pratique qu'une théorie adéquate.

Cependant, la majeure partie des tests qu'un scientifique réalise dans sa pratique ne sont pas expérimentaux mais théoriques : c'est d'abord en confrontant son modèle à d'autres bien établis que le chercheur le teste. En d'autres termes, avant de tester expérimentalement un modèle, on examine s'il est théoriquement plausible.

Parmi les didacticiens des sciences certains voient celles-ci comme d'abord théoriques ou d'abord expérimentales. Ce qui est en jeu c'est sans doute l'apprentissage à la théorisation. Car, quand on serine aux élèves que la caractéristique principale des sciences est d'être expérimentales, on ne les aide guère à se représenter les méthodes scientifiques. S'ils ne voient pas que, faire des sciences, c'est théoriser, il leur devient difficile d'avoir une métacognition plausible de leur pratique. Mais il faut aller plus loin et s'interroger sur ce que l'on met derrière le terme « expériences » : d'abord des protocoles, ou d'abord des essais. Dans le premier cas, l'insistance se porte sur la précision formelle et sur des hypothèses claires à tester ; dans le second, l'aspect heuristique est plus développé. Les deux pôles sont nécessaires, mais le plus important dans la vie courante et dans la recherche scientifique est celui des essais. Pourtant peu de manuels de sciences présentent les essais culinaires comme une pratique de l'expérimentation scientifique. Ce terme est souvent réservé à des expériences éloignées de la vie quotidienne.

2.8. Place des technologies

Les objectifs et le sens de l'enseignement des sciences font généralement référence aux technologies. Pourtant, beaucoup de systèmes

d'enseignement n'ont pratiquement aucune formation sérieuse aux technologies. L'enseignement des sciences se limite à celles dont les objets sont supposés « naturels ». De plus les objets des sciences sont définis après élimination des finalités humaines (une bague devient, pour le physicien, un tore de métal !)

Or le monde des élèves n'est pas ce « monde naturel » mais une technonature. Ce qui a d'abord du sens pour eux, ce n'est pas le monde désincarné des scientifiques, mais la nature telle qu'elle existe au sein d'un univers de finalités où technologies et nature sont articulées.

Comment les cours de sciences abordent-ils cet univers ? L'idéologie dominante des enseignants des sciences estime que les technologies sont des applications des sciences. Comme si, une fois les sciences comprises, les technologies suivaient quasi automatiquement. Pourtant, la plupart du temps, la construction d'une technologie implique des considérations sociales, économiques, juridiques et culturelles qui vont loin au delà d'une application des sciences. La compréhension de cette implication du social dans la construction des technologies rend possible leur étude critique et leur évaluation sociétale (technology assessment). Une formation à la négociation avec les technologies devrait rendre les élèves capables d'analyser les effets organisationnels d'une technologie (par exemple, ceux d'un fax dans un département, d'un four à micro-ondes dans une famille, ou d'une tour de 400 m à New York).

Quand et comment apprend-on aux élèves à se représenter ce monde techno-naturel, celui où ils vivent concrètement ? Comment leur montre-t-on que les disciplines scientifiques peuvent contribuer à décoder ce monde-là et ses significations directes ? Mais comment aussi, leur montre-t-on la distance qu'il y a entre l'objet technique décrit par une discipline scientifique et la technologie dans sa complexité sociale, politique et économique (complexité qui fait que la technologie n'est jamais socialement neutre puisqu'elle génère et suppose une organisation sociale).

Autour de ces questions se joue celle du sens.

2.9. Sciences construites à partir d'une objectivité scientifique ou d'un projet humain : plusieurs significations de la notion de représentation (Ibarra & Mormann, 1997)

Un autre débat lié à l'enseignement des sciences concerne leur épistémologie. Il y a en effet au moins deux façons de penser la notion de représentation. La première renvoie à la notion d'image du réel : son miroir. Dire qu'une représentation est vraie, c'est alors affirmer qu'elle reflète bien

la réalité. Mais on peut aussi considérer une représentation comme une construction humaine pouvant, dans certains débats, tenir la place d'une situation (comme la carte peut tenir la place du territoire). Dans cette seconde manière de voir, la représentation n'est pas un miroir de la réalité, une sorte de « carte » : un artefact, une technique, une mise en scène, en fonction d'objectifs. Dans le premier cas, la représentation-reflet est sensée fonctionner indépendamment de toute finalité humaine. Dans le second, c'est une mise en scène faite par des humains, pour des humains, en fonction d'objectifs.

Cette dualité de vues se reflète dans la conception qu'ont les enseignants des finalités des cours de sciences. Pour les uns, elles doivent être enseignées parce qu'elles sont – au moins provisoirement – les meilleures représentations du monde disponibles. L'idée sous-jacente est qu'il y a une vérité sur le monde qu'il s'agit de chercher, de trouver et d'enseigner. Ce type de vision est liée aux philosophies scientistes : les sciences y prennent un peu le relais des religions pour assurer une base solide à l'ordre social. Une autre perspective voit les sciences comme construisant des représentations du monde toujours liées à un contexte et une finalité. De ce point de vue, on ne parlera plus d'une vérité globale à trouver, mais bien de diverses mises en scène, conceptualisations et modélisations d'une situation, en fonction de projets à mettre en œuvre.

Dans le premier cas le monde semble une masse d'objets à étudier ; dans le second, c'est un ensemble de sujets négociant la façon de se représenter leur milieu et leur histoire. Du point de vue didactique, d'un côté, l'élève est prié d'acquérir la vérité scientifique, de l'autre, il doit se construire ou s'approprier des représentations.

2.10. La transférabilité et les limites des lois, des modèles, des démarches et des outils

Certains enseignants de branches techniques insistent pour que les élèves n'utilisent un outil que pour les objectifs en vue desquels il a été construit. On en comprend les raisons, de sécurité notamment. Mais il n'y a alors aucune valorisation de son usage vers une autre finalité, suite à une attitude inventive ouvrant à de nouvelles possibilités. Ces enseignants semblent oublier que les meilleurs techniciens sont ceux qui parviennent à faire flèche de tout bois.

Dans la même veine, certains enseignants des sciences n'acceptent pas qu'on adapte un modèle à un autre contexte : ils craignent que de tels transferts manquent de rigueur.   quoi d'autres leur répliquent – sur de bonnes bases historiques – que la plupart des développements scientifiques

ont été provoqués par de tels transferts. D'où controverse entre ceux qui voudraient que les élèves s'immergent dans les normes de rigueur de chaque discipline et ceux qui veulent leur apprendre à transférer modèles, méthodes, concepts et démarches – quitte à parfois perdre quelque chose du point de vue de la rigueur formelle. Cette controverse s'exprimera aussi dans le dilemme : « Faut-il se limiter à l'enseignement des disciplines ou faut-il dépasser les frontières disciplinaires ? »

2.11. Formation des enseignants des sciences

La formation initiale des enseignants des sciences fait aussi l'objet d'un débat. Il y a consensus quant à l'importance d'une solide connaissance de la discipline à enseigner. Il y a un large accord pour une formation à la didactique. Les positions divergent quant à l'utilité d'une formation à l'épistémologie, à l'histoire des sciences et, enfin, aux approches interdisciplinaires de situations complexes ou de questions fondamentales. À voir la portion congrue accordée à ces approches, les universités ne semblent pas leur donner beaucoup d'importance. Y aurait-il un lien entre cette position des universités et l'impression qu'ont certains élèves d'un déficit de sens dans leurs cours de sciences ?

2.12. S'adapter au petit monde de l'élève ou l'ouvrir à un monde plus large

Quand on prétend que les cours de sciences doivent rendre les élèves capables de lire leur monde, on encourt facilement le reproche de les laisser dans leur bulle et leur petite société, alors qu'il faudrait, au contraire, les ouvrir à tout l'univers, à la grande société, et à une scientificité qui résiste aux effets idéologiques ! De fait, les jeunes se replient souvent dans leur petit monde, par peur des conflits de notre société. Ils sont attirés par une culture de l'immédiateté qui refuse la construction de médiations. C'est pourquoi, diront certains, il ne faudrait pas trop chercher ce qui a du sens pour l'élève mais le pousser vers l'univers des sciences. Mais, réplique-t-on, cet univers n'a aucune pertinence s'il ne permet pas de se confronter au monde dans lequel nous vivons. Il ne s'agit donc pas de rester dans le « petit monde immédiat de l'élève » en s'y adaptant, mais de construire un enseignement qui s'articule à ce monde et parvienne à l'analyser et, par là, à le dépasser.

2.13. Enseignement des disciplines scientifiques et introduction à des démarches interdisciplinaires

Dans la pratique, pour se représenter adéquatement une situation concrète, il est rare qu'une seule discipline suffise. Cela peut être le cas, en première approximation, dans un laboratoire ou dans une salle d'opération. Mais, pour comprendre une situation moins confinée, comme l'isolation thermique d'une habitation ou l'origine du monde, il faut faire appel à diverses disciplines (sur l'interdisciplinarité, cf. Roegiers, 2000 ; Fourez, 2000 ; Fourez, 2001a ; Fourez, 2001b ; Maingain et al., 2002).

Il nous arrive souvent de faire de l'interdisciplinarité comme M. Jourdain faisait de la prose. L'interdisciplinarité, ce n'est pas le dédain des disciplines, mais, au contraire, l'utilisation de celles-ci pour éclairer une situation. Ce qui renvoie à une question débattue entre enseignants des sciences : va-t-on enseigner aux élèves comment mener des approches interdisciplinaires, ou se limitera-t-on à l'enseignement des disciplines ? Selon la première option, commencer très tôt des pratiques interdisciplinaires est essentiel pour que les élèves perçoivent comment les disciplines trouvent leur sens en fournissant une approche partielle mais rigoureuse des situations étudiées. Par contre, ceux qui défendent une approche disciplinaire stricte soulignent l'importance de bases solides en sciences avant d'aborder des problèmes complexes. (Mais comprennent-ils que l'interdisciplinarité se base sur la consultation de spécialistes et non sur une connaissance universelle ?)

2.14. Deux types de « missionnaires » des sciences

On peut classer les enseignants des sciences en deux groupes. Les premiers considèrent que les élèves abordent le monde avec de fausses représentations et il s'agit de leur montrer la « vraie » ; avec l'espoir que, finalement, ils abandonneront les fausses. Ils ressemblent aux missionnaires traditionnels qui dénoncent les faux dieux pour obtenir des convertis qu'ils brûlent leurs idoles et se rallient à la vraie religion.

Mais les missionnaires modernes ne se battent plus contre les idoles. De même, le second groupe d'enseignants des sciences acceptent les élèves et leurs représentations multiples. Leur but n'est pas de convertir les élèves mais que ceux-ci maîtrisent le modèle scientifique car, à l'épreuve, on l'a montré fiable, efficace et standardisé. Ils n'ont pas peur d'en imposer l'étude, mais ne s'inquiètent pas si, dans certains cas, les élèves fonctionnent, comme nous tous, avec une pluralité de modèles. Leur but n'est pas de faire la propagande pour le modèle scientifique, mais plutôt

que l'élève sache l'utiliser à bon escient. De toutes façons, il n'y a pas de modèle parfait.

Pendant, entre ces deux conceptions, il y a souvent polarisation... et mécompréhension....

CONCLUSION

L'objectif de cet article était de mettre en scène l'enseignement des sciences dans le secondaire. Nous avons vu qu'il se situe dans un enseignement plus large dont les professeurs de sciences ne se soucient pas toujours assez. Nous en avons analysé quelques axes, liés à ce qu'on appelle une crise. Mais il peut être bon de se rappeler que la notion de « crise » en caractères chinois s'écrit en unissant deux sigles : celui qui signifie « danger » et celui qui signifie « possibilité » ou « opportunité » !

BIBLIOGRAPHIE

- BLACK P. & ATKIN M. J. (Éds.) (1996a). *Changing the Subject, Innovations in Science, Mathematics and Technology Education*. London, OECD & Routledge.
- BLACK P. & ATKIN M. J. (1996b). A global Revolution in Science, Mathematics and Technology Education. *Education Week* du 10 avril 1996, p. 1-8.
- EASLEA B. (1980). *Witch hunting, Magic and the new philosophy 1450-1750*. Brighton, Harvester press.
- ELZINGA J. & JANISON A. (1981). *Cultural component in the scientific attitude to nature*. Lund, Research Policy Institute.
- FOUREZ G., ENGLEBERT-LECOMTE V. & GROOTAERS D. (1994). *Alphabétisation scientifique et technique. Essai sur les finalités de l'enseignement des sciences*. Bruxelles, De Boeck Université.
- FOUREZ G., ENGLEBERT-LECOMTE V. & MATHY P. (2000). Faut-il bien connaître les disciplines avant de pratiquer l'interdisciplinarité ? *Probio-Revue*, vol. 23, n° 4, pp. 253-257.
- FOUREZ G. (2001a). Fondements épistémologiques pour l'interdisciplinarité. In Y. Lenoir, R. Rey & I. Fazenda (Éds.), *Les fondements de l'interdisciplinarité dans la formation à l'enseignement*. Sherbrooke, CRP, pp. 67-84.
- FOUREZ G. (2001b). Interdisciplinarité et îlots de rationalité. *Revue Canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, vol. 1, n° 3, pp. 341-348.
- IBARRA A. & MORMANN Th. (1997). Theories as representations. *Pozman Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*, vol. 61, pp. 58-87.
- MAINGAIN A., DUFOUR B. & FOUREZ G. (2002). *Approches didactiques de l'interdisciplinarité*. Bruxelles, De Boeck Université.
- ROEGERS X. (2000). *Une pédagogie de l'intégration*. Bruxelles, De Boeck Université.

- ROTH W.-M. *Scientific literacy as an emergent feature of collective human praxis. Journal of Curriculum Studies : preprint* : <http://www.educ.uvic.ca/faculty/mroth/PREPRINTS/OPED105.pdf>.
- VAN BERKEL B. (2002a). *A conceptual structure of the chemistry curriculum. Dissertation* (in preparation).
- VAN BERKEL B., de VOS W., VERDONK A. H. (et alii) (2002b). *Normal Science Education and its Dangers - the Case of School Chemistry, SC&ED* (accepted for publication).
- YAGER R.E. & PENICK J.E. (1986). Public attitude toward Science and Science education. *Bulletin of Science, Technology & Society*, vol. 6, pp. 535-540.

Report of innovation

La simulation informatique : outil d'aide à l'apprentissage de la chimie des solutions : compte rendu d'innovation

Learning of chemistry of solution with help of computer simulation

**Mohamed ERRADI, M. KHALDI, S. EZZAHRI,
A. BENNAMARA, M. TALBI, S. BENMOKHTAR**

U.F.R. des sciences et procédés d'analyse en chimie analytique
E.R.D.I.C. (ENS de Tétouan)
& E.R.D.I.C. (Faculté Ben Msik), Maroc.

Résumé

Le présent article rend compte d'une expérimentation utilisant des simulations informatiques de titrages acide-base dans des situations didactiques d'apprentissage basées sur l'investigation et la participation de l'apprenant dans la construction de son savoir. Deux approches dans l'utilisation des simulations de titrages pH-métriques à l'aide du logiciel « SIMULTIT2 » sont mises en place et évaluées avec un groupe d'enseignants en formation continue et un groupe d'élèves-professeurs en formation initiale. On montre que les simulations informatiques créent un contexte pédagogique favorisant l'apprentissage par la découverte ou l'exploration basée sur les conflits cognitifs.

Mots clés : *pédagogie, chimie des solutions, simulation, changements cognitifs, démarches de résolution.*

Abstract

The present article gives account of an experimentation using the computer simulations of titration acidic-bases in the didactic situations of training based on the investigating and the involvement of learning it in the construction of his knowledge. Two approaches in the utilization of the pH-metric titration simulations with the help of the software "SIMULTIT2", are setting up and valued with a group of teachers in continuing education and a group of futures teachers in initial formation. We show that the computer simulations create an educational context encouraging the training by the discovery or the exploration based on the cognitive conflicts.

Key words : *pedagogy, chemistry solutions, simulation, conceptual change, problem solving behaviors.*

Resumen

El presente artículo este referido a una experimentación donde se utilizaron simulaciones informáticas sobre los ácidos-bases en situación didáctica de aprendizaje basadas en la investigación y la participación del alumno para la construcción de su saber. Fue elaborado y evaluado por un grupo de docentes en formación continua y un grupo de alumnos-profesores en formación inicial, dos enfoques para la utilización de simulaciones de los PH-métricos con la ayuda del programa "SIMULTIT2." Se muestra que las simulaciones informáticas crean un contexto pedagógico que favorece el aprendizaje por descubrimiento o la exploración basada en conflictos cognitivos.

Palabras claves : *pedagogía, química de las soluciones, simulación, cambios cognitivos, procedimientos de resolución.*

INTRODUCTION

De nombreuses recherches en Sciences de l'Éducation ont permis de remettre en question le modèle d'enseignement traditionnel basé sur la transmission des contenus scientifiques. On propose, à l'encontre, un modèle d'enseignement par l'investigation (ou par la recherche), où l'apprentissage est conçu comme un ensemble de processus dynamiques conduisant à des changements conceptuels et méthodologiques chez les

apprenants (Gil, 1993). L'expérimentation d'un tel modèle s'est révélée efficace dans la mesure où l'apprenant devient acteur principal dans la construction de son savoir (Njoo & De Jong, 1993 ; Torres & Garcia, 1997).

D'autres études ont montré l'importance des stratégies basées sur les conflits cognitifs dans le développement d'un enseignement par la recherche (Niaz, 1995). Dans ce sens, la simulation informatique peut constituer un outil pédagogique favorisant à la fois l'enseignement par la recherche et la création de situations de conflit cognitif. L'apprenant peut chercher le modèle caché par la simulation, changer les paramètres et les variables, interpréter les résultats, découvrir un nouveau savoir et le comparer avec ses préconceptions.

Selon Durey & Beaufile (1998), la simulation informatique se situe aujourd'hui au même niveau que l'expérimentation. Les situations didactiques où l'on peut introduire la simulation sur ordinateur sont nombreuses et diverses, en particulier dans le domaine des sciences physiques. Intégrées dans les cours magistraux, les simulations informatiques sont utilisées, par exemple, pour illustrer un savoir théorique, des phénomènes naturels, etc. Utilisées en travaux pratiques, les simulations peuvent servir pour expérimenter un modèle, interpréter des observations expérimentales, etc. En articulant simulation et expérimentation, les apprenants peuvent travailler librement. Ils peuvent changer les paramètres et les variables, et visualiser immédiatement les conséquences sur les manipulations pratiques.

1. LA CHIMIE DES SOLUTIONS : UN DOMAINE PERTINENT POUR L'UTILISATION DES SIMULATIONS INFORMATIQUES.

La chimie des solutions constitue la partie la plus importante de la chimie enseignée dans le secondaire. Ses notions et concepts interviennent dans l'enseignement d'autres modules de la chimie (chimie organique) ou d'autres disciplines scientifiques (biochimie, hydrobiologie, écologie, etc.)

Les réactions acide-base forment le pivot de cette partie de la chimie autour duquel s'articule un bon nombre de réactions d'oxydoréduction, d'électrochimie, de précipitation et de complexation. Comprendre les réactions acide-base suppose la maîtrise d'un grand nombre de paramètres qui font appel à d'autres notions fondamentales : l'atome, la molécule, l'équilibre chimique, etc.

Dans le programme marocain, l'enseignement des réactions acide-base dans le secondaire comme dans le supérieur présente le titrage pH-

métrique comme une simple technique permettant la détermination de la concentration d'un acide ou d'une base. Des aspects scientifiques, pédagogiques et didactiques sont complètement négligés : confrontation théorie et expérimentation, influence de la concentration et du pka, limitation de la technique, etc. Les apprenants (ou parfois les futurs professeurs) conçoivent des idées fausses sur les réactions acide-base et le titrage pH-métrique. Les problèmes d'acide-base sont réduits, pour eux, à de simples opérations mathématiques qui, parfois, n'ont aucune approche avec la réalité chimique (Erradi, 2001).

2. APPROCHES DANS L'UTILISATION DES SIMULATIONS INFORMATIQUES

Dans cette partie nous présentons deux expérimentations, que nous avons menées à l'École Normale supérieure de Tétouan (Maroc), sur l'utilisation des simulations informatiques dans l'enseignement des réactions acide-base. En mettant les stagiaires dans des situations d'apprentissage par l'investigation et en adoptant une stratégie basée sur les conflits cognitifs, nous nous sommes intéressés aux différents changements pouvant être générés par les simulations informatiques tant sur le plan conceptuel qu'au niveau des démarches de résolution des problèmes.

Pour examiner ces changements nous avons utilisé comme méthode d'investigation :

– l'analyse des protocoles d'interviews enregistrés à l'aide d'un magnétoscope. L'interview de type semi-structuré est réalisée à la fin de la séquence didactique. Les questions furent :

- Pourquoi le choix d'un tel système à étudier ?
- Quelles sont les réactions mises en jeu ?
- Quelles courbes à tracer et pourquoi ?
- Les résultats obtenus sont-ils conformes à vos pré-connaissances sur le titrage des polyacides et des solutions mélanges ?
- L'activité autour de la simulation informatique vous a-t-elle permis d'acquérir un nouveau savoir et un savoir-faire (technique, scientifique, pédagogique) ? Lesquels ?
- Quels types de difficultés avez-vous rencontrés (technologiques, pédagogiques...) ? ;

- l'analyse des comptes rendus ; à la fin de la séquence didactique (avant le déroulement des interviews), les enquêtés doivent fournir un compte rendu de leur travail, un rapport dans lequel ils doivent décrire en détail la démarche adoptée dans la résolution de chaque problème, les résultats obtenus, l'interprétation ;
- l'analyse des résultats du QCM (avant et à la fin de la séquence didactique).

3. PREMIÈRE EXPÉRIMENTATION : LES SIMULATIONS POUR DÉCOUVRIR UN SAVOIR...

Cette expérimentation a été réalisée avec un groupe de 32 enseignants des sciences physiques dans le secondaire (dont 8 femmes) dans le cadre de la formation continue.

Afin de mettre les stagiaires dans des situations de conflits cognitifs, nous les avons soumis à un pré-test écrit (sous forme d'un QCM dont une partie est reproduite en annexe) dans lequel ils devaient répondre à une série d'items portant sur les notions de réaction totale et de prédominance, le rapport entre nombre d'acidités et nombre de points d'équivalence apparus dans une courbe de titrage, les neutralisations successives dans un mélange, le rapport entre la nature de l'acide (fort ou faible) et la forme de l'inflexion apparue dans une courbe de titrage. Il s'agit là d'une phase de prédiction nécessaire à l'installation du conflit cognitif.

Le pré-test a été soumis aux stagiaires la veille de l'expérimentation. Notre seule aide a concerné l'explication de chaque item (sur le plan de la formulation) pour éviter toute mauvaise interprétation de la question.

L'outil utilisé dans cette approche expérimentale est le logiciel Simultit2. Nous avons opté pour ce logiciel pour deux raisons principales : son adaptabilité aux besoins de notre public et la facilité de son utilisation.

Après une séance de prise en mains du logiciel, et après avoir expliqué aux stagiaires le principe d'une simulation et le modèle mathématique qui la régit, nous avons demandé aux stagiaires de chercher des justifications aux différentes questions posées dans le pré-test. Les stagiaires ont travaillé librement par binôme sans directivité.

Les activités de recherche sont centrées sur quatre items principaux :

- le rapport entre le nombre d'acidités d'un acide et le nombre de points d'équivalence qui doit apparaître dans la courbe de son titrage pH-métrique,

- l'influence de la présence d'un acide faible dans un mélange (d'acides fort et faible) sur le titrage d'un acide fort,
- les neutralisations successives dans les mélanges complexes d'acide et de base,
- l'influence du pka et de la concentration d'un acide faible sur son titrage pH-métrique.

Dans le but de trouver des solutions à ces différentes questions les stagiaires ont commencé par simuler le titrage d'une série de polyacides (acide oxalique, acide sulfurique, acide citrique, acide phosphorique, EDTA), d'une série de mélanges acide fort (HCl) et acide faible (à différentes valeurs de pka), et enfin une série d'acides faibles (à différentes valeurs de pka et de concentration).

À la fin de cette expérimentation, nous avons redistribué un post-test aux stagiaires (Il s'agissait des mêmes items du post-test).

L'observation des stagiaires et l'analyse de leurs comptes rendus nous ont permis de dégager un modèle général (figure1) illustrant la démarche adoptée dans la recherche des solutions aux différentes questions.

Dans ce modèle la simulation informatique constitue le tronc principal de la démarche de résolution. La situation de conflit cognitif apparaît au moment de la visualisation de la courbe $\text{pH}=\text{f}(\text{V})$. En effet, tous les enquêtés croient que le nombre de points d'équivalence qui doit apparaître dans la courbe de titrage d'un polyacide est égal au nombre d'acidités de ce dernier, ce qui n'est pas vrai. Ce désaccord entre l'idée qu'ont les enquêtés et le résultat obtenu par simulation a conduit ces stagiaires à chercher d'autres types de courbes pour pouvoir justifier la courbe de pH obtenu.

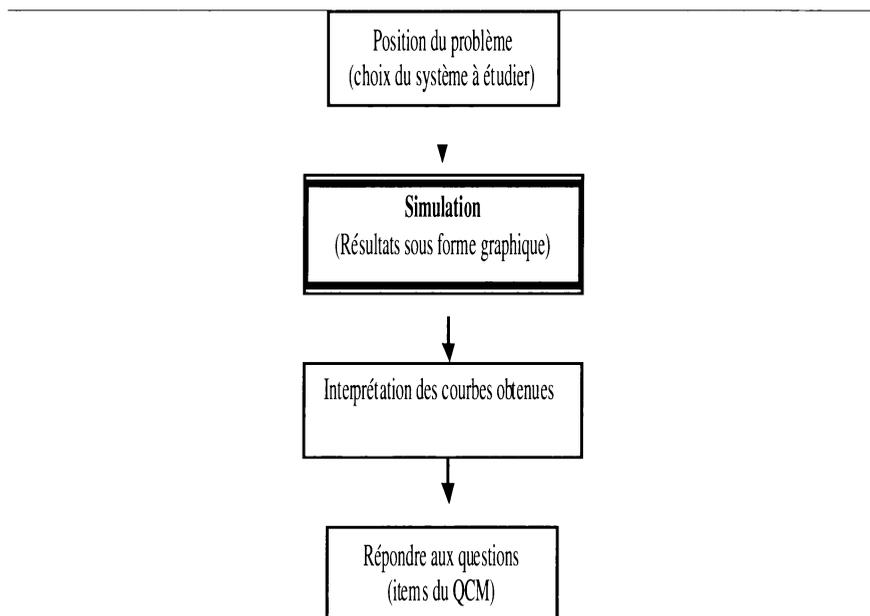


Figure 1 : **Modèle de démarche adoptée par les stagiaires**

Sur le plan conceptuel, l'analyse du pré-test et du post-test (QCM identique à celui du pré-test et distribué à la fin de l'expérimentation) et de l'interview des stagiaires nous a permis de noter des changements importants au niveau de leurs connaissances relatives à la pHmétrie et aux réactions acide-base, et par conséquent sur leurs représentations du concept acide-base (tableau1).

Pré-test	Post-test
Le nombre de points d'équivalence apparus dans une courbe de titrage acide base est égal au nombre d'acidités de l'acide.	Si Δpka entre deux acidités est supérieur ou égal à 4, l'acidité est titrable (apparition d'un point d'équivalence).
Dans une courbe de titrage acide-base, un saut de pH important autour du point d'équivalence correspond toujours au titrage de l'acide fort.	Cette remarque n'est pas générale. La présence d'un acide faible à une concentration et à pka bien déterminés peut influencer sur la nature du saut de pH (marqué ou peu marqué).
Les acides faibles sont titrables pH-métriquement quelque soit la concentration et le pka.	Plus l'acide est faible (plus le pka croît), plus la limite inférieure de la concentration à laquelle l'acide peut être titré par une base forte est élevée.

Tableau 1 : **Changements cognitifs observés**

4. DEUXIÈME EXPÉRIMENTATION : L'ARTICULATION SIMULATION-EXPÉRIMENTATION

Cette expérimentation a été réalisée avec un groupe de 22 élèves-professeurs des sciences physiques (dont 10 femmes) dans le cadre de la formation initiale. Nous avons utilisé le logiciel Simultit2 pour la réalisation des simulations et la configuration SMF10 pour la réalisation des manipulations pratiques.

Dans cette approche la simulation est utilisée en aval de l'expérimentation, pour analyser et interpréter les résultats expérimentaux obtenus. L'activité proposée consiste à résoudre deux problèmes pratiques :

- étude du titrage pH-métrique de 10 ml d'une solution mélange contenant, à la préparation, NH_4Cl (0.1M), Na_2CO_3 (0.1M), HF (0.1M) par une solution de soude NaOH 0.2 M,
- étude du titrage pH-métrique d'une série de polyacides (acide phosphorique, acide borique, acide citrique, acide oxalique) par une solution de soude NaOH.

La figure 2 représente le modèle de la démarche adoptée par les stagiaires dans la résolution du problème proposé. Dans ce modèle, la simulation informatique constitue un élément fondamental dans la démarche de résolution dans la mesure où elle a permis de rendre compte des différentes réactions mises en jeu dans ce titrage. Elle a permis aussi d'interpréter et de justifier les différentes inflexions observées dans la courbe de titrage.

De l'analyse des résultats du pré-test / post-test (QCM), des comptes rendus et de l'interview des stagiaires, nous avons pu déceler d'importants changements sur les plans cognitif et méthodologique.

Les stagiaires ont des idées sur les notions de quantitativité, de prédominance, de la force d'un acide, de la précipitation, de la complexation, etc. Ces idées ne sont pas, cependant, mobilisées dans la situation-problème en question. Le recours à la simulation les a obligés à remettre en question ces hypothèses. En effet, là encore, et à titre d'exemple, nous avons remarqué que tous les élèves-professeurs croient que la courbe de titrage pH-métrique de l'acide phosphorique doit avoir 3 points d'équivalence et qu'une inflexion « marquée » correspond toujours à la neutralisation d'un acide fort. On peut dire qu'à ce niveau la simulation informatique a pu stimuler une situation de conflit cognitif importante. Les hypothèses faites par les stagiaires sont souvent contradictoires avec les résultats obtenus. Cette situation leur a permis de reconstruire le savoir sur les notions citées auparavant.

Sur le plan méthodologique, la simulation a permis aux stagiaires de développer une activité jusque-là sous-estimée par beaucoup de nos étudiants (Erradi, 2001), qui est l'analyse des données d'un problème. En interrogeant les stagiaires sur les bases de leurs hypothèses, nous avons remarqué qu'ils ne donnent aucune importance aux phénomènes qui ont déjà eu lieu au moment de la préparation de la solution mélange, avant même de commencer à ajouter la solution titrante (réactions d'acide-base, de précipitation, et de complexation). Ceci montre qu'aucune analyse des données du problème n'a été faite. L'absence de cette étape primordiale dans la démarche de résolution du problème est la cause principale de l'élaboration aléatoire des hypothèses.

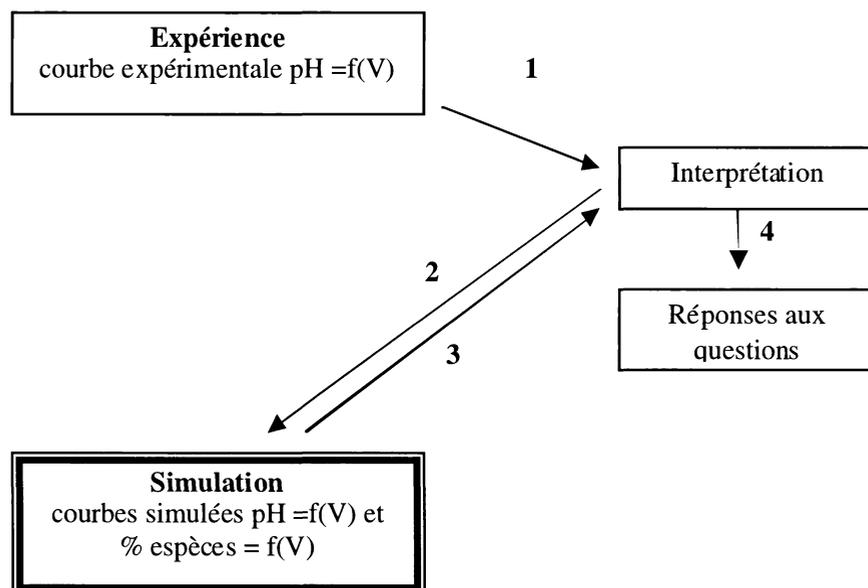


Figure 2 : Démarche adoptée par les stagiaires dans la réalisation de la tâche : expérimentation – simulation

Le recours à la simulation a obligé les stagiaires à relire de nouveau le problème attentivement, en faisant une analyse des réactifs formant la solution initiale et en réfléchissant sur les différentes réactions qui peuvent avoir lieu avant et au cours du titrage.

CONCLUSIONS

Dans les différentes approches didactiques présentées dans cet article, la simulation informatique constitue un élément fondamental de la démarche scientifique. Elle a pu créer des situations de conflit cognitif permettant aux stagiaires de tester, d'évaluer et de reconstruire leur propre savoir sur des notions et des concepts fondamentaux en chimie des solutions, comme la prédominance, la réaction totale, la force d'un acide, le degré d'avancement d'une réaction, la neutralisation, etc.

De telles approches, utilisant principalement les courbes de répartition des espèces entre les différentes formes, ont permis aux stagiaires d'élaborer des modes de raisonnement simples autorisant une prévision rapide de l'évolution de la composition des systèmes chimiques étudiés.

Utilisée seule, la simulation permet d'activer chez les stagiaires des processus de recherche de l'information, de son analyse et de son utilisation. Utilisée en aval d'une expérience, la simulation permet la confrontation de la théorie avec l'expérience, ce qui a pu conduire les stagiaires à interpréter correctement les résultats obtenus expérimentalement.

BIBLIOGRAPHIE

- DUREYA. & BEAUFILS D. (1998). L'ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques : Questions de didactique. In *Actes des 8èmes Journées Nationales Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques, UDP et INRP*, pp. 63-74.
- ERRADI M. (2001). *Conception d'un hypermédia didactique pour la formation continue en chimie des solutions : CHIMSOL*. Thèse de Doctorat, Faculté Ben-Msik, Maroc.
- GIL D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique, *Aster*, vol.17, pp. 41-64.
- NIJAZ M. (1995). Cognitive conflict as a teaching strategy in solving chemistry problems : a dialectic – constructivist perspective. *Journal of research in science teaching*, vol. 32, n° 9, pp. 959-970.
- NJOO M. & DE JONG T. (1993). Exploratory learning with a computer simulation for control theory : Learning processes and instructional support. *Journal of research in science teaching*, vol. 30, n° 6, pp. 821-844.
- TORRES SALCEDO L.-E. & GARCIA GARCIA J.-J. (1997). Los suelos en la enseñanza de la teoría ácido-base de Lewis. Una estrategia didáctica de aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las ciencias*, vol. 15, n° 1, pp. 59-71.

ANNEXE

Une partie du QCM (le QCM entier est constitué de 21 items)

1- La constante de l'équilibre de la réaction suivante :

$A + B \rightleftharpoons C + D$ est $K = 10^6$. Sachant que $[A]_0 = [B]_0 = 0.1M$, on peut dire que :

- la réaction dans le sens (1) est réaction totale
- la réaction dans le sens (2) n'est pas réaction totale
- la réaction dans le sens (1) n'a pratiquement pas lieu
- les 4 espèces co-existent en quantités notables

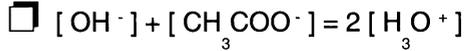
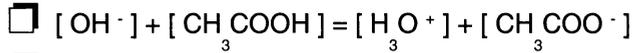
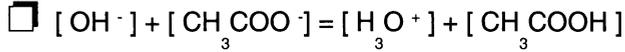
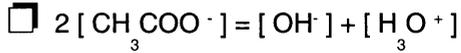
2- L'acide orthophosphorique H_3PO_4 est un triacide de $pka_1 = 2.1$; $pka_2 = 7.2$; $pka_3 = 12.1$. La courbe de son dosage pH-métrique par NaOH (0.1 M) doit présenter :

- un point d'équivalence
- deux points d'équivalence
- trois points d'équivalence
- quatre points d'équivalence

3- Dans un titrage pH-métrique d'une solution d'acide faible par une base forte :

- seuls les acides faibles dont le pka est faible sont titrables et ceci quelle que soit leur concentration
- seuls les acides faibles dont la concentration est élevée sont titrables et ceci quel que soit leur pka
- plus l'acide est faible, plus la limite inférieure de la concentration à laquelle il peut être titrable est élevée
- tous les acides faibles sont titrables quels que soient leur pka et leur concentration

4- On mélange à volume égal CH_3COOH (0.1M) et CH_3COONa (0.1M), l'équation traduisant l'échange protonique est :



5- Une des définitions suivantes des acides ne dépend pas du solvant, laquelle ?

Arrhénius

Bronsted-Lowry

Franklin

Lux Flood

6- Un réactif B à la concentration 1M est ajouté dans un mélange de 2 composés A' et A'' chacun à la concentration 0.1M et susceptible de réagir selon :



la réaction (1) est prépondérante

la réaction (2) est prépondérante

les deux réactions sont prépondérantes

aucune des réactions n'est prépondérante

7- Une solution aqueuse contient, à la préparation, NH_4Cl (0.1M) ; Na_2CO_3 (0.1M) et HF (0.1M). 10 ml de cette solution sont dosés par 25 ml de NaOH (0.1M). Quelles sont les espèces neutralisées successivement par la soude ?

HF puis NH_4^+ puis CO_3^{2-}

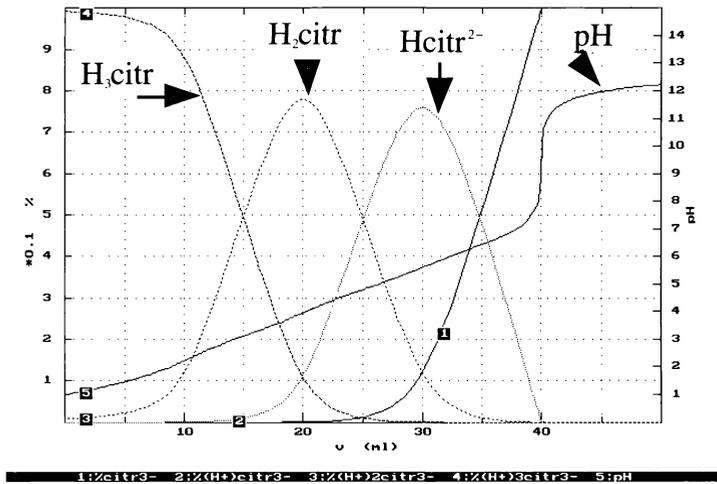
HF puis NH_4^+ puis HCO_3^-

NH_4^+ puis HCO_3^-

HF puis NH_4^+

8- Étant donnée la courbe de simulation du titrage pH-métrique de l'acide citrique (un triacide $H_3\text{citr}$) par la soude 0.1M, une seule acidité est titrable, laquelle ?

- la première
- la deuxième
- la troisième
- aucune



Cet article a été reçu le 24/10/2000 et accepté le 18/06/2002.

BOOK REVIEWS

BARNIER G. (2001). *Le tutorat dans l'enseignement et la formation*. Paris, L'Harmattan, 287 p.

Le tutorat, sous ses multiples facettes, occupe aujourd'hui une place importante, tant dans l'enseignement que dans la formation professionnelle. L'auteur, dont la bibliographie atteste que ce sujet est au cœur de ses préoccupations depuis de nombreuses années, nous offre un large panorama sur ce sujet. Cependant, bien qu'il aborde également le tutorat expert-novice, l'essentiel de l'ouvrage porte sur le tutorat entre pairs qui a connu d'importants développements tout au long des quarante dernières années dans de nombreux pays (p. 9). Les lignes directrices de l'ouvrage se trouvent présentes dans la définition qui en est donnée en introduction :

« Tel qu'il est pratiqué aujourd'hui, le tutorat entre pairs cherche à favoriser la prise de confiance en soi, à aider au renforcement et à l'acquisition de connaissances chez les tutorés, mais aussi à accroître la capacité à apprendre des tuteurs en développant leur capacité à enseigner. C'est ce dernier aspect qui est au centre de la définition qu'en proposent Goodlad et Hirst (1989, p. 13) : « Le tutorat entre pairs est ce système d'enseignement au sein duquel les apprenants s'aident les uns les autres et apprennent en enseignant ». Le principe de base en est relativement simple : un élève plus compétent qu'un autre dans un domaine ou par rapport à une tâche particulière, vient en aide à un autre élève, non pour faire à sa place, ni pour lui dicter ce qu'il faut faire, mais en lui expliquant comment s'y prendre pour qu'il parvienne ensuite à mieux réussir. » (p. 10).

Les deux premiers chapitres (Pionniers et précurseurs et L'Âge d'or du pédagogique) sont consacrés à une remontée dans l'histoire. Le troisième chapitre décrit la mise en œuvre dans différents pays du principe Learning Through Teaching (Apprendre en Enseignant), tandis que le quatrième chapitre brosse un tableau des multiples facettes du tutorat aujourd'hui. Le chapitre cinq propose un cadre théorique susceptible de rendre compte de la diversité des formes de tutorat présentées dans les chapitres trois et quatre. Le dernier chapitre enfin est consacré aux effets bénéfiques du tutorat sur ceux qui apportent l'aide, ce que l'auteur appelle l'effet-tuteur.

Le premier chapitre comporte quatre paragraphes : « Les pères fondateurs du guidage et du tutorat », « Usages du monitorat sous l'ancien régime », « le Compagnonnage et l'Enseignement mutuel au XIX^e siècle ». Chez les pères fondateurs de l'idée de guidage et de tutorat, de Socrate à Pestalozzi en passant par Quintilien et surtout Comenius, apparais-sent déjà les principes qui guident le tutorat entre pairs tel que défini plus haut. Je dirais qu'on y voit également les risques de dérive possible, avec l'illusion que le fait que l'élève réussisse à réaliser la tâche ou à formuler le savoir attendu garantisse l'apprentissage. Les travaux conduits par exemple en didactique des mathématiques montrent bien que cela n'est en général pas suffisant. Le paragraphe suivant décrit cinq exemples de pratiques innovantes, pour employer un vocabulaire moderne, certaines bien connues et d'autre moins : au XVII^e siècle Démià et à sa suite Jean Baptiste de la Salle mettent en œuvre une forme d'enseignement mutuel destiné aux enfants pauvres ; Madame de Maintenon fonde « les demoiselles de Saint-Cyr », au

XVIII^e siècle, l'expérience de Herbault qui met en place une stratégie d'apprentissage de la lecture et se dote des moyens pour la rendre opérationnelle est sans doute moins connue, de même que celle de Pawlet qui créa une école pour les jeunes orphelins. Même s'il faut se méfier d'une lecture anachronique, l'auteur met bien en évidence le fait que les pédagogues de cette époque étaient confrontés à des problèmes aussi complexes que ceux d'aujourd'hui pour lesquels le monitorat permettait d'apporter un certain nombre de réponses opérationnelles. Un paragraphe très bref est consacré au compagnonnage, lequel est assez éloigné du propos de l'auteur. L'Enseignement Mutuel qui se développe au XIX^e siècle sous la poussée de la révolution industrielle fait l'objet de développements plus substantiels qui mettent en lumière le rôle de pont joué par celui-ci entre les précurseurs et en particulier Comenius et les formes modernes du tutorat, notamment le Learning Through Teaching mentionné plus haut. L'auteur insiste également sur le rôle joué par l'Enseignement mutuel dans la valorisation de l'enseignement, des enseignants et de l'acte d'enseigner, permettant que la question scolaire devienne un enjeu national et annonçant l'Âge d'or du pédagogique qu'il situe sur la période qui s'étend de 1880 à 1970 et dont le chapitre deux nous livre le foisonnement. Nous retrouvons, outre les tenants des utopies socialistes et communistes (Proudhon, Cabet, Makarenko), toutes les figures phares de la pédagogie nouvelle (Dewey, Claparède, Montessori, Cousinet, etc.), de la pédagogie coopérative de Freinet, et de la pédagogie institutionnelle de Oury. De manière un peu plus inattendue, on trouve un paragraphe consacré à « Bachelard et la pédagogie de l'attitude objective » qui s'appuie sur l'ouvrage de référence pour la didactique des sciences « La formation de l'esprit scientifique » (Bachelard, 1938).

Le chapitre trois, « Apprendre en enseignant », décrit plusieurs expériences fondées sur le principe du Learning Through Teaching, qui se développe dans la deuxième moitié du XX^e siècle dans différents pays (États-Unis, Angleterre, Belgique), en insistant sur plusieurs points essentiels qui distinguent cette forme de tutorat du monitorat

mis en place dans l'Enseignement mutuel. Il s'opère un premier renversement puisque ces dispositifs visent non plus à l'enseignement entre pairs, mais à l'apprentissage entre pairs, introduisant ainsi une symétrie entre tuteur et tutoré, qui se traduit par le fait que le tuteur n'est plus nécessairement un élève avancé et que les rôles peuvent être éventuellement échangés. Le tutorat entre pairs apparaît ainsi de manière prioritaire comme agent d'intégration sociale, avec de nombreux programmes de lutte contre l'échec scolaire et de développements communautaires ainsi que comme un moyen de favoriser le développement personnel. L'auteur présente enfin ce qu'il appelle le tutorat instrumentalisé, expression qui désigne « tous les dispositifs de tutorats entre pairs où les tuteurs mettent en place une technique particulière d'acquisition, de transmission, de renforcement d'un savoir faire. » (p. 105). Pour clore ce chapitre, l'auteur décrit les travaux conduits en France par l'INRP dans les années quatre-vingt sur les possibilités de l'entraide pédagogique chez des enfants d'âge scolaire.

Le chapitre quatre décrit différentes formes de tutorat dans des contextes variés. Les réseaux d'échanges de savoirs, inspirés des modèles de l'entraide pédagogique, s'appuient sur les notions de communication, échanges entre les personnes, circulation et réciprocité des savoirs. Ils sont constitués en un mouvement qui, depuis la fin des années quatre-vingt, se donne pour tâche la réinsertion sociale, en développant en particulier la parité et l'égalité des personnes impliquées. L'auteur écrit que, dans ces réseaux, « L'essentiel n'est pas tant la possibilité de transmettre et d'acquérir des savoirs, mais une meilleure confiance en soi, le développement de la capacité à apprendre et faire apprendre, l'explicitation d'un savoir sur les savoirs » (p. 122) ; ainsi ces réseaux sont plutôt à envisager comme un système de médiations sociales, développant des capacités métacognitives. Les pratiques de tutorat dans les entreprises, articulées à la formation en alternance font l'objet d'un paragraphe, qui annonce en quelque sorte le paragraphe suivant consacré à la fonction tutoriale dans la formation des enseignants, puisqu'en effet la problématique y est sensiblement la même : le tutorat

apparaissant comme une ingénierie de la formation professionnelle, consistant en un accompagnement par des professionnels expérimentés d'apprenants en situation de travail (p. 137). On retrouve dans les deux cas les difficultés liées à l'articulation entre le lieu de travail et le lieu de la formation, et la tension entre les besoins professionnels à court terme et la nécessité de développer les aspects de la formation visant le long terme et le moyen terme. Pour la formation des enseignants, l'organisation du tutorat est encadrée par des textes officiels dont l'auteur rappelle les éléments essentiels ; il présente à titre d'exemple le cas de l'IUFM d'Aix-Marseille (où il est actuellement formateur) où le tutorat occupe une place centrale dans la formation. Le paragraphe suivant est consacré à la diversité des formes de tutorat dans l'enseignement supérieur : aide au travail personnel et aux révisions, accueil et encadrement des nouveaux étudiants, préparation aux études post-universitaires... Le chapitre se clôt par un tour d'horizon des pratiques d'accompagnement scolaire.

En introduction du chapitre cinq, l'auteur écrit : « La grande diversité des formes de tutorat à visées d'enseignement et de formation (...) pose le problème du cadre théorique susceptible d'en rendre compte. » (p. 166). L'objectif de ce chapitre, intitulé Interactions cognitives et tutorat, est donc de poser ce cadre théorique. Ayant déjà dit plus haut que le béhaviorisme qui avait sous-tendu les expériences menées à partir des années cinquante ne permettait pas de rendre compte en particulier des bénéfices cognitifs pour le tuteur, l'auteur se place résolument dans le cadre théorique du socioconstructivisme, en rappelant les différentes étapes de ce paradigme : de Piaget à Perret-Clermont en passant par Mead, Wallon, Caetano, Baldwin, Vygotski, Bruner, Doise et Mugny, Schuber-Léoni, autour de notions de tutelle, de guidage, d'étayage, de médiation sémiotique, d'interactionnisme social, de conflit sociocognitif, nature sociale de la cognition individuelle. Si les travaux des fondateurs sont assez bien connus, les travaux plus récents et leur articulation avec la problématique du tutorat font tout l'intérêt de ce chapitre. Le cadre théorique (ou plutôt les cadres théoriques) mobilisé(s) permet (permettent) de rendre compte des effets bénéfiques du

tutorat, tant pour le tutoré que pour le tuteur, et de proposer des dispositifs pédagogiques favorisant le développement cognitif de chacun.

On aura compris à la lumière de ce qui précède tout l'intérêt de cet ouvrage pour toute personne s'intéressant à la question du tutorat dans l'enseignement et dans la formation. Je voudrais cependant revenir sur certains éléments du cadre théorique proposé ici. Comme nous l'avons dit plus haut, le modèle de référence mobilisé pour penser et analyser le tutorat entre pairs est le socioconstructivisme qui s'appuie sur « un modèle ternaire de développement, emprunté à Vygotski : *sujet social – sujet individuel – objet*, en rupture avec le modèle binaire hérité de Piaget, nous dit l'auteur ». Pour l'essentiel, tout se passe dans la relation « *sujet – objet d'apprentissage* » (p. 173). Cependant, à la lecture des analyses et des exemples proposés dans la suite du texte, il apparaît que ce qui est mis ici en exergue est essentiellement la relation *sujet social – sujet individuel*, avec une insistance sur le développement des compétences métacognitives ; si bien qu'on assiste selon moi à un glissement d'un modèle binaire vers un autre modèle binaire dans lequel les objets d'apprentissages apparaissent comme secondaires. La nécessaire prise en compte des interactions langagières dans la construction des connaissances ne devrait pas aboutir à une hypertrophie du langage au détriment de l'action et de la rencontre avec les objets de savoirs. Les travaux conduits depuis près de trente ans en didactique des mathématiques, en particulier ceux de Brousseau et Vergnaud, insistent sur la nécessité de mettre en place des situations didactiques permettant d'une part à l'apprenant d'éprouver la résistance des objets et la limite de validité de ses connaissances, et d'autre part à l'enseignant de repérer les stratégies de résolutions mises en place par les élèves, en mobilisant ses propres connaissances qui comme le montre Bloch (1999) peuvent également évoluer au cours de la situation. Or ceci nécessite pour l'enseignant une connaissance fine des savoirs en jeu ainsi que des chemins d'accès possibles à ces savoirs dans une situation donnée. Or, sauf exception, ceci n'est pas le cas dans les situations de tutorat. Il ne faudrait

donc pas accréditer l'idée selon laquelle le tutorat pourrait devenir en quelque sorte un *modèle pour la fonction enseignante*, comme pourrait le laisser craindre la conclusion de l'auteur qui écrit :

« Au risque de schématiser quelque peu, disons que nous sommes passés d'une conception transmissive des savoirs et des savoir-faire à une conception constructive. Du coup le statut des experts (enseignants et formateurs) change. Il s'agit moins de faire partager les connaissances par tout un travail d'exposition que d'exercer une fonction d'étayage au sens où Bruner l'entend » (p. 262).

D'une part, l'alternative *transmission-étayage* est par trop réductrice au vu de la complexité de la tâche d'un enseignant ou d'un formateur. D'autre part, il s'agit moins selon moi d'un changement de statut pour l'enseignant que d'un changement de posture épistémique, qui nécessite pour l'enseignant une conversion de ses savoirs académiques en savoirs professionnels ; c'est le défi que doivent relever les IUFM aujourd'hui.

V. Durand-Guerrier

BISSUEL G., (2001). *Et si la physique était symbolique ?*, Besançon, PUFC (Presses Universitaires Franc-Comtoises), Coll. Didactiques, 265 p.

Issu d'un travail de thèse d'université (Université Claude Bernard, 1998) et d'expérimentation par un groupe de professeurs du secondaire, cet ouvrage propose une approche de l'enseignement de la physique centrée sur l'exploitation du registre symbolique dans la construction des connaissances par les élèves. Une première partie qui s'adresse aux didacticiens présente les fondements théoriques d'activités qui font l'objet, dans une seconde partie, de propositions de séquences d'enseignement (de Première S essentiellement).

Dans la première partie, l'auteur centre d'abord son propos sur les fonctions du symbole dans la physique ou, plus précisément, sur la place de la symbolisation dans la modélisation. Prenant en référence P. Duhem et M. Bunge et s'appuyant sur les

récents travaux en sciences humaines, G. Bissuel met en lumière les différents rôles des représentations idéographiques (moteur de la pensée, fonction d'explicitation et d'explication, expression des convictions et croyances, mémorisation) et pose en hypothèse l'effet positif *d'activités de symbolisation idéographique* pour l'enseignement et l'apprentissage de concepts scientifiques : le symbole idéographique peut jouer un rôle d'articulation entre les connaissances de l'élève et celle que le professeur voudrait qu'ils élaborent, manifestant à la fois l'intention de l'élève de construire du sens à son environnement matériel et celle du professeur d'enseigner une connaissance. Le deuxième point d'ancrage concerne spécifiquement l'enseignement de l'énergie dans ses représentations en termes d'états et de transfert. L'auteur apporte ici un regard intéressant et original dans la mise en avant des *difficultés des élèves liées aux descriptions temporelles* nécessairement présentes sous deux formes exclusives : celle de la durée et celle de l'instant. L'hypothèse correspondante est que, suivant les « croyances » personnelles des élèves (voyant le temps comme quelque chose qui s'écoule, ou bien comme une succession d'instant à l'instar de chronophotographies - cas le plus général), l'apprentissage des différentes représentations énergétiques sera plus ou moins difficile. Le troisième élément du cadre théorique concerne l'élève dans la classe, considéré comme un « *sujet intentionnel* » dans un milieu didactique (en référence à G. Brousseau) et pour lequel est introduit le concept de « *zone proximale d'apprentissage* ». Le symbole apparaît alors comme une variable didactique, c'est-à-dire un élément du milieu maîtrisable par le professeur susceptible de provoquer l'engagement de l'élève au sein de son groupe dans la construction du sens d'un événement matériel.

Dans la seconde partie, G. Bissuel présente les séquences d'enseignement qui ont été expérimentées en classes. Les thèmes traités sont essentiellement ceux du programme de Première S de 1993 autour de la question de la conservation de l'énergie : chute libre, frottement mécanique, conduction thermique, effet Joule, rayonnement, combustion,

moteurs thermiques, etc. Chaque séance, centrée sur une « situation-problème » fait l'objet d'une description comportant la question posée, les réponses attendues, les éléments du milieu didactique (situation matérielle, symboles, instruments, consignes), des éléments d'organisation sociale de la classe, les phases de dévolution et d'institutionnalisation. Par ailleurs, la prise en compte du paramètre « zone proximale d'apprentissage », appliqué à la classe a imposé la mise en place de séances spécifiques, pour l'initiation au mode de représentation symbolique non mathématique et pour l'explicitation du temps (durée *versus* instants), qui sont également présentées.

Une courte conclusion résume l'intérêt du symbole idéographique dans le cadre des relations énergie-temps, tant du point de vue de l'explicitation des systèmes explicatifs des élèves et de la rétroaction du milieu, que du point de vue de l'enseignant qui peut ainsi évaluer une zone proximale d'apprentissage. Des essais faits également en classes de Troisième et Quatrième amènent l'auteur à envisager une possible unification et mise en cohérence depuis le collège jusqu'à l'université. Une annexe permet de trouver des productions écrites d'élèves, ainsi que les différents schémas symboliques des situations physiques étudiées.

Cet ouvrage attire tout d'abord par son titre. Par sa forme interrogative, mais aussi par la question du symbolique qui s'inscrit en contrepoint avec les questions plus « traditionnelles » liées à l'expérimental et la manipulation du réel. De ce point de vue, l'enjeu a été clairement identifié par l'auteur : la manipulation symbolique peut être une voie pour la construction du sens par les élèves. Mais ceci tient peut-être d'abord à la part active donnée aux élèves dans la co-construction du savoir, et l'effet positif est sans aucun doute identique lors d'activités d'élaboration de protocoles expérimentaux. Peut-être le titre aurait-il dû être « et si la physique était symbolique, aussi ? » Peut-être faut-il dire ici que le lecteur attiré par le titre risque d'être déçu : car, loin de porter sur la physique, l'ouvrage ne porte que sur l'enseignement de la physique et, de plus, sur des questions d'énergie dans le cadre du

programme de la classe de Première S : « Et si l'enseignement de l'énergie au lycée était symbolique ? » serait plus représentatif du contenu.

Sur le fond, l'ouvrage apporte des idées originales et de quoi alimenter nos cogitations. Mais l'ensemble des éléments de la première partie est source de questions, à la fois sur la réelle prise en compte de tous ces « paramètres » didactiques (symbolisation et modélisation, registre idéographique, conceptions et croyances à propos du temps, concept d'énergie, zone proximale d'apprentissage, milieu didactique, situation problème, rôle du conte et de la métaphore, etc.) et sur les choix effectués (pas d'hypothèses explicites sur le rapport au savoir, par exemple). Mais peut-être ces questions proviennent-elles de la rédaction qui manque de hiérarchisation : tout apparaît sur le même plan et l'auteur, craignant sans doute que le lecteur n'oublie l'un des paramètres, complexifie à mesure les phrases, rendant la lecture difficile... On peut également regretter que l'auteur n'utilise pas lui-même le mode symbolique pour sa fonction d'explicitation et d'explication dans sa présentation : l'idéogramme de la page quarante-sept paraît bien seul.

Pour ce qui concerne la seconde partie, l'ensemble de tout ce qu'il y a à préparer, faire, observer, analyser, etc., pour chaque séance amène aussi à s'interroger sur la possibilité de les prendre en charge pour un enseignant ou un formateur non intégré dans l'équipe de recherche... Là encore, cette partie souffre de son foisonnement : la succession des paragraphes aux indentations parfois multiples et celle de titres de niveau et de numérotation variables d'une page à l'autre déstabilisent la lecture.

Paraphrasant un paragraphe de la préface, on peut dire que cet ouvrage permet de découvrir, à propos de l'enseignement de l'énergie, des études réalisées dans les différents champs de la didactique telle qu'elle est développée à l'université Claude Bernard Lyon I, mais que celui-ci n'est pas achevé dans sa rédaction. Il concerne donc d'abord les enseignants et formateurs ayant une formation didactique.

D. Beaufile

DEPOVER C., NOËL B., (Éds) (1999). *L'évaluation des compétences et des processus cognitifs : modèles, pratiques et contextes*. Paris, Bruxelles, De Boeck, 351 p.

Cet ouvrage, publié dans la collection « Pédagogies en développement » dirigée par Jean-Marie de Ketele, est issu d'un colloque international qui s'est tenu à Mons sous l'égide de l'ADMEE (Association pour le Développement des Méthodologies d'Évaluation en Éducation). Ce sont vingt contributions (sélectionnées par les membres du comité scientifique du colloque) abordant « l'évaluation des processus cognitifs en situation d'apprentissage » qui y sont réunies.

Par la diversité des auteurs et des thématiques présentées, cet ouvrage donne une bonne idée de l'évolution des idées concernant l'évaluation (on peut prendre comme référence l'ouvrage de J. Cardinet publié dans la même collection). Sous l'influence du béhaviorisme, les spécialistes de l'évaluation se sont en effet pendant longtemps exclusivement intéressés aux performances résultant du processus d'apprentissage. Les approches cognitives, en s'intéressant aux processus mentaux, fournissent des modèles permettant de comprendre les réponses produites par les élèves en situation d'apprentissage. En somme, il ne s'agit plus seulement de « mesurer » les connaissances acquises mais de rendre compte des processus qui sous-tendent leur formation. Comprendre l'élève au plan cognitif est une nécessité liée aux nouveaux rôles attribués aux enseignants dans des pédagogies qui s'inspirent du constructivisme et du socio-constructivisme. Les fonctions de tutelle et de médiation en situation de résolution de problèmes sollicitant des démarches de construction de connaissances de la part des élèves ne peuvent, en effet, être assurées que si les professeurs (ou les tuteurs matériels) sont à même de pouvoir interpréter les conduites des élèves. C'est à cet ambitieux projet que ce livre entend apporter une contribution.

Les modèles cognitifs mobilisés dans cet ouvrage empruntent majoritairement au courant computationnaliste : le psychisme

est vu comme un système de stockage (mémoire) et de traitement de l'information doté de sous-systèmes assurant des fonctions cognitives spécifiques (représentation, contrôle, inférences, etc.) Ainsi, dans le premier chapitre (rédigé par Jacques Grégoire) intitulé « Que peut apporter la psychologie cognitive à l'évaluation formative et à l'évaluation diagnostique ? », l'auteur présente la théorie ACT (*Adaptive Control of Thought*) d'Anderson. Cette théorie (bien connue dans le champ de la psychologie cognitive) est une théorie de la représentation des connaissances en mémoire qui distingue les connaissances procédurales (stockées en Mémoire à Long Terme - MLT) sous forme de blocs d'informations – *chunks*) et déclaratives (stockées sous forme de règles de production) activées par les contextes que rencontrent les sujets. Elle postule que l'espace dans la mémoire de travail étant limité, certaines activités cognitives doivent être réalisées de manière automatique sans transiter par cet espace. Ce modèle qui a fait l'objet d'une diffusion très active dans les milieux de l'éducation et de la formation aux États-Unis intéressés par la conception de « tutoriels intelligents » destinés à l'apprentissage des mathématiques, sert d'arrière-plan théorique à de nombreuses contributions. Jacques Grégoire affirme que cette théorie est « une des seules théories cognitives qui soient applicables pour l'évaluation diagnostique en milieu scolaire » (p. 22). C'est ignorer les travaux en didactique qui font appel à des théories de la connaissance (théorie des champs conceptuels de Gérard Vergnaud, théorie des situations didactiques de Guy Brousseau, notamment) dont se sont inspirés plusieurs auteurs pour concevoir des outils d'évaluation diagnostique (la consultation des bibliographies en fin de chapitre montre à l'évidence que les auteurs réunis dans l'ouvrage ignorent largement les travaux en didactique). On ne peut que le regretter car les didactiques ont conduit à développer des modèles de la connaissance et des activités qui y sont liées qui ouvrent des perspectives intéressantes dans le domaine de l'évaluation [cf. par exemple, LOPES J. B., COSTA N. WEIL-BARAIS A., DUMAS-CARRÉ A. (1999)]. Évaluation de la maîtrise des

concepts de la mécanique chez des étudiants et des professeurs. *Didaskalia*, n° 14, pp. 11-38.).

Malgré cette réserve importante qui limite l'intérêt de l'ouvrage pour les didacticiens, le lecteur y trouvera des contributions intéressantes : sur l'auto-évaluation (deux chapitres), l'autorégulation (trois chapitres), les compétences transversales (un chapitre), les croyances épistémiques (un chapitre), la motivation (un chapitre), le sentiment d'efficacité personnelle (un chapitre), les environnements d'apprentissage informatisés (quatre chapitres). En matière de nouveauté, on relèvera la contribution de Bruno de Lièvre et Christian Depover sur « L'analyse des processus d'apprentissage dans une situation de tutorat à distance » qui expose une démarche intéressante d'évaluation des ressources que propose un environnement d'apprentissage. Les observations rapportées montrent l'importance du tuteur humain dans la phase d'appropriation des outils.

L'unique chapitre traitant directement de connaissances scientifiques est le chapitre 17 intitulé : « WLABEL : un environnement d'apprentissage informatisé permettant le diagnostic des conceptions alternatives et la promotion du changement conceptuel », écrit par Maria J. Loureiro et Christian Depover. Le didacticiel présenté concerne l'enseignement de l'électricité au collège et au lycée. La stratégie d'enseignement implanté dans le didacticiel est classique : diagnostic des conceptions alternatives des élèves, confrontation des apprenants avec les résultats de l'application de leurs conceptions alternatives, restructuration des conceptions alternatives, application des nouvelles conceptions à des contextes variés, réflexion sur le changement conceptuel. De fait, les auteurs accordent davantage d'intérêt à la présentation de la structure du didacticiel qu'aux raisons qui ont justifié les choix de contenus de connaissance et d'activités.

Compte tenu du nombre des contributions présentes dans l'ouvrage, l'écriture reste nécessairement à un niveau général. Les outils d'évaluation ne sont pas inclus, ce qui laisse le lecteur sur sa faim. Fort opportunément, on trouve en fin d'ouvrage les adresses postales et électroniques des auteurs.

De cet ouvrage, on retiendra en particulier les interrogations sur les processus d'autorégulation des apprentissages et sur l'autonomie, l'importance des croyances épistémiques et surtout l'intérêt de pouvoir travailler sur les traces du processus d'enseignement-apprentissage afin de pouvoir faire des conjectures sur l'origine des réponses des élèves ainsi que sur les différences inter-individuelles. La question des modèles du fonctionnement cognitif qui permettent de donner sens à ces traces est, bien entendu, fondamentale. De ce point de vue, on peut regretter le cloisonnement théorique qui a conduit à ignorer les didactiques, alors que ces dernières ont largement contribué à enrichir les approches cognitives en introduisant la connaissance dans le système à étudier : le « triangle didactique » (sujet-maître-connaissance) est plus riche que le couple « sujet-situation » des cognitivistes computationnalistes, même s'il est critiquable.

A. Weil-Barais

MERCIER A., LEMOYNE G., ROUCHIER A., (Éds) (2001) - *Le génie didactique*, Bruxelles, De Boeck Université, 280 p.

Spontanément, le terme de génie évoque deux références : la première, héritée des Mille et une nuits, où Aladin fait apparaître, en frottant sa lampe merveilleuse, un être extraordinaire qui va le tirer de tous les mauvais pas éventuels : le second, plus terre-à-terre, rappelle les grandes manœuvres militaires, et ces soldats besogneux, chargés de tracer des routes, lancer des ponts, installer des campements d'étapes pour des repos éphémères. Les didactiques succomberaient-elles à l'obstacle de l'imaginaire et de l'irrationnel, suivant la première référence, ou à celui du matérialisme et de l'instrumentalisation, suivant la seconde ?

Cet ouvrage est le rassemblement de neuf contributions, outre l'encadrement de l'équipe éditoriale, à un « symposium-débat », où écriture, lectures croisées, réécritures ont permis à chacun d'affiner et de compléter son point de vue ; les textes définitifs gardent toutefois la coloration des sensibilités

originelles de chacun. Malgré la diversité de fait, on peut regretter que, seulement, deux contributions ne sont pas issues d'écoles mathématiciennes. Les didactiques d'autres disciplines auraient sûrement pu apporter leur point de vue en complément, les didactiques des sciences en particulier par le travail mené depuis plus de dix années sur la place et le rôle des situations d'expérience dans les apprentissages. Cette lacune est d'ailleurs largement repérable dans la conclusion (p. 247) où la seule référence est faite à Lazerges et sa « fameuse » conférence (1966).

On n'en adhère pas moins à la conclusion des éditeurs : ce travail se place « dans le cadre d'une évolution importante de (...) la demande sociale d'éducation et de formation » ; la prolifération actuelle de textes officiels ou quasi-officiels, déclarant apporter les solutions aux difficultés du Système éducatif doivent très fortement interroger (interpeller ?) les diverses communautés de didacticiens.

On trouve dans cet ouvrage des témoignages, des exemples, des analyses de situation innovantes, tous pleins d'intérêt (chapitre 1, 2, 3 et 4), évoquant les questions que beaucoup se posent : la didactique peut-elle s'enseigner ? la didactique peut-elle s'appliquer, se transposer, se pratiquer ?

Plusieurs regards sont également portés, sur des pratiques socio-techniques (chapitre 5), sur la teneur d'un livre du maître associé à un manuel (chapitre 6), sur la formation même des jeunes enseignants, pour en extraire les nécessités évidentes, comme les difficultés (chapitres 7, 8, 9).

Bien peu de jeunes enseignants s'engagent aujourd'hui dans la carrière avec l'image d'un professionnel « artiste » ; par contre, un nombre encore important a l'image d'un « artisan » qui doit forger ses outils à l'aune des conseils de Maîtres d'œuvre. Combien pensent s'engager dans une carrière « d'ingénieur » ? et la didactique en serait-elle la matière d'œuvre ? Une certitude, à la lumière des contributions qui sont proches de certaines pratiques, cette matière d'œuvre a nécessité d'être travaillée dans les situations quotidiennes que rencontrent l'enseignant, la classe.

Les références théoriques, de la didactique des mathématiques essentiellement ici, mériteraient des compléments, pris dans d'autres champs disciplinaires, pour asseoir les caractéristiques d'une vraie « ingénierie » (quels sont la place et le rôle des situations expérimentales, des activités de modélisation, de simulation, par exemple, etc.), afin que ni la lampe merveilleuse ni le régiment et ses engins n'aient besoin d'être évoqués, chassant ainsi l'irrationnel, mais sans tomber dans une instrumentalisation hors de propos.

J. Toussaint