



## Adresse du Président de l'Institut National de Recherche Pédagogique

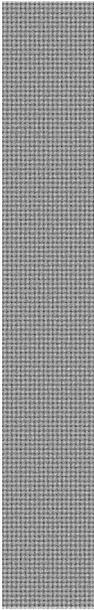
**Pierre LÉNA**

Université Denis Diderot et Observatoire de Paris,  
92195 MEUDON Cedex

Les savoirs s'accroissent à une échelle encore jamais atteinte. Non seulement leur volume croît, mais leur échanges s'intensifient par le jeu des bases de données, des réseaux informatiques à faible ou haut débit, de la multiplication des publications scientifiques et colloques en tous genres. Dans le même temps s'accroît l'inégalité de l'accès au savoir, entre le Nord et le Sud à l'évidence, mais également au sein même des pays développés. Ce phénomène est particulièrement frappant lorsqu'il s'agit des savoirs scientifiques et techniques. Les maîtriser, ne serait-ce que modestement, favorise l'emploi, éclaire le jugement sur les choix de société, accroît la capacité d'en accompagner les mutations. Les ignorer isole, ouvre à l'illusion des pseudo-savoirs, fait perdre le contact avec la beauté et la complexité de la nature. Mais avec la complexification des savoirs, leur transmission est elle-même devenue plus difficile. Il ne suffit plus de décliner un ensemble de règles ou de connaissances. Le processus même d'apprentissage est devenu objet de science, de savoir et de savoir faire. C'est par une analyse fine de ces processus qu'augmente la productivité d'une entreprise, comme s'améliore le transfert de connaissances dans le système éducatif. On objectera volontiers que rien ne vaut un bon maître ou formateur, passionné de son sujet et tout entier dévoué à ses élèves. C'est vrai à coup sûr, l'amour de son prochain et de son métier n'a jamais fait de mal à personne. Pourtant, nous ne pouvons plus désormais

ignorer que notre cerveau, quelle que soit son extraordinaire adaptabilité, ne fonctionne pas comme une machine désordonnée, que la pensée a ses règles, même si aujourd'hui celles-ci nous apparaissent encore comme largement indéchiffrables, tels des hiéroglyphes. Voilà l'éducateur ou le maître confrontés à une problématique nouvelle. Certains improvisent brillamment, dotés par la naissance et l'entraînement d'un talent tel qu'il paraît soudain facile de "faire passer" la science. Ils montrent le chemin, sont la didactique en intuition, en acte. Mais ceux-là n'épuisent pas la nécessaire réflexion, l'expérience sur le terrain, l'analyse de ses conclusions, leur communication enfin. L'appareil théorique de la didactique peut paraître lourd à certains, voire un écran de fumée destiné surtout à masquer l'ignorance dans les disciplines concernées. Le reproche est parfois fondé, mais il serait aussi imprudent de l'ignorer que de renoncer.

Rigueur de l'évaluation, confrontation internationale des recherches, exigence épistémologique, lien étroit entre ceux qui font le savoir et ceux qui le transmettent, voici les objectifs majeurs de cette nouvelle revue en langue française. Il faut qu'elle soit de haut niveau, et pourtant lisible : ce ne sera pas une mince affaire que d'assurer ainsi une communication, une percolation du savoir entre nos prix Nobel et la longue cohorte de ceux qui veulent moderniser notre enseignement des sciences et des techniques, restaurer le goût de la démarche expérimentale face à une abstraction qui fait fuir trop de jeunes. Les Instituts Universitaires de Formation des Maîtres, étroitement liés à la recherche dans leurs Universités-partenaires, offrent l'occasion d'une étroite symbiose entre les formateurs, les futurs maîtres et ceux qui produisent le savoir « disciplinaire » dans ces Universités. Il n'est pas irréaliste d'attendre de cette fécondation mutuelle un renouveau de la recherche en éducation. Selon le "Robert", les Didascalies sont "*les instructions données par le poète dramatique à ses interprètes*", nous dirions aujourd'hui les indications de mise en scène. Le beau titre de *Didaskalia* convoque tous ceux qui sont préoccupés de cette transmission des savoirs à cette mise en scène raffinée qu'est toujours un enseignement réussi.



# Prégnance de l'explication électrostatique dans la construction du concept de circuit électrique : points de vue historique et didactique

**Abdelmadjid BENSEGHIR**

Institut de Physique  
Université de Sétif, Algérie  
et LDPES, Université Paris 7, France

**Jean-Louis CLOSSET**

Laboratoire de Didactique des Sciences  
Faculté des Sciences Agronomiques  
8, Avenue de la Faculté, B 5030 Gembloux, Belgique  
et LDPES, Université Paris 7, France

## **Résumé**

*Dans cet article on étudie la construction du concept de circuit électrique du double point de vue historique et psychogénétique. Dans les deux cas, on montre que la connaissance préalable d'électrostatique constitue un cadre de référence déformant pour la construction du concept de circuit électrique. On met en évidence un processus de réinvestissement électrostatique qui consiste à focaliser son attention sur les pôles du générateur où se trouvent accumulées, même en circuit fermé, des charges constituant l'élément essentiel d'analyse du circuit.*

**Mots clés :** *électrostatique, électrocinétique, histoire, didactique, représentation.*

## **Abstract**

*This study deals with the construction of the concept of an electrical circuit considered from two points of view, historical and psychogenetic. In both cases we show that the previously acquired knowledge of electrostatics is liable to be a "misleading framework" for constructing the concept of an electrical circuit. We provide evidence of a process of reinvestment of their electrostatic knowledge : students focussed their attention on charges located at the generator's terminals, even in a closed circuit, these charges being seen as the essential elements in the analysis of the circuit.*

**Key words :** *electrostatics, electrokinetics, history, teaching, conception.*

Le circuit électrique est une réalité aujourd'hui tellement familière qu'on en oublierait les difficultés d'élaboration du concept correspondant par les élèves. Divers travaux ont été consacrés à ce sujet. Qu'il s'agisse d'élèves en âge d'école primaire (Tiberghien & Delacôte, 1976), d'élèves du secondaire (Closset, 1989 ; Johsua, 1982) ou d'étudiants du supérieur (Closset, 1983), la fermeture du circuit, explicitement d'abord, implicitement ensuite, n'apparaît pas comme nécessaire. Les raisonnements mis en œuvre par les sujets sont du type linéaire causal (Closset, 1989 ; Rozier, 1988) ce qui implique l'ignorance du caractère systémique du circuit.

Nous voudrions étudier dans cet article l'impact tant au plan historique que didactique de l'explication électrostatique dans la construction du concept de circuit électrique. De la même manière que l'électrostatique a précédé historiquement l'électrocinétique, l'enseignement d'un minimum d'électrostatique, ne serait-ce que la notion de charge, précède généralement l'enseignement de l'électrocinétique. Or dans le processus de construction de connaissances nouvelles, la connaissance préalablement acquise joue le plus souvent le rôle de cadre interprétatif, voire de prisme déformant au travers duquel sont analysées les expériences nouvelles (Moscovici, 1976 ; Sanner, 1983).

Nous faisons l'hypothèse que les élèves réutilisent, dans leur analyse des circuits électriques, des connaissances électrostatiques partielles et le plus souvent mal digérées. Leurs représentations du circuit électrique pourraient donc bien avoir une composante "électrostatique" qui s'articulerait avec les autres difficultés d'élaboration du concept étudié, évoquées plus haut. Ce processus n'est pas le privilège de la psychogenèse mais pourrait aussi concerner la phylogenèse. Nous analyserons du point de vue conceptuel les phases principales de l'élaboration historique du concept de circuit électrique. Nous présenterons ensuite les résultats d'une enquête menée auprès de diverses populations d'élèves et d'étudiants en Algérie et en France. Mais nous commencerons d'abord par une brève mise au point théorique.

## 1. MISE AU POINT THÉORIQUE

Une analyse de manuels assez complète a été réalisée par l'un des auteurs (Benseghir, 1989) dont nous extrayons ici quelques informations significatives.

En 4<sup>e</sup> après avoir exposé la structure atomique d'un métal, on enchaîne sur la structure des bornes d'une pile : *"Les bornes d'une pile sont, elles aussi, formées d'atomes métalliques, mais elles ne sont pas identiques : l'une a un déficit en électrons (négatifs) d'où une charge électrique globale positive, l'autre possède un excès d'électrons ; sa charge est donc négative."* (Michaud & Lemoal, 1979)

La dissymétrie des charges aux bornes d'un générateur est évoquée ici en circuit ouvert et, dans ce cas, est légitime. Le mécanisme électromoteur de la pile est à l'origine de cette accumulation de charges, elle-même responsable d'un champ électrostatique opposé au champ électromoteur, qui empêche toute circulation de charges (le champ électromoteur représente le champ électrique qui serait équivalent au champ des forces motrices en jeu dans le générateur, lesquelles ne sont pas en général de nature électrique). Mais dans d'autres manuels (Saison et al., 1979 ; Michaud & Lemoal, 1983 ; Averland et al., 1979), la dissymétrie des charges aux bornes du générateur est présentée en circuit fermé. De là à lui attribuer la responsabilité de la circulation électrique dans le circuit, il n'y a qu'un pas que les élèves franchissent très vite comme nous le verrons plus loin.

En fait, en circuit fermé, il existe bien des charges statiques mais celles-ci sont **superficielles, réparties le long du circuit** et sans aucun rapport avec une accumulation de charges aux bornes de la pile en circuit ouvert, comme nous allons le montrer.

En régime stationnaire, le champ dans le conducteur est de divergence nulle et obéit à la loi de Gauss (divergence du champ =  $\rho/\epsilon_0$ ) du fait de son caractère électrostatique (absence de champ électromoteur dans le conducteur) ; la charge ( $\rho$ ) est donc nulle à l'intérieur du conducteur, ce qui s'interprète par la compensation locale de la charge des porteurs mobiles (électrons) par celle des atomes ionisés du réseau.

Cependant l'existence d'un champ électrostatique dans une région de l'espace impose la présence quelque part de charges statiques sources de ce champ. Deux possibilités compatibles avec les considérations précédentes peuvent a priori être évoquées :

- localisation des charges sources dans le générateur et/ou à ses extrémités,
- répartition des charges sources à la surface du conducteur jusqu'aux extrémités du générateur.

Le premier modèle ne peut être retenu dans la plupart des configurations de circuit. Les charges sources correspondantes ne peuvent en effet produire un champ dont les lignes suivent intimement les déformations topologiques du circuit (sinuosités), et qui puisse avoir des valeurs importantes dans les parties éloignées du générateur (dans des portions fortement résistantes par exemple).

Le second modèle est susceptible par contre de répondre à ces contraintes. L'obtention d'un champ local correspondant au courant de conduction permanent est tout à fait concevable à partir d'une distribution adéquate de charges statiques superficielles.

Benseghir (1989) a réalisé une étude plus détaillée de la littérature à ce sujet à laquelle nous renvoyons le lecteur intéressé. Nous concluons simplement en signalant que l'ordre de grandeur des charges superficielles est généralement très faible devant celui des charges dynamiques en jeu dans le circuit (Jouguet, 1955 ; Rosser, 1970).

Les charges statiques superficielles ne sont en général pas étudiées à l'université et a fortiori encore moins dans le secondaire. Il est vrai qu'elles n'interviennent pas dans l'analyse quantitative du circuit, préoccupation majeure de l'étude de l'électrocinétique dans la majorité des cursus. Mais ceci ne justifie en rien une focalisation excessive sur les pôles des générateurs au détriment de l'aspect essentiel du circuit électrique qu'est la nécessité de sa fermeture. Que de telles difficultés subsistent encore, au niveau des manuels, au niveau des élèves, comme nous le montrerons par la suite, et sans doute au niveau des maîtres, paraîtra peut-être moins surprenant si on analyse, au plan historique cette fois, les étapes principales de l'élaboration du concept de circuit électrique.

## **2. GENÈSE HISTORIQUE DU CONCEPT DE CIRCUIT ÉLECTRIQUE**

### **2.1. La "science de l'électricité" au début du XIX<sup>e</sup> siècle**

La "science de l'électricité", ancêtre de l'actuelle électrostatique constituait jusqu'à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle la seule approche de l'électricité. Au tournant du siècle, suite aux expériences de Galvani (1789) et à la mise au point du premier électromoteur par Volta (1800), les phénomènes d'électricité dynamique s'imposent comme un fait scientifique. Nous allons montrer comment, historiquement, les connaissances sur l'électricité statique ont fait obstacle à la formation des concepts d'électrocinétique et particulièrement à celui de circuit électrique.

Deux types de phénomènes constituent l'objet de la "science de l'électricité" : les attractions et les répulsions entre corps électrisés d'une part, les décharges électriques occasionnant des effets divers (étincelles, commotions, etc.) d'autre part.

Les propriétés électriques observées sont considérées comme les manifestations d'une substance spécifique présente sur les corps électrisés : "*le fluide électrique*". Il s'agit d'une matière subtile, impondérable, incompressible et douée d'un pouvoir hypothétique d'élasticité et d'expansibilité désigné par les termes de "*vertu ou force expansive*". Le substantialisme de l'époque est patent (Bauer, 1948). Nous le retrouverons aussi chez les étudiants.

Selon la théorie des deux fluides, présente surtout en France, deux espèces d'électricité sont définies par rapport à un certain "état naturel" des corps ainsi décrit : "*L'on sait que tous les corps contiennent une certaine quantité de fluide électrique ; que l'on peut regarder ce fluide comme étant composé de deux fluides différents ; savoir : de fluide vitré ou positif, et de fluide résineux ou négatif ; que tant que ces deux fluides, constituant le fluide électrique, sont combinés, ils ne manifestent leur présence d'aucune manière ; mais aussitôt que par l'effet de quelques circonstances l'un ou l'autre, ou tous les deux, deviennent libres, ils donnent aux corps qui les recèlent ou à la surface desquels ils se trouvent, la propriété de s'attirer ou de se repousser.*" (Thenard, 1813)

Au seuil du XIX<sup>e</sup> siècle, la "science de l'électricité" bénéficie chez les physiciens d'une grande crédibilité. Haüy, faisant état de ce sentiment, écrit en 1803 : "*L'électricité enrichie par les travaux de tant de physiciens distingués, semblait être arrivée au terme où une science n'a plus de pas importants à faire et ne laisse à ceux qui la cultiveront par la suite que l'espoir de confirmer les découvertes de leurs prédécesseurs et de répandre un plus grand jour sur les vérités dévoilées.*" (Haüy, 1803). C'est dans cet état d'esprit que seront reçues et interprétées les premières expériences d'électro-dynamique.

## 2.2. Transition électricité statique - électricité dynamique

Réalisées à partir de 1789, les expériences de Galvani mettent en jeu, pour la première fois de façon systématique, une situation de circuit fermé. Leur principe général est de mettre en contact deux métaux différents (argent et zinc par exemple) et de les relier, l'un au muscle d'un animal, l'autre au nerf de ce muscle (Fig. 1). Au moment où un tel dispositif, "*cercle ou chaîne galvanique*" dira-t-on en la circonstance, est fermé, le muscle "*éprouve des convulsions*".

L'interprétation de ces phénomènes qui comptent parmi les premiers effets d'électricité dynamique observés jusqu'alors pose la question de l'identification de leur agent causal. Dans l'immédiat, à défaut d'avoir une quel-

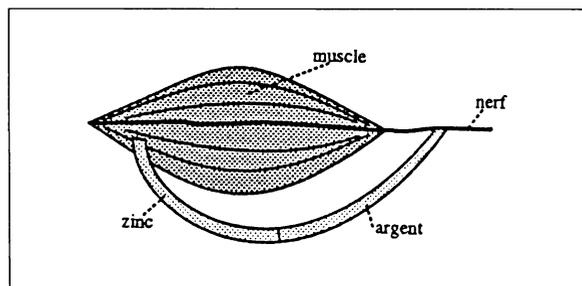


Figure 1 : Cercle galvanique

conque idée sur le fait nouveau, on l'associe à une substance de nature non spécifiée : le "*fluide galvanique*".

La première hypothèse qui apparaît dans un effort d'interprétation appartient à Galvani lui-même et s'inscrit dans une optique vitaliste influente à l'époque : il s'agirait du "*fluide nerveux électrique*", une électricité existant dans les corps organisés. S'opposant à cette thèse de "*l'électricité animale*", Volta soutient dès 1792 l'idée que le "*fluide galvanique*" n'est autre chose que le "*fluide électrique*" commun (Volta, 1801a). Il attribue l'origine de ce fluide au contact de deux métaux différents et situe donc le déséquilibre électrique dont parle Galvani, dans "*l'arc conducteur*".

Mais Volta lui-même, devant la difficulté d'apporter à l'appui de ses conceptions des arguments expérimentaux à partir du "*cercle galvanique*" fermé, est amené à opérer en **circuit ouvert**, déplaçant ainsi le problème au **domaine électrostatique** (Polvani, 1949 ; Varney & Fischer, 1980). Il décrit son expérience ainsi : "*L'un et l'autre (argent et zinc) bien nettoyés et polis, se touchant immédiatement par un ou plusieurs points, déplacent le fluide électrique, rompent son équilibre, de manière à ce qu'il passe de l'argent au zinc, se raréfie dans l'un et se condense dans l'autre, s'y maintient avec ce double état de raréfaction et de condensation...*" (Volta, 1801b)

Pour expliquer l'électrisation par contact, Volta fait intervenir une entité encore mal définie, la "*force électrique motrice*", siégeant à la surface de contact de deux métaux différents et responsable du déséquilibre électrique entre ceux-ci. S'inspirant de cette "*théorie du contact*", Volta réalise vers la fin de 1799 le premier "*électromoteur*" : celui-ci consiste en un empilement alterné de couples identiques de métaux différents et de pièces de cartons humidifiées, dont le rôle présumé est simplement de conduire le fluide électrique et d'éviter l'annulation de l'effet additif du développement de l'électricité de ces couples.

Volta semble maintenant bien différencier entre les effets électrostatiques de la pile en circuit ouvert et les effets produits quand celle-ci est en circuit fermé. Pour rendre compte de ces derniers, Volta fait assumer à la

même “force électrique motrice” le rôle d’impulser de façon continue, le fluide électrique dans le “cercle conducteur” faisant penser à un régime permanent. C’est ainsi qu’il écrit : “...les métaux et autres corps différents ne sont pas seulement tels, ou de simples conducteurs, corps perméables au fluide électrique [...], mais de vrais excitateurs ou moteurs perpétuels de ce fluide, de manière à former quand [...] ils sont mis en contact, une chaîne continue et rentrante ou, ce qui est le même, à compléter un cercle conducteur, **qui entretient un courant électrique continu et non ralenti.**” (Volta, 1802)

### 2.3. Réinvestissement électrostatique

Les physiciens français de l’Institut auprès desquels Volta défend sa thèse en 1801, dont certains ont grandement contribué à l’essor de la “science de l’électricité”, acceptent fort mal l’aspect dynamique de cette théorie (Brown, 1969) et ne retiennent d’elle que le principe, en circuit ouvert, de l’électricité par le contact. Dans le rapport rédigé par Biot (Biot, 1801) à l’instigation d’une commission de l’Institut, l’idée d’un “courant continu de fluide électrique” disparaît complètement. Haüy qui se réfère à ce rapport semble cautionner cette omission en manifestant sa circonspection à propos de l’idée d’impulsion du fluide électrique : “Ce célèbre physicien [Volta] paraît admettre une impulsion qui agit pour chasser dans le zinc une partie du fluide électrique que possédait le cuivre [...]. **Nous avons préféré d’en user ici comme par rapport à l’électricité produite par le frottement ou par la chaleur, c’est-à-dire de nous borner au simple énoncé des faits, sans entrer dans la considération de la force motrice qui ne semble pas encore bien connue.**” (Haüy, 1803b)

Cette tendance à réduire le nouveau au familier, que nous observerons aussi chez les élèves, fait apparaître ici la “science de l’électricité” comme le cadre approprié pour étudier les phénomènes obtenus avec la pile de Volta. Ainsi Haüy poursuit en écrivant : “Les nouvelles recherches qui restent à faire pour dissiper le nuage encore répandu sur cette partie de la science, ne peuvent avoir pour résultat d’établir une distinction essentielle entre le galvanisme et l’électricité, mais seulement de concilier l’électricité avec elle-même.” (Haüy, 1803b)

Ce mouvement de réinvestissement de l’acquis “électrostatique” a pour support l’analogie de la pile avec la bouteille de Leyde. Dans cet ordre d’idée Pouillet écrit près de cinquante ans plus tard : “La pile de Volta est donc une véritable bouteille de Leyde qui se rechargerait d’elle-même et qui ne s’épuise qu’après un temps très long, au lieu de s’épuiser après chaque décharge comme une batterie ordinaire.” (Pouillet, 1847)

Les phénomènes en jeu sont ainsi appréhendés au travers de conceptions relatives à des phénomènes usuels, modifiées de façon minimale pour intégrer les traits phénoménologiques nouveaux. Il s’agit là d’un fait épistémologique assez général (Kuhn, 1973), observable notamment en cours d’enseignement (Johsua, 1988).

L'implication principale du réinvestissement électrostatique est d'ordre méthodologique. Les conceptions précédentes entraînent les physiciens concernés à focaliser leurs recherches sur la pile isolée, c'est-à-dire en circuit ouvert (Brown, 1969 ; Blondel, 1982). On ne pouvait ainsi "voir" dans les phénomènes nouveaux que ce que l'on était disposé à "voir". A ce sujet, on peut lire chez Pfaff : "*C'est aussi dans cet état, avant la réunion des deux extrémités pour former la chaîne proprement dite, que le phénomène s'offre dans sa plus grande simplicité et qu'on peut espérer saisir plus sûrement les conditions vraiment essentielles que dans le cas d'une combinaison plus compliquée.*" (Pfaff, 1829)

Outre la reproduction et l'étude des effets "électroscopiques", les savants s'efforcent obstinément, au moins jusqu'à la découverte d'OErsted en 1820, de produire des effets chimiques et magnétiques à partir des pôles d'une pile isolée. Dès les premières réalisations de l'électrolyse de l'eau, on cherchera à produire des gaz par action directe des pôles de la pile. Cette procédure schématisée en figure 2 est évoquée par exemple par Cuvier : "*... tous devaient commencer par une recherche semblable, par voir si on parviendrait à produire les deux gaz dans des eaux séparées. Si ces eaux sont absolument isolées, les gaz ne se montrent point...*" (Cuvier, 1801)

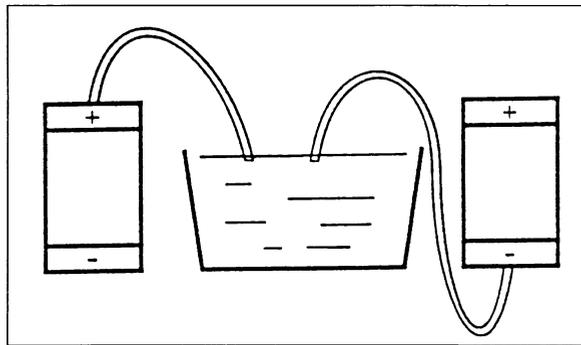


Figure 2 : Dispositif expérimental de De La Rive

En dépit du fait que leur caractère inopérant soit reconnu, ces procédures sont reprises par des physiciens de renom tel que De La Rive, qui note en 1825 : "*Ainsi je me suis assuré qu'on ne réussit point à produire de décompositions chimiques en plongeant uniquement dans le liquide l'un des pôles de la pile, et pas mieux en plongeant les deux pôles opposés de deux piles différentes.*" (Fig. 2).

Réalisées en 1820, les expériences d'OErsted inaugurent en quelque sorte la deuxième transition entre l'électricité statique et l'électricité dynamique. Elles permettent de mettre en évidence la déviation d'une aiguille aimantée placée près du fil conducteur reliant les pôles d'une pile voltaïque.

Rompant avec les démarches expérimentales de ses contemporains, OErsted explique clairement la nécessité opératoire de fermeture du "circuit" pour produire le nouveau phénomène. Mais il reporte la causalité sur les deux pôles en parlant du "*conflit électrique*", terme réservé au XVIII<sup>e</sup> siècle aux effets de décharge entre pôles (Bauer, 1948).

Bien que les travaux d'Ampère à partir de 1820 montrent des propriétés communes à la pile et au conducteur de connexion (déviation d'aiguilles aimantées), le courant électrique est encore fréquemment interprété à l'époque au moyen d'un modèle des courants antagonistes : les pôles de la pile sont considérés comme des "*sources indéfinies d'électricités contraires*" (Pouillet, 1828) alors que "*le conducteur interpolaire réunit incessamment les électricités accumulées.*" (Lame, 1837)

C'est seulement en 1836 que Peltier présentera une vue du circuit électrique quelque peu systémique : "*... la pile et le conducteur de connexion constituent un système unique dont toutes les parties sont solidaires en sorte que l'électromoteur n'est plus dans les mêmes conditions quand, par exemple, le conducteur est modifié.*" (Peltier, 1836b)

### 3. ÉTUDE EMPIRIQUE

Sans prétendre à un parallélisme strict entre l'ontogenèse et la phylogénèse, nous pensons que des difficultés semblables à celles rencontrées historiquement peuvent exister au plan didactique. C'est ce que l'étude expérimentale, dont les principaux résultats sont présentés ci-dessous, va montrer.

Les populations concernées par l'étude empirique sont reprises dans le tableau 1. Elles ont en principe toutes reçu un enseignement de l'électricité dans leur cycle. Si tel n'était pas le cas, il en serait fait explicitement mention.

ALGÉRIE	FRANCE
* 2 <sup>e</sup> AS (grade 11) filiale sciences et mathématique	* 2de (grade 10) * Première (grade 11)
* 3 <sup>e</sup> AS (grade 12)	* Terminale (grade 12) filiale scientifique
* Univ. 1 première année universitaire filiale scientifique	* DEUG 1      * DEUG 2 première et seconde années d'enseignement universitaire en science

Tableau 1 : Populations

La première situation (Fig. 3) utilisée lors de l'étude empirique est directement inspirée du dispositif expérimental de De La Rive (voir Fig. 2).

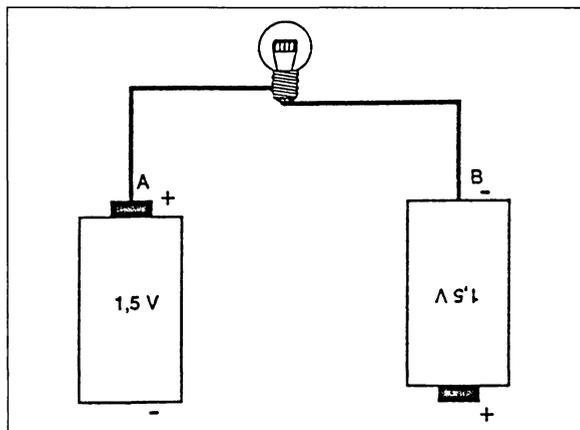


Figure 3 : Situation 1

La question est la suivante :

– L'ampoule brille-t-elle ? OUI NON Pourquoi ?

Du fait de l'absence de fermeture du circuit, il n'y a pas de différence de potentiel entre les bornes A et B et l'ampoule ne brille pas. Les fréquences des réponses obtenues sont synthétisées dans le tableau 2.

	FRANCE				ALGÉRIE	
	2de avant ens.	2de après ens.	1 <sup>re</sup>	DEUG	2 <sup>e</sup> AS	Univ. 1
OUI	69	19	10	16	55	51
NON (correcte)	31	81	90	82	44	49
S.R.	0	0	0	2	1	0
N	35	53	60	83	112	94

Tableau 2 : Situation 1

La réponse correcte (NON) est largement majoritaire dans les populations françaises après enseignement, encore qu'on puisse s'étonner qu'en DEUG 16% des étudiants estiment encore que l'ampoule peut s'allumer dans cette situation. Les justifications de la réponse correcte reposent essentiellement sur l'argument de non-fermeture du circuit électrique, souvent évoqué de façon purement opératoire comme dans cet exemple :

– “*Tout d’abord j’ai essayé et la lampe ne s’est pas allumée et pour que la lampe s’allume il faut que le circuit soit fermé et dans ce cas il ne l’est pas.*” (2<sup>e</sup> AS)

La réponse OUI est la réponse spontanée de la très grande majorité des élèves de seconde avant enseignement, ainsi que de la majorité des étudiants algériens même après enseignement. Au sujet des populations algériennes, notons qu’au second cycle du secondaire, l’électricité n’est enseignée, en Algérie, qu’en deuxième année et qu’un enseignement substantiel d’électrostatique constitue la base de l’étude de l’électrocinétique. En première année d’université la même démarche est généralement adoptée (cours d’électrostatique suivi de l’analyse des circuits électriques). Cette prépondérance de l’électrostatique renforcerait, selon nous, les dispositions des étudiants à pratiquer un réinvestissement électrostatique inadéquat.

Les justifications à la réponse OUI sont quasi unanimement argumentées sur la différence de signe des charges aux pôles comme le montrent les exemples suivants :

– “*Car les électrons de la pile 2 chargés négativement sont attirés par le pôle + de la pile 1. Ils passeront donc par le filament et allument ainsi l’ampoule.*” (DEUG 1)

– “*Car le courant électrique va normalement du + vers le -. Le circuit peut être ouvert du fait de la présence de deux générateurs.*” (Seconde)

On ne peut s’empêcher de penser ici à l’expression de Pouillet citée plus haut à propos des pôles de la pile : “*sources indéfinies d’électricités contraires*”. Une élève de 2<sup>e</sup> AS se référant à une expérience précédente affirme néanmoins que l’ampoule doit s’allumer :

– “*Car il y a, quelles que soient les deux piles [...] passage d’électrons de l’une à l’autre. Mais j’ai fait cette expérience et elle n’a pas marché.*”

Commentaire qui illustre parfaitement les propos de Greco : “*La vérité de l’idée est plus coercitive que la vérité du fait si elle provient non d’une conjecture arbitraire, mais d’une certaine logique correcte ou incorrecte ou, pour mieux dire, complète ou incomplète.*” (Greco & Piaget, 1959)

Revenant aux réponses correctes, nous voudrions montrer qu’elles ne préjugent en rien d’une maîtrise du concept de circuit électrique, l’argument opératoire dominant provisoirement les arguments de type “électrostatique”. C’est pourquoi nous avons utilisé la situation 2 suivante (Fig. 4) et posé la même question :

– L’ampoule brille-t-elle ?    OUI    NON    Pourquoi ?

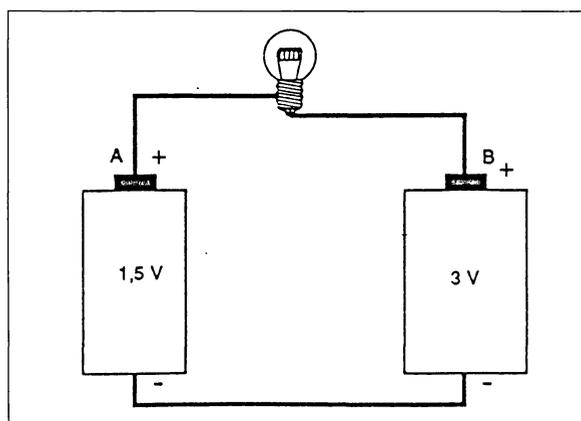


Figure 4 : Situation 2

Les fréquences des réponses obtenues sont rassemblées dans le tableau 3.

	FRANCE				ALGÉRIE		
	2de avant ens.	2de après ens.	1 <sup>re</sup>	Term.	2 <sup>e</sup> AS	3 <sup>e</sup> AS	Univ. 1
OUI (correcte)	6	24	10	41	34	20	35
NON	91	76	90	57	64	77	56
S.R.	3	0	0	2	0	3	9
N	35	21	103	44	204	71	45

Tableau 3 : Situation 2

On expliquera aisément les différences de résultats entre populations par le fait que la première classe a été interrogée avant enseignement et que les élèves de première appartiennent à des classes non spécifiquement scientifiques, alors que ceux de terminale appartiennent à une filière scientifique ; il reste que le fait dominant est que, pratiquement dans tous les cas, 60 à 90% des élèves interrogés pensent qu'il est impossible à l'ampoule de s'allumer. Quels sont leurs arguments ?

- "L'ampoule ne peut s'allumer, car elle se trouve entre deux bornes positives, et donc le courant ne circule pas." (Première)
- "Elle ne peut pas briller car il y a répulsion entre les deux pôles car ils sont tous les deux positifs." (2<sup>e</sup> AS)
- "Car pour allumer une ampoule, il faut qu'il lui arrive un courant + et un courant -, alors que dans ce schéma il lui arrive deux courants +." (Seconde avant enseignement)

Ce dernier commentaire, où l'on relève des traces du modèle des courants "antagonistes", n'est pas fondamentalement différent des autres ; ils se caractérisent tous par l'argument : "absence de dissymétrie de signe de charges aux pôles", et manifestent ici aussi un réinvestissement "électrostatique" inapproprié qui fait obstacle à la maîtrise du concept de circuit électrique. Nous parlerons à ce propos de "raisonnement électrostatique".

Ce même raisonnement "électrostatique" pollue également l'étude de l'électrostatique elle-même comme nous allons maintenant le voir avec la situation 3 (Fig. 5).

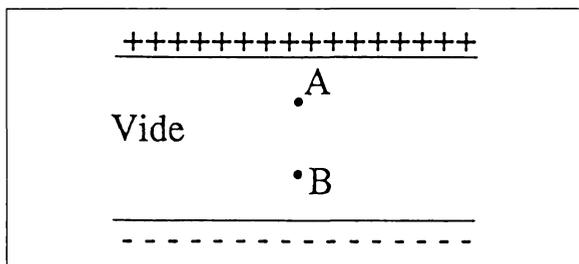


Figure 5 : Situation 3.

La question proposée aux étudiants est la suivante :  
 A et B sont deux points pris dans l'espace compris entre deux plaques conductrices chargées, l'une positivement, l'autre négativement et se faisant face dans le vide. Existe-t-il une différence de potentiel entre les points A et B ?  
 OUI NON Pourquoi ?

Le tableau 4 présente les fréquences des réponses obtenues.

	FRANCE				ALGÉRIE	
	2nde	1 <sup>re</sup>	Term.	DEUG 1	3 <sup>e</sup> AS	Univ. 1
OUI (correcte)	33	22	48	59	37	30
NON	67	64	52	32	63	65
S.R.	0	14	0	9	0	5
N	70	14	27	83	38	74

Tableau 4 : Situation 3

A l'exception d'une seule population de DEUG, la réponse très largement majoritaire est la réponse incorrecte correspondant à une absence de différence de potentiel aux points A et B, justifiée par une absence de charge en ces points comme l'illustrent les commentaires suivants :

- *“Les points A et B sont neutres. Ils ne sont pas chargés de signes contraires.”* (Seconde)
- *“A et B ne sont pas matériels. Ils ne possèdent pas de charge donc il n’y a pas de ddp entre A et B.”* (DEUG 1)
- *“A et B non chargés d’électricité ; les deux plaques ne peuvent être d’aucun effet sur les deux points.”* (2<sup>e</sup> AS)

Ainsi donc le concept de potentiel, d’un niveau d’abstraction élevé, est remplacé par celui de charge électrique, plus facilement substantialisable et disponible dans le savoir précédemment acquis. Il s’agit non seulement d’un concept de charge substantialisé, mais aussi déconnecté d’autres concepts, qui peut se suffire à lui-même, remplaçant avantageusement le champ et le potentiel. Les propriétés d’attraction et de répulsion de ces charges règlent l’essentiel des mécanismes des phénomènes dans lesquels elles sont impliquées. On retrouve ici les caractéristiques que Closset (1983) a attribué au pseudo-concept de courant utilisé par les élèves et les étudiants et qu’il a baptisé “notion” pour le différencier du concept du physicien. Le raisonnement “naturel” est ici aussi, comme en électrocinétique, essentiellement monotionnel.

## 4. CONCLUSIONS

L’analyse historique a permis de mettre en évidence, dans les démarches d’appréhension des phénomènes de courant, un processus de réinvestissement de conceptions et de procédures opératoires liées à une première approche de l’électricité statique. A la lumière des résultats de l’enquête précédente, on peut penser qu’une partie des raisonnements des élèves en électrocinétique est mobilisée à partir d’un fonds conceptuel intégrant des connaissances plus ou moins intuitives d’électrostatique. Cette analogie du “cadre de référence” de l’étude du circuit électrique sur les deux plans, historique et individuel, rend plausible l’observation de similitudes entre les démarches historiques et les raisonnements des élèves.

Le point commun le plus frappant est l’attitude de focalisation sur les pôles. Au plan historique les perspectives de recherche et d’interprétation, limitées par un cadre de référence lié à l’électricité statique, ne prenaient que peu en compte les situations de circuit fermé ; les nouveaux phénomènes ne pouvaient dès lors représenter tout au plus qu’une extension de phénomènes électroscopiques ou de décharge (au sens de l’époque). Aussi la distinction circuit ouvert - circuit fermé ne pouvait-elle être significative à ce moment. Ce contexte impliquait donc le recours à une causalité polaire. Les élèves manifestent également dans leur raisonnement une focalisation sur les pôles qu’ils “voient” comme “isolés”. Ils affectent à ces pôles des charges qui sont considérées comme l’élément essentiel de l’analyse du circuit. Dans cette perspective la distinction circuit ouvert - circuit fermé n’apparaît pas pertinente.

A partir de 1820, s'est imposée l'idée qu'en fermant le circuit on pouvait obtenir des phénomènes irréductibles à l'électricité statique. La notion de circuit ainsi dégagée n'impliquait pas néanmoins une idée claire sur la circulation électrique, mais visait surtout la continuité morphologique des montages utilisés. La focalisation sur les pôles, encore persistante, s'est adaptée à l'objet nouveau qu'est le circuit fermé : les "excès d'électricité" développés aux pôles de la pile génèrent dans le conducteur de "connexion", le "courant électrique", euphémisme désignant l'ensemble de deux "courants antagonistes". Même si la majorité des élèves testés ont dépassé ce modèle des courants antagonistes, leur comportement s'est pareillement adapté à la nécessité opératoire de fermeture du circuit : le modèle le plus fréquemment observé correspond au mouvement de charges issues d'un pôle du générateur et attirées par les charges d'un autre pôle de signe contraire.

Le parallélisme que nous avons observé trouve sans doute son explication dans une certaine économie de pensée impliquant une tendance à se fonder sur ce qui est le plus accessible du point de vue conceptuel pour appréhender le réel. Le substantialisme dont on a eu l'occasion de vérifier la prégnance sur les deux plans évoqués, serait alors à relier à cette tendance.

## BIBLIOGRAPHIE

- AVERLAND P. et al. (1979). *Physique 4<sup>e</sup>*. Paris, Hachette.
- BAUER E. (1948). *L'électromagnétisme, hier et aujourd'hui*. Paris, Albin Michel.
- BENSEGHIR A. (1989). *Transition électrostatique-électrocinétique : point de vue historique et analyse des difficultés des élèves*. Thèse. Paris, Université Paris 7.
- BIOT J.-B. (1801). Rapport fait à la classe des sciences mathématiques et physiques de l'institut national sur les expériences du cit. Volta. *Annales de Chimie*, n° 41, pp. 3-23.
- BLONDEL C. (1982). *Ampère et la création de l'électrodynamique*. Paris, Bibliothèque Nationale.
- BROWN T. (1969). The electric current in early nineteenth century french physics. In *Historical studies in the physical sciences*. Vol. 1. Princeton, Russel-Mac Cormmach, pp. 61-103.
- CLOSSET J.-L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse. Paris, Université Paris 7.
- CLOSSET J.-L. (1983). Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 931-950.
- CUVIER G. (1801). Rapport sur le galvanisme. *Journal de Physique*, n° 52, pp. 318-324.

DE LA RIVE A. (1825). Mémoire sur quelques uns des phénomènes que présente l'électricité voltaïque dans son passage à travers les conducteurs liquides. *Annales de Chimie et de Physique*, n° 28, pp. 190-221.

GRECO P. & PIAGET J. (1959). *Apprentissage et connaissance*. Paris, PUF.

HAÛY R.J. (1803). *Traité élémentaire de physique*, tome 1, 1<sup>re</sup> édition. Paris, Deterville.

JOHSUA S. (1982). *L'utilisation du schéma en électrocinétique : aspects perceptifs et aspects conceptuels*. Thèse. Marseille, Université de Provence.

JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1988). La gestion des contradictions dans les processus de modélisation en physique, en situation de classe. In *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques, actes du colloque de Sèvres, mai 1987*. Paris, La Pensée Sauvage.

JOUGUET M. (1955). *Traité d'électricité théorique*, tome 2. Paris, Gauthiers-Villars.

KUHN T.S. (1973). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris, Flammarion.

LAMÉ G. (1837). *Cours de l'école polytechnique*, tome 2, 2<sup>e</sup> partie. Paris, École Polytechnique.

MICHAUD Y. & LE MOAL Y. (1979). *Physique 4<sup>e</sup>*. Paris, Magnard.

MICHAUD Y. & LE MOAL Y. (1983). *Physique 4<sup>e</sup>*. Paris, Magnard.

MOSCOVICI S. (1976). *La psychanalyse, son image, son public*. Paris, PUF, 2<sup>e</sup> édition.

PFAFF C.-H. (1829). Défense de la théorie de Volta relative à la production de l'électricité par le simple contact, contre les objections de M. le Professeur De La Rive. *Annales de Chimie et de Physique*, n° 41, pp. 236-247.

PELTIER A. (1836). Courants électriques. Définition des expressions Quantité et Intensité. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, n° 2, pp. 475-476.

POLVANI G. (1949). L'invention de la pile. *Revue de l'histoire des sciences*, n° 2, pp. 340-351.

POUILLET C.S.M. (1828). *Éléments de physique expérimentale*, tome 1, 1<sup>re</sup> édition, p. 635.

POUILLET C.S.M. (1847). *Éléments de physique expérimentale*, tome 1, 5<sup>e</sup> édition, p. 596.

ROSSER W.G.V. (1970). Magnitudes of surfaces charge distributions associated with electric current flow. *American Journal of Physics*, n° 38, pp. 265-266.

ROZIER S. (1988). *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire*. Thèse. Paris, Université Paris 7.

SAISON A., MALLEUS P., HUBER P. & SEYFRIED B. (1979). *Physique 4<sup>e</sup>*. Paris, Nathan.

SANNER M. (1983). *Du concept au fantasme*. Paris, PUF.

THENARD L.-J. (1813). *Traité élémentaire de chimie*, tome 1, 1<sup>re</sup> édition. Paris, Guérin.

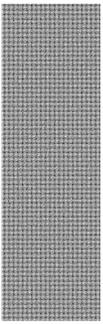
TIBERGHIEU A. & DELACÔTE G. (1976). Manipulations et représentations de circuits électriques simples par des enfants de 7 à 12 ans. *Revue Française de Pédagogie*, n° 34, pp. 32-44.

VARNEY R.N. & FISCHER L.H. (1980). Electromotive force : Volta's forgotten concept. *American Journal of Physics*, n° 48, pp. 405-408.

VOLTA A. (1801a). Lettre du professeur Volta à J.-C. De La Mètherie sur les phénomènes galvaniques. *Journal de Physique*, n° 53, pp. 309-316.

VOLTA A. (1801b). De l'électricité dite galvanique. *Annales de Chimie*, n° 40, pp. 223-256.

VOLTA A. (1802). Lettre de Volta sur l'identité du fluide électrique avec le prétendu fluide galvanique, à M. Bancks. *Journal de Chimie*, n° 2, pp. 158-169.



# Environnements multimédias pour l'étude de la physique

**L. BORGHI, A. DE AMBROSIS,  
L. FALOMO, P. MASCHERETTI**

Departement de Physique "A. Volta"  
Via Bassi 6  
27100 Pavie, Italie.

## **Résumé**

*Dans cet article, nous présentons une proposition didactique fondée sur l'utilisation de simulations reconstruisant des expériences originelles particulièrement importantes dans l'histoire de la physique.*

*Nous avons choisi des simulations relatives à des concepts fondamentaux de la statique des fluides, les expériences de Boyle sur la compression et la dilatation de l'air. Les simulations ont été insérées dans un contexte multi-média et hypertextuel réalisé afin de satisfaire aux exigences survenues au cours des essais successifs avec des étudiants de 17-20 ans.*

**Mots clefs :** *physique, histoire, expériences, simulations, hypertexte.*

## **Abstract**

*A teaching experience based on computer simulations of historical physics experiments is presented. In particular, Boyle's experiments with gases on the compression and expansion of air have been selected for their emphasis on the fundamental concepts of hydrostatics. Attention is drawn on the envi-*

*ronment we tried to create by inserting computer simulations in a multimedia approach. Testing our material with students from 17 to 20 years we have modified the initial strategy and decided to prepare a hypertext which is briefly illustrated.*

**Key words :** *Physics, history, experiments, simulation, hypertext.*

## INTRODUCTION

Au cours du travail de recherche effectué à Pavie sur l'utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement de la physique, nous avons conçu et expérimenté des stratégies didactiques pour lesquelles les simulations d'expériences de physique visent à permettre aux étudiants d'établir des liens entre l'observation d'un phénomène et sa description formelle. En général les résultats obtenus avec des étudiants d'âges différents (élèves de cours moyens, étudiants à l'université, futurs enseignants), ainsi qu'avec des enseignants en activité ont été plus que satisfaisants (Borghi & al., 1987, 1989, 1990). Nous avons en particulier mis en évidence comment les analyses de situations expérimentales observées par l'intermédiaire de simulations aident les étudiants à s'approprier les variables significatives du phénomène étudié et à établir entre elles des relations.

Dans cette perspective, nous avons conçu des simulations d'expériences historiques originelles. Habituellement, dans l'enseignement, l'évolution et les motivations conceptuelles de ces expériences ne sont en général pas prises en compte, le résultat final seul étant un objet d'étude sous forme de formule. L'idée de base est de réaliser un environnement didactique dans lequel, à travers la reconstruction d'expériences originelles, l'étudiant peut examiner le développement, même partiel, d'une théorie physique. L'élément central d'un tel environnement est une expérience simulée reproduisant les caractéristiques fondamentales de l'expérience originelle.

L'étudiant travaille ainsi dans une situation proche de la situation expérimentale, en ce qui concerne le projet et l'exécution des mesures. Il est amené à mettre en jeu sa capacité à choisir les grandeurs à mesurer, en relation soit avec les lois à établir, soit avec les limites et caractéristiques de l'appareil expérimental.

Nous supposons qu'une activité de ce type devrait permettre à l'étudiant de mobiliser ses connaissances tant sur le plan conceptuel que sur celui de ses capacités opératoires. En effet, la compréhension de l'expérience historique nécessite que l'étudiant prenne conscience et se positionne sur la théorie sous-jacente ; aussi, l'accent sera mis sur des problèmes qui peuvent, aujourd'hui encore, se poser sur ce sujet aux étudiants.

## LES PROPOSITIONS DIDACTIQUES

### 1. Les simulations

Nous sommes partis de l'hypothèse que, du point de vue de l'apprentissage, l'efficacité des expériences de laboratoire à caractère historique peut être renforcée par des simulations avec ordinateur. L'utilité des expériences historiques a été mise en évidence à travers de nombreuses recherches (Bevilacqua & Kennedy, 1983). Nous avons ainsi réalisé une première proposition didactique concernant les expériences de Galilée avec le plan incliné (Bevilacqua & al., 1990). Cette proposition est constituée de simulations, de suggestions ainsi que d'un guide contenant également des extraits de mémoires originaux.

Cette simulation a été expérimentée avec des étudiants de première année de physique de l'université de Pavie (soit 189 étudiants). Au cours de l'expérimentation, nous avons pu souvent observer les étudiants s'apercevoir avec surprise que leurs connaissances sur le mouvement ne leur permettent pas d'effectuer correctement les expériences apparemment simples qui sont proposées. Dans de nombreux cas, ils prennent conscience que des concepts qu'ils pensaient acquis et parfaitement opérationnels dans tous les contextes, ne l'étaient pas en réalité, du fait qu'ils cachaient des "profondeurs" et des "facettes" insoupçonnables. De même, des simulations des expériences de Boyle sur l'élasticité ont été expérimentées avec 57 étudiants de première année de physique.

Nous avons pu constater avec ces deux essais que l'intérêt des étudiants pour les approfondissements historiques se fait d'autant plus vif que l'exécution des simulations provoque un changement de leur façon de voir. D'autre part, l'utilisation des simulations amène à comprendre les concepts généraux en illustrant leurs valeurs et caractéristiques de manière historique. Pour cela, il paraît opportun d'élaborer une stratégie à partir de laquelle le caractère historique de l'expérience simulée et son exécution effective sont mises étroitement en interaction.

### 2. Approche multimédia

Les instruments multimédia peuvent offrir cette opportunité. Nous avons donc cherché à mettre à la disposition de l'étudiant un environnement d'étude (micromonde) centré sur des expériences historiques. Nous avons également resitué celles-ci dans leur contexte grâce à des images évoquant les conditions expérimentales originelles, et des messages acoustiques les commentant.

Les différents types de messages reçus par l'étudiant sont indiqués sur la figure 1.

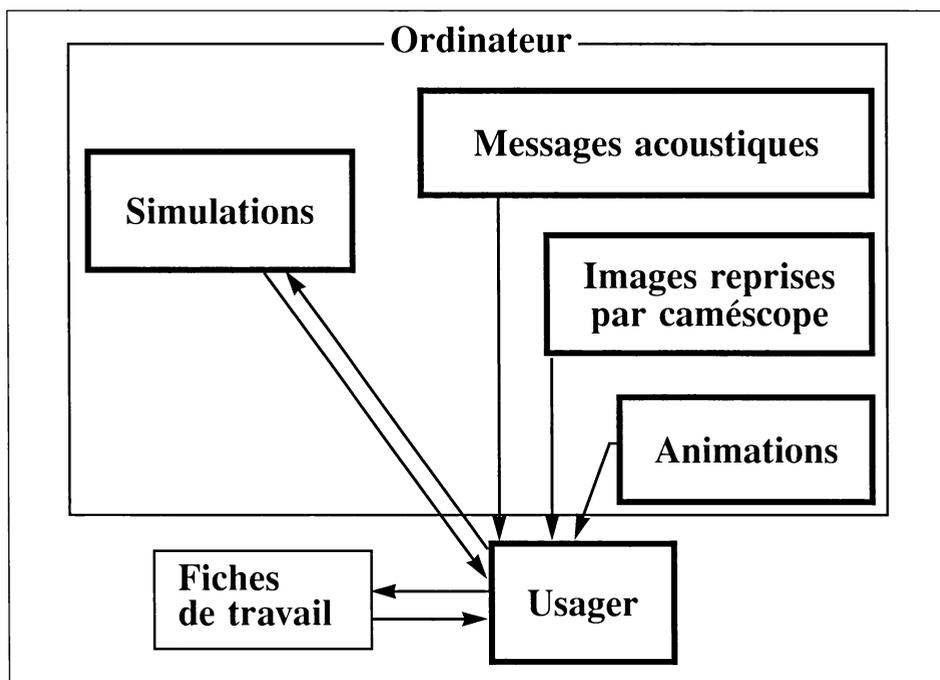


Figure 1

Nous avons fait le choix de permettre à l'étudiant de "reparcourir" un chemin analogue à celui suivi par les chercheurs. Ainsi, l'environnement comporte à la fois des messages acoustiques, des messages visuels divers et des images reprises par caméscope puis digitalisées. Les messages acoustiques ont pour objectif de réduire au minimum la consultation des informations écrites. En effet, ce type d'activité détourne l'attention des étudiants des phénomènes simulés et donc interrompt l'observation. Les images numérisées présentent les dispositifs originaux et créent une liaison entre les instruments et leur représentation schématique dans les simulations. Cette liaison peut aider l'étudiant à reconnaître dans les simulations ce qui est essentiel pour la compréhension de la physique.

En développant ce matériel, nous avons cherché plus particulièrement à :

- mettre en évidence les conditions dans lesquelles les recherches historiques ont été réalisées ;
- suggérer comment la technologie influence le projet d'expériences scientifiques ;
- mettre en relief comment la créativité peut permettre de dépasser les limites de la technologie.

## ***Les expériences de Boyle***

Cette approche multimédia a été utilisée soit pour reposer les expériences de Galilée avec le plan incliné, soit pour reconstruire les expériences de Boyle sur la dilatation et la compression de l'air (ces expériences sont décrites dans l'appendice de l'édition de 1662 de *New Physicomechanical experiments*). Les considérations qui suivent réfèrent à la proposition didactique basée sur les recherches de Boyle. Des propositions similaires ont été décrites à partir des recherches de Galilée (Borghi, 1991).

Parmi les travaux de Boyle, nous avons choisi les expériences relatives à la pression de l'air. Celles-ci nous ont semblé être un bon point de départ pour une réflexion sur les phénomènes liés à la pression.

Les problèmes de compréhension de ces phénomènes, moins étudiés que d'autres domaines de la physique, ont été mis en évidence dans plusieurs recherches (Séré, 1982 ; Engel & Driver, 1985 ; Ruggiero & al, 1985).

Les travaux de Boyle sur l'air occupent une place centrale dans l'histoire des sciences quant à la compréhension des phénomènes relatifs aux gaz. Ces travaux, où confluent les résultats et le débat relatif aux expériences de Torricelli, de Pascal et de Hooke constituent une étape décisive pour le développement de la théorie avec l'introduction d'un modèle rudimentaire de l'air. En fait, pour Boyle, l'air se comporte comme un corps élastique. A partir de ce modèle, il explique le comportement observé de l'air et propose des expériences portant sur une relation quantitative entre pression et volume.

Nous avons accordé une attention toute particulière aux problèmes de compréhension des étudiants des cours moyens supérieurs et de première année d'université. Ces problèmes se sont également posés dans le processus historique qui a conduit à la reconnaissance et la détermination de la pression atmosphérique ainsi qu'à la loi de Boyle au XVII<sup>e</sup> siècle (Matthews, 1992). Lorsque les étudiants travaillent avec des simulations, de tels problèmes émergent avec clarté. Nous avons vu en effet que ce type de travail mène à une réflexion sur les concepts de base : poids de l'air, pression atmosphérique, transmission et équilibre des forces.

## ***L'environnement et son utilisation par les étudiants***

La première expérience de Boyle est d'abord représentée par un dessin évoquant l'environnement de l'expérience (figure 2a). Elle permet à l'étudiant de se faire une idée des conditions réelles de travail. Un commentaire sonore et une animation (figure 2b) conduisent l'étudiant à utiliser la simulation de façon à exécuter directement des "mesures".

En fait, la simulation propose fidèlement les différentes phases de l'expérience de Boyle : l'étudiant peut "ajouter" de façon progressive le mercure

dans la branche ouverte du tube en U et noter la hauteur de la colonne d'air dans la branche fermée. Cette hauteur est en correspondance avec la dénivellation entre les deux surfaces de mercure. Pour évaluer de façon correcte la pression (en prenant en compte la pression atmosphérique), nous devons ajouter à la dénivellation de mercure, la hauteur du mercure dans le baromètre de Torricelli, représentée sur l'écran.

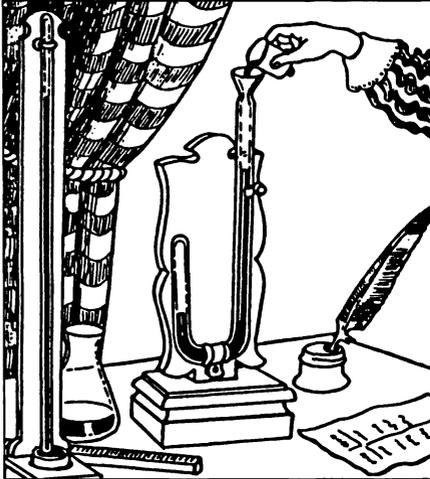


Figure 2a

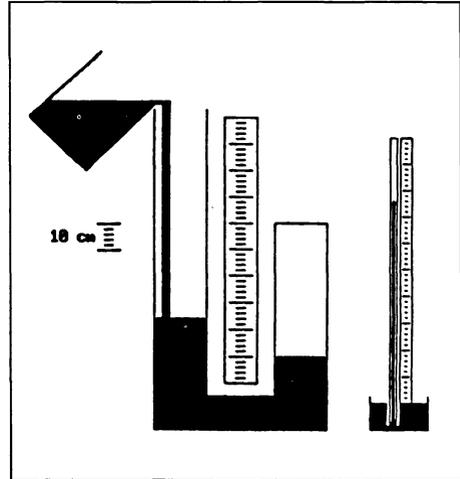


Figure 2b

Représentation de la situation expérimentale (2a) et schéma utilisé pour l'animation (2b) de la première expérience de Boyle.

Il s'agit certainement d'un point délicat dans l'exécution de l'expérience, du fait que nous devons supposer que l'étudiant a une idée claire sur la raison de la dénivellation du mercure entre les deux branches. La surface du mercure dans la branche fermée est soumise à la pression de l'air emprisonné, la surface du mercure dans la branche ouverte est soumise à la pression atmosphérique. La dénivellation du mercure fournit donc une indication sur la différence de pression entre l'air emprisonné et l'air libre. La pression de l'air emprisonné est la somme de la pression atmosphérique et de la pression hydrostatique mesurée par la dénivellation du mercure.

Comme résultat de son travail, l'étudiant peut mettre en relation, à l'instar de Boyle, la variation de la hauteur de la colonne d'air emprisonné avec la variation de la dénivellation du mercure dans les deux branches. Il pourra ainsi établir une relation entre pression et volume.

A la première expérimentation de ce type, 70 % des étudiants de première année de physique travaillant avec cette simulation ne prennent pas en compte la pression atmosphérique (ce résultat a été confirmé par celui d'un questionnaire dans lequel une situation analogue était reproduite : 10 étudiants sur 57 ont fourni des réponses correctes). La présence visible d'un tube de

Toricelli à côté du tube en U dans toutes les images illustrant l'expérience n'est pas suffisante pour attirer l'attention des étudiants sur l'importance de la pression atmosphérique. C'est seulement après avoir effectué une série de mesures et constaté que les paramètres utilisés ne permettent pas d'établir la loi de Boyle qu'ils reconnaissent avoir négligé la pression atmosphérique. Nous noterons à ce sujet que Boyle lui-même, lors de l'exécution de l'expérience, pensa nécessaire de vérifier les "effets de la pression de l'air" sur la dénivellation du mercure entre les deux branches, ce qui révèle que ce fait n'était pas encore totalement admis par la communauté scientifique de l'époque.

D'autres éléments émergeant de cette expérimentation sont les difficultés liées à la description et donc à la compréhension des phénomènes se produisant dans le tube de mercure. Face à ces difficultés, les étudiants ont recours à des formules qui font souvent obstacle à leur analyse. Par exemple, nombreux sont les étudiants qui se souviennent, puis font usage de la formule  $PV = \text{constante}$ . Cependant, l'expérience ne permettant d'obtenir des indications sur la pression et le volume qu'à partir des seules mesures de hauteurs, ces étudiants se trouvent en difficulté. Au cours de leur travail, ils se posent des questions du type : comment peut-on évaluer la pression sans connaître le diamètre du tube ? Quelle unité de mesure va permettre de l'exprimer ?

La deuxième expérience de Boyle suscite de plus vives discussions. Il s'agit ici d'étudier "l'élasticité active" de l'air, c'est-à-dire la propriété qu'il possède de se détendre à la manière d'un ressort lorsque les forces qui le compriment diminuent.

La simulation propose, à nouveau, à l'étudiant la situation expérimentale conçue par Boyle. Dans un grand récipient rempli de mercure, un tube plus fin, fermé au sommet de façon à emprisonner une certaine quantité d'air, est partiellement immergé (figure 3).

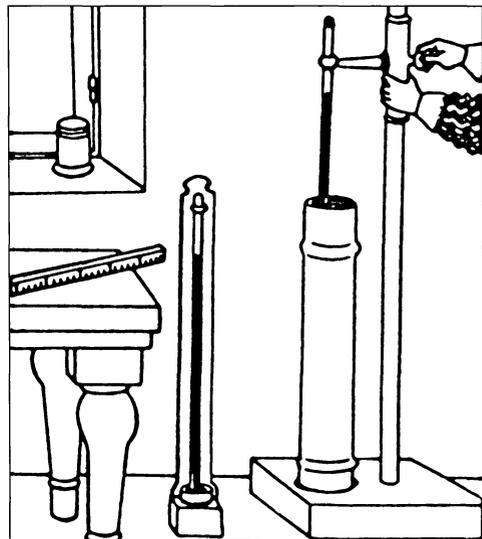


Figure 3  
Représentation de la deuxième  
expérience de Boyle.

En soulevant le tube intérieur, la pression de l'air emprisonné diminue par rapport à la pression atmosphérique. Cette diminution peut être évaluée par la mesure de la dénivellation entre les surfaces libres du mercure à l'intérieur et à l'extérieur du tube fin. Pour chaque position du tube intérieur, Boyle mesurait la hauteur  $h_a$  de la petite colonne d'air emprisonné et la valeur  $\Delta h$  de la dénivellation (figure 4) ;  $h_T$  est la hauteur de la colonne du baromètre mesurant la pression atmosphérique et  $\Delta h$  est la pression hydrostatatique. La pression de l'air emprisonné est donc donnée par  $(h_T - \Delta h)$ . L'étudiant travaillant avec la simulation peut, comme lors du premier essai, reporter dans un tableau les valeurs de  $\Delta h$ ,  $h_a$  et  $h_T$ . En utilisant une fiche de travail conçue à cet effet, il lui est possible d'aboutir à la relation  $(h_T - \Delta h) h_a = \text{constante}$ , et donc de constater que la relation entre pression et volume  $PV = \text{constante}$  est également valable.

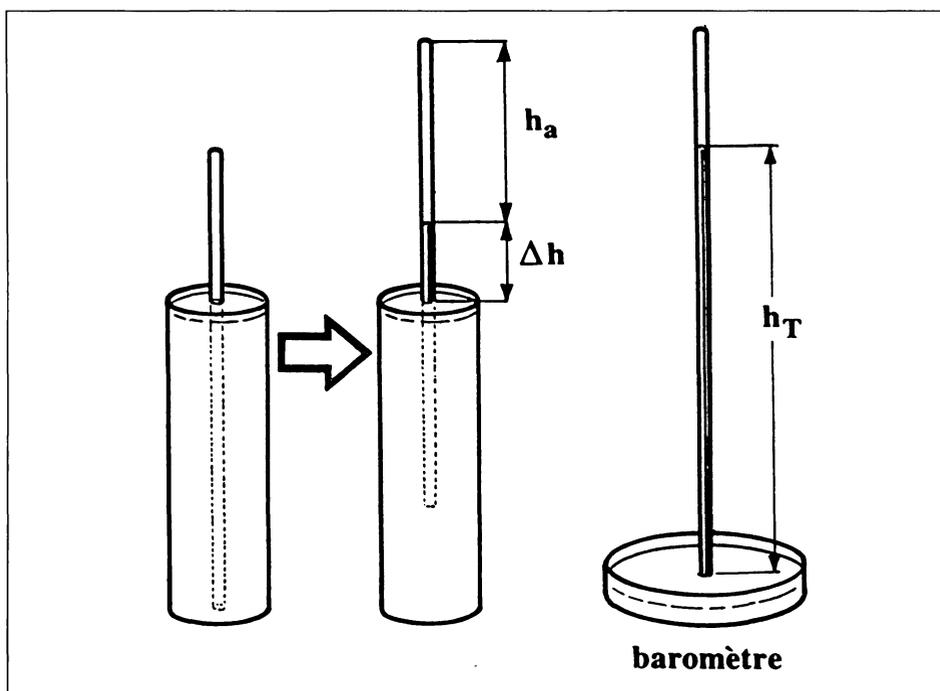


Figure 4

Les étudiants ont éprouvé une difficulté particulière à analyser cette situation d'équilibre entre les forces extérieures et la force due à la pression de l'air emprisonné. Le modèle de l'air en tant que corps "élastique" introduit par Boyle peut être d'un grand secours dans ce cas puisqu'il ramène le problème à un équilibre de forces.

Il est important de noter que le terme "d'élasticité" de l'air n'a pas une signification analogue à celle de l'élasticité d'un ressort (en fait, la relation entre la pression et le volume n'est pas linéaire contrairement à celle existant entre la force et la déformation du ressort). Pour Boyle, le terme "élastique" indiquait le fait que l'air, "*comme les autres ressorts est plus fort quand il est déformé par un poids plus grand*", mais il n'impliquait pas encore une relation précise entre force et variation de longueur.

### 3. Hypertexte

L'environnement didactique créé avec l'approche multimédia est apparu plus riche et plus stimulant que l'environnement initial basé principalement sur les simulations. Il présente cependant dans son utilisation des caractéristiques de séquences linéaires qui conditionnent le choix de l'étudiant pendant son travail. Pour cette raison, nous avons choisi de réaliser une proposition didactique hypertextuelle sur le comportement des gaz, afin de permettre des parcours plus articulés et diversifiés.

Cet hypertexte (en cours de réalisation) a été projeté pour recueillir et utiliser de manière efficace les points qui proviennent du travail sur des expériences originelles. L'utilisation des simulations soulève des problèmes et des questions auxquels nous répondons par des interventions externes (discussions collectives ou en petits groupes, lecture du guide, conseils de lectures ultérieures) ; avec l'hypertexte, il est permis à l'étudiant (ou l'enseignant) de développer sa recherche de façon autonome. Celui-ci offre la possibilité de puiser peu à peu les informations nécessaires à l'étude. Nous avons pour cela cherché à réaliser une proposition didactique permettant de donner les informations utiles à l'étudiant pour la compréhension des phénomènes relatifs aux gaz, sans pour autant le forcer à prendre une direction précise.

La figure 5 représente une image vidéo de l'hypertexte qui peut être utilisée par l'utilisateur pour changer l'orientation de la "navigation".

Selon la logique de l'hypertexte, les différentes zones indiquées sur la figure sont les aires auxquelles l'utilisateur peut directement accéder sans obstacle de parcours. Nous avons cependant choisi de présenter initialement les relations entre ces aires à travers l'image d'un arbre, afin de suggérer un parcours que nous jugeons efficace d'un point de vue didactique pour l'utilisation de l'hypertexte.

Comme le montre cette figure, le contenu des aires est de trois types : essais originaux, ressources, approfondissements historiques.

Dans la présentation, l'utilisateur est informé du travail de Boyle, travail ensuite repris selon des modalités "expérimentales" dans l'aire des simulations : ces dernières permettent la répétition des expériences qui ont conduit à la loi de Boyle.

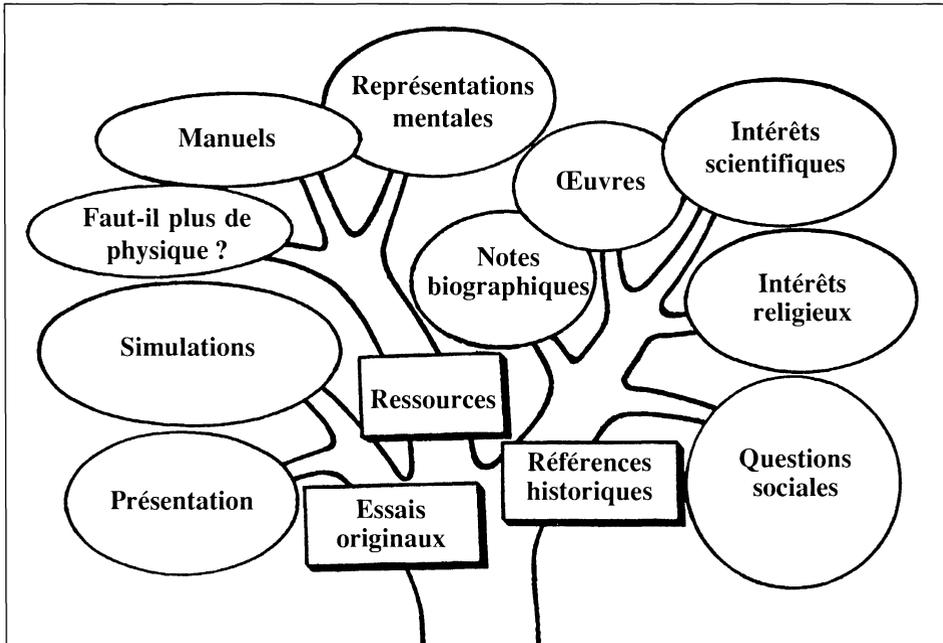


Figure 5 : Page vidéo de référence représentant les aires de l'hypertexte.

Nous tenons comme particulièrement significative la section intitulée "Faut-il plus de physique ?". Cette section contient des informations sur les concepts de base et sur la réalisation d'expériences de laboratoire. Certaines de ces expériences sont réalisables en ayant recours à des données élaborées et récoltées à partir des dispositifs MBL (Thornton, 1990). Les deux autres types de ressources sont conçus comme des instruments de réflexion sur les moyens les plus usuels de présentation de l'argument (manuels) et sur les stratégies cognitives documentées en littérature (représentations mentales).

Les sections concernant les références historiques ont essentiellement pour objectif de mettre en évidence l'importance de situer un travail scientifique dans le contexte historique où il s'est développé. L'hypertexte fournit, en dehors des informations bibliographiques sur le travail de Boyle, d'amples extraits de ses écrits originaux ("Œuvres"). Il présente dans la section "Intérêts scientifiques" une documentation sur les scientifiques qui ont participé avec Boyle à la construction des fondements de la connaissance scientifique moderne. Enfin, la section "Questions sociales" replace les intérêts de Boyle dans un contexte économique et social plus large.

A l'avenir nous avons l'intention d'utiliser l'hypertexte avec des étudiants en première année de physique à l'université et des enseignants d'école primaire, dans le but d'observer dans quelle mesure cet hypertexte peut favoriser un apprentissage autonome chez des personnes de bagages différents.

Par ailleurs, nous projetons de vérifier si l'organisation actuelle de l'hyper-texte est bien adaptée, en ce qui concerne plus particulièrement le contenu de chaque section et la variété des outils (animations, simulations, suggestions d'activités expérimentales) à la disposition des usagers.

## BIBLIOGRAPHIE

BEVILACQUA F. & KENNEDY P.J. (Eds) (1983). *Proceedings of international conference on using history of physics in innovatory physics education*. Pavia, Pavia University and ICPE.

BEVILACQUA F., BONERA G. & MASSARA C.I. (1987). *La caduta dei gravi : un'analisi storica*. Ivrea, Olivetti.

BEVILACQUA F., BONERA G., BORGHI L., DE AMBROSIS A. & MASSARA C.I. (1990). Computer simulation and historical experiments. *European Journal of Physics*, Vol. 11, pp. 15-24.

BORGHI L., DE AMBROSIS A., MASCHERETTI P. & MASSARA C.I. (1987). Computer simulation and laboratory work in the teaching of mechanics. *Physics Education*, Vol. 22, pp. 117-121.

BORGHI L., DE AMBROSIS A., GAZZANIGA G., IRONI L., MASCHERETTI P. & MASSARA C.I. (1989). Integrating computer simulations and the physics laboratory : a unit dealing with wave propagation. *Computers and Education*, Vol. 13, n° 2, pp. 179-186.

BORGHI L., DE AMBROSIS A. & MASSARA C.I. (1990). Simulazioni strettamente correlate ad esperienze di laboratorio. *La Fisica nella Scuola*, Vol. XIII, n° 2, pp. 19-25.

BORGHI L. (1992). Computer simulation of historical experiments and understanding of physics concepts. In A. Tiberghien & H. Mandl (Eds), *Intelligent learning environments and knowledge acquisition in physics*. Berlin, Springer-Verlag, pp. 207-215.

ENGEL E. & DRIVER R. (1985). What do children understand about pressure in fluids. *Journal of Research in Technological Education*, Vol. 3, n° 2, pp. 133-143.

MATTHEWS M. (1992). Teaching about air pressure : a role for history and philosophy in science teaching. In S. Hills (Ed), *Proceedings of the second international conference on the history and philosophy of science and science teaching*. Kingston, Ontario Queen's University, pp. 121-133.

RUGGIERO S., CARTELLI A., DUPRÉ F. & VICENTINI M. (1985). Weight, gravity and air pressure : mental representations by italian middle school pupils. *European Journal of Science Education*, Vol. 7, n° 2, pp. 181-194.

SÉRÉ M.G. (1982). A study of some frameworks used by pupils aged 11 to 13 years in the interpretation of air pressure. *European Journal of Science Education*, Vol. 4, n° 3, pp. 299-309.

THORNTON R. (1990). Learning Physical Concepts with Real-Time Laboratory Measurement Tools. *American Journal of Physics*, Vol. 58, n° 9, pp. 858-867.

# Faire une histoire de l'enseignement scientifique

## Le cas de la physique en France, du XIX<sup>e</sup> siècle à nos jours

**Nicole HULIN**

Université Paris VI et Centre Alexandre Koyré  
Muséum National d'Histoire Naturelle  
Pavillon Chevreul - 57 rue Cuvier  
75231 Paris Cedex 05

### **Résumé**

*L'histoire de l'enseignement scientifique est à développer, et les historiens doivent s'associer pour cette entreprise aux sociologues, aux didacticiens, etc., afin d'appréhender ses aspects variés. En premier lieu l'attention doit se centrer sur l'enseignement secondaire et la formation des professeurs. On peut ainsi aborder l'important problème de la spécialisation des études, le caractère pluridisciplinaire de la science et la spécificité des différentes disciplines scientifiques. Mais l'histoire est du plus profond intérêt pour montrer la persistance des préoccupations, conjointement à la permanence des enjeux économiques et culturels, malgré les changements dûs à l'évolution du contexte sociopolitique et au développement de la science, faisant ainsi émerger des difficultés fondamentales.*

**Mots clés :** *histoire, physique, permanences, décalages, spécialisation.*

## **Abstract**

*The history of scientific education has to be developed, and historians must engage in a common enterprise with sociologists, didacticians, etc., to take into account its various aspects. In the first place, attention must be focussed on secondary education together with the training of teachers. Thus it is possible to tackle the important problem of the specialization of studies, the interdisciplinary nature of science and the specificity of each scientific discipline. But history is of a wider interest in pointing out the persistence of the preoccupations associated with the permanence of economic and cultural stakes, despite the change due to social evolution, politics and the development of science ; thus fundamental difficulties emerge.*

**Key words :** *history, physics, permanences, discrepancies, specialization.*

## **1. INTÉRÊT ET PLACE DE CETTE HISTOIRE**

L'histoire de l'enseignement scientifique en France, malgré des développements assez récents, reste encore très lacunaire, et une histoire générale de l'enseignement scientifique comprenant l'histoire des diverses disciplines (Chervel, 1988) reste à faire. Mais il convient de souligner la contribution importante des chercheurs anglo-saxons avec les travaux de R. Fox, G. Weisz, H.W. Paul, T. Shinn, M.J. Nye...

Le champ d'investigation est fort vaste et concerne des chercheurs venant d'horizons très divers (scientifiques de toutes disciplines, historiens des sciences et des techniques, historiens de l'éducation, sociologues, didacticiens des disciplines, etc.), avec convergence des intérêts sur certains thèmes. Si dans ce domaine d'étude foisonnant une collaboration pluridisciplinaire peut être tout à fait fructueuse, pour ne pas dire nécessaire, l'histoire de l'enseignement scientifique doit cependant être développée comme un champ de recherche autonome. Tels ont été les objectifs du séminaire sur l'histoire de l'enseignement scientifique créé à notre initiative, en 1988-89, au Centre A. Koyré.

En considérant l'histoire de l'enseignement des sciences, un autre regard peut être porté sur certaines réformes de l'enseignement. Tel est le cas de la fameuse réforme de 1852, dite de la "bifurcation des études" (Hulin N., 1989), de si mauvaise réputation, qui eut pour but de diversifier les études en maintenant l'unité de l'enseignement secondaire, et qui apparaît sous un jour nouveau lorsqu'on suit l'évolution de l'enseignement scientifique.

Outre son intérêt intrinsèque, l'histoire de l'enseignement scientifique permet de donner un éclairage tout à fait intéressant sur les enjeux politiques, économiques et philosophiques des questions éducatives. De plus, on peut considérer qu'en raison de l'actualité de certains problèmes rencontrés au XIX<sup>e</sup> siècle, cette histoire alimenterait utilement la réflexion de ceux qui s'intéressent à l'avenir de notre enseignement. Ainsi, en 1890, la Commission chargée de la réforme de l'enseignement secondaire notait que l'histoire permet de jeter *“une vive lumière sur les choses de l'éducation”* et souhaitait que tous les acteurs du système éducatif aient une *“initiation suffisante”* à cette histoire (B.A., 1890). Cette idée est reprise dans un article de la *Revue Internationale de l'enseignement* (R.I.E., 1895) :

*“... la connaissance de l'histoire de l'enseignement, des vicissitudes diverses par où ont passé les études, depuis un siècle notamment, peut éclairer de futurs professeurs, dissiper beaucoup de préjugés, faire tomber beaucoup de barrières et rendre service aux individus comme à la société.”*

Rappelons aussi qu'en 1906, pour mener à bien la réforme de l'enseignement secondaire décidée en 1902 (Belhoste, 1990), est organisé à l'Université de Paris, dans le cadre de la préparation à l'agrégation, et afin de lui conférer un caractère professionnel, un enseignement pédagogique dont l'axe est un cours de E. Durkheim sur la formation et le développement de l'enseignement secondaire en France. E. Durkheim explique (Durkheim, 1922) que les institutions pédagogiques *“ont un passé dont elles sont le prolongement et dont on ne peut les séparer sans qu'elles perdent une grande partie de leur signification”*, et il ajoute :

*“... pour pouvoir remplir comme il convient notre fonction dans un système scolaire, quel qu'il soit, il faut le connaître, non du dehors, mais du dedans, c'est-à-dire par l'histoire. Car, seule, l'histoire peut pénétrer au-delà du revêtement superficiel qui le recouvre dans le présent, seule elle peut en faire l'analyse...”*

De même, le dernier des trois pôles de connaissances définis dans le rapport Bancel, d'octobre 1989, concernant la formation des maîtres, est constitué par des connaissances relatives au système éducatif ; et il est noté que l'histoire<sup>1</sup> peut apporter des éclairages très enrichissants sur le fonctionnement et l'évolution du système d'enseignement.

1. Il convient toutefois de noter la position différente de A. Prost qui, dans son rapport de 1983, propose d'introduire à l'agrégation *“des épreuves directement en rapport avec le métier auquel les candidats se destinent”*, mais exclut les sujets sur l'histoire et la sociologie du système éducatif (Prost, 1983).

## 2. DÉLIMITATION D'UN DOMAINE D'ÉTUDE

Pour préciser notre propos nous ferons référence, dans une présentation synthétique, à nos recherches personnelles qui ont fait l'objet de diverses publications.

L'enseignement secondaire est un élément décisif du système éducatif, il ouvre la voie aux écoles spéciales et à l'enseignement supérieur ; il doit donc constituer la base d'une histoire de l'enseignement scientifique. Et on ne peut disjoindre l'étude de cet ordre d'enseignement de la formation de ceux qui le dispensent. Ce premier noyau dur étant défini, il convient de mener des analyses à long terme, la durée étant essentielle pour juger de l'impact des réformes et repérer le sens des évolutions. Les études menées sur 150 ans, du XIX<sup>e</sup> au XX<sup>e</sup> siècles, permettent de situer dans une perspective historique des problèmes toujours actuels : unité de formation et diversification des études, formation des maîtres et place de la pédagogie (Hulin N., 1992a)...

Pour l'organisation de l'enseignement scientifique, une étape essentielle est l'établissement de la "bifurcation des études", au début du Second Empire, en 1852. Sont alors distinguées, à partir de la classe de 3<sup>e</sup>, deux divisions équivalentes par la durée et la sanction des études : l'une littéraire, l'autre scientifique (Hulin N., 1989). **Désormais** le baccalauréat ès sciences est indépendant du baccalauréat ès lettres. Cette réforme est, en fait, l'aboutissement d'une réflexion commencée dès le premier quart du XIX<sup>e</sup> siècle pour adapter l'instruction publique aux besoins de la société. Les nécessités économiques et politiques (Hulin N., 1992b) vont imposer une diversification des études secondaires avec la création de filières.

Réforme éphémère, la "bifurcation" est supprimée en 1864 par V. Duruy, l'organisation du baccalauréat restant inchangée. Mais on en reparle lors de la préparation de l'importante réforme de 1902 qui établit une "quadri-furcation" dans les études dont l'une des branches, distinguée dès la 6<sup>e</sup>, est constituée par l'enseignement moderne, les trois autres – dont la filière latin-sciences – se séparant après la classe de 3<sup>e</sup>. Cette réforme réalise l'unité de l'enseignement secondaire et introduit un nouvel esprit dans l'enseignement scientifique que l'on souhaite alors constituer en véritables "humanités scientifiques".

1852, 1902, dates importantes pour l'enseignement scientifique en général, auxquelles il convient d'ajouter les années 1960-70 avec la réforme des mathématiques modernes et les travaux de la Commission Lagarrigue pour l'enseignement des sciences physiques (Hulin M., 1992).

Malgré les délimitations opérées, le champ d'investigation reste encore fort vaste, allant de la définition du cadre institutionnel à l'analyse des contenus de l'enseignement. Si l'analyse des contenus **doit** être située dans un cadre institutionnel préalablement défini, inversement le fonctionnement des institutions doit être éclairé par une référence aux contenus. Si ces deux analyses se complètent, il convient de souligner l'importance particulière du cadre

institutionnel qui seul conduit à établir des périodisations pertinentes ; il permet également de préciser certaines caractéristiques et de déterminer certaines limites qui sont imposées en dehors du champ des disciplines particulières.

### 3. ÉTUDE DES CONTENUS

Pour aborder l'étude des contenus une première piste consiste à faire une analyse des traités ; il est alors nécessaire de constituer un corpus de référence. Parmi les critères de choix interviendront la durée de vie de l'ouvrage, le nombre d'éditions successives et la qualité de l'auteur. Ainsi l'ouvrage de A. Ganot dont la 3<sup>e</sup> édition date de 1854 et qui a une 20<sup>e</sup> édition très enrichie en 1887, l'ouvrage de Ch. Drion et E. Fernet, publié en 1861, objet de douze éditions successives (la 3<sup>e</sup> en 1869, la 8<sup>e</sup> en 1881, la 12<sup>e</sup> en 1893), sont d'excellents outils de travail.

D'une manière générale, les traités de physique sont une précieuse source d'informations ; toutefois, il faut prendre garde au fait que certains auteurs peuvent faire preuve d'un "modernisme" exceptionnel. Tel est le cas de P.-A. Daguin (professeur à l'Université de Toulouse) qui, dès 1855, introduit dans son traité quelques pages sur l'équivalent mécanique de la chaleur alors que ce sujet n'apparaît qu'en 1876, en leçon, à l'agrégation de sciences physiques ; la théorie mécanique de la chaleur et l'expérience de Joule (1<sup>er</sup> article de Joule 1843, mémoire de Joule 1850) sont absentes de l'édition de 1869 du manuel de Drion et Fernet et apparaissent en appendice dans l'édition de 1861 ; en 1854 il subsiste dans le traité de Ganot une section intitulée "du calorique". Mais il faut aussi juger du caractère adéquat de la présentation d'une question en faisant la part de ce qui dépend de l'auteur et de ce qui est spécifique de l'époque.

Une deuxième voie à suivre est celle de l'exploitation de copies d'élèves. Toutefois, pour ne pas être limité à des remarques trop superficielles certaines conditions doivent être réalisées : disposer de l'énoncé du sujet ainsi que d'un corrigé type de l'époque, connaître les programmes et le contenu des traités pour avoir une référence ; sont aussi très utiles les commentaires portés sur la copie par le correcteur et l'appréciation globale de celle-ci, ainsi que le rapport d'ensemble sur l'épreuve. Bien évidemment l'ensemble de ces conditions est fort rarement réalisé ; il a pu l'être pour le problème d'agrégation de 1902 (Hulin N., 1992c).

On peut aussi suivre l'évolution d'un exercice scolaire : comment s'est constitué, par exemple, le traditionnel problème de physique (Hulin N., 1992c).

Pour une discipline à caractère expérimental, comme la physique, on peut être amené à s'intéresser à l'inventaire des cabinets de physique, aux cahiers de laboratoire qui servent lors de la préparation des expériences et des

manipulations des élèves. Soulignons que les manipulations des élèves dans le secondaire ont été instaurées lors de la réforme de 1902 ; toutefois des manipulations de chimie avaient été introduites par V. Duruy, en 1864, dans l'enseignement spécial.

Ainsi des voies diverses se présentent pour aborder cette étude des contenus qui, pour être approfondie soigneusement, nécessite une collaboration pluridisciplinaire permettant de prendre en compte divers éléments fondamentaux tels que le mode d'exposition des connaissances enseignées, la pédagogie mise en œuvre dans l'exposé (ou plus exactement s'il y a un réel souci pédagogique ou une simple accumulation de connaissances), l'actualité des connaissances enseignées...

#### 4. LIGNES DIRECTRICES D'ÉTUDE

Diversification et spécialisation des études, spécificité des différentes disciplines scientifiques sont deux lignes d'étude fondamentales pour l'histoire de l'enseignement des sciences.

La spécialisation des études peut être abordée à deux niveaux : d'une part avec la séparation lettres-sciences (la réforme de la "bifurcation" amène à poser le problème des deux cultures), d'autre part avec la spécialisation entre les différentes branches des sciences (sciences mathématiques, sciences physiques, sciences naturelles) et, pour les sciences physiques, entre la physique et la chimie.

L'organisation des cursus impose d'effectuer des découpages disciplinaires et de retenir certains couplages. Il importe donc de préciser l'articulation des diverses disciplines scientifiques entre elles en notant les lignes de partage (Hulin N., 1994a, à paraître). Et il est essentiel de considérer les différentes disciplines dans leur spécificité et leur diversité. Ces problèmes de ligne de partage, de couplage disciplinaire, conduisent à celui de la classification des sciences intéressant le philosophe.

**Couplage des disciplines** lors de la spécialisation de l'agrégation des sciences :

– physique et mathématiques d'une part, chimie et histoire naturelle d'autre part, tel est le projet de 1830 ;

– sciences mathématiques d'un côté, sciences physiques et naturelles de l'autre, telle est l'organisation retenue en 1840.

Ce choix, important pour l'orientation de la physique française, est à situer dans un jeu de rivalités scientifiques (Hulin N., 1989) : Poisson défenseur de la physique mathématique contre le chimiste Thenard.

**Lignes de partage disciplinaire** : les thèses de physique mathématique conduisent, tout au long du XIX<sup>e</sup> siècle, au doctorat ès sciences mathématiques ; les thèses de physique, liées à celle de la chimie dans le doctorat ès sciences physiques, ont une forte orientation expérimentale.

Ces exemples montrent la place charnière occupée par la physique au sein des sciences. Ce rôle charnière apparaît déjà nettement dans le statut du 16 février 1810 qui prévoit deux séries de cours à la Faculté des sciences de Paris : la série mathématique (calcul différentiel et intégral, mécanique, astronomie) et la série physique (chimie, histoire naturelle) avec en commun le cours de physique générale et expérimentale. Cette place privilégiée de la physique est encore affirmée actuellement comme en témoigne le rapport Bergé (Bergé, 1989) :

*“Située à un nœud des connaissances humaines... la Physique peut jouer un rôle clef dans cette voie de l'unification des savoirs via l'interdisciplinarité.”*

Ces problèmes de ligne de partage disciplinaire sont très importants. Au fur et à mesure que les sciences progressent, la nécessité d'une spécialisation des études s'impose du fait de l'extension du domaine des connaissances ; or, dans le même temps, les limites séparant les disciplines s'estompent et on dénonce aujourd'hui un découpage en disciplines artificiellement cloisonnées (Bergé, 1989), on incite *“à repenser les divisions en « disciplines » en soumettant à l'examen certains regroupements hérités de l'histoire”* (Bourdieu & Gros, 1989). Mais déjà en 1847, J.-B. Dumas évoquait les *“divisions artificielles”* de la science et, en 1896, le doyen de la Faculté des sciences de Bordeaux, G. Rayet, reprenant un texte de J. Tannery de 1891, formait l'espoir d'une moisson de découvertes *“dans les régions où les diverses sciences se rejoignent et se mêlent”* (R.I.E, 1896).

## 5. NOTION DE DÉCALAGE

Une notion tout à fait importante à introduire est celle de **décalage**, ce décalage ayant des formes variées.

Soulignons tout de suite le **décalage entre l'enseignement scientifique masculin et l'enseignement scientifique féminin**, avec un long cheminement vers l'identification des enseignements et des épreuves, puis la fusion, avec en dernière péripétie la fusion récente (1986) des deux Écoles Normales Ulm et Sèvres en École Normale Supérieure, qui a amené l'effondrement du recrutement féminin (Baudelot & Establet, 1989 ; Hulin N., 1994b, à paraître).

Pour aller plus loin, il convient de définir deux types de décalage, avec tout d'abord les **décalages à une époque donnée**, par opposition au temps long.

**Décalage entre science qui se fait et science qui s'enseigne** (c'est-à-dire l'actualité des connaissances enseignées ; Hulin N., 1984). Ce décalage entre science enseignée et science savante peut d'ailleurs être d'une autre nature, apparaissant dans la manière dont l'enseignement présente les éléments constitutifs de la discipline et respecte ses caractéristiques épistémologiques fondamentales (Hulin M., 1992). Cependant l'évolution de la physique enseignée est directement liée à l'évolution de la physique savante. Dans la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, la physique se constitue et accumule des résultats ; les connaissances sont exposées dans les traités dans un ordre historique. Avec la réforme de 1902 apparaît un début de structuration du cours, avec en particulier l'introduction du principe de conservation de l'énergie. Le réaménagement des structures de la physique qui s'opère avec l'avènement de la mécanique quantique amène une référence aux superlois (Hulin M., 1992) – principes de conservation, d'invariance, de symétrie – qu'on souhaite introduire dans l'enseignement au début des années 1970.

**Décalage entre les mesures décidées pour l'enseignement secondaire et la formation des professeurs.** Les enseignants ne sont pas préparés à la nouvelle pédagogie prônée par la réforme Fortoul qui établit la "bifurcation des études" sous le Second Empire, et ce sera une des causes de l'échec. Les recommandations, pour inclure dans l'exposé du cours un "*aperçu de la marche de la science*" ne sont accompagnées d'aucune mesure au niveau de la formation des enseignants, tant en 1854 qu'au début des années 1980.

**Décalage entre les mesures prises et la réelle application qui en est faite.** De lentes dérives s'instaurent, liées à une certaine ritualisation de l'enseignement, venant de l'importance de l'examen final depuis "*la grande maladie du baccalauréat*" dénoncée par A.-A. Cournot au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle. Si la Commission Lagarrigue insistait sur la "*nécessité de mettre au point des méthodes de contrôle originales et adaptées aux objectifs que s'assignera l'enseignement*" (1976), presque vingt ans plus tard le rapport Bergé (1989) souligne que "*l'esprit de l'enseignement est lié à la forme de l'examen*".

**Décalage entre les projets de mesures et les choix faits.** Projet, pour le secondaire, d'établissement de deux divisions qui fut présenté par V. Cousin, à son retour de Prusse, dans un rapport de 1834 (vingt ans avant la réforme de la "bifurcation") ; organisation des études établie par le même V. Cousin, ministre, en 1840, rejetant les sciences en fin de cours d'études.

Décalage entre les positions affirmées des savants et leur pratique effective.

Mais il y a aussi des **décalages dans le temps long**, des glissements.

**Décalage du sens attribué aux mots** : ainsi, au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, le "problème" de physique correspond à "l'exercice" de notre terminologie actuelle. Le terme de "physique théorique" concerne alors l'exposé des théories

physiques, tandis que celui de “physique mathématique” est réservé à l'ensemble des calculs développés dans l'étude d'une situation physique, les deux s'opposant d'ailleurs à la “physique expérimentale”.

Notons aussi le **décalage dans les positions prises, en liaison avec l'évolution des disciplines**. Au début du XIX<sup>e</sup> siècle on recommande la maîtrise de l'outil mathématique pour la physique ; dans les années 1970 on dénonce la position de mathématiciens appliqués des physiciens (Hulin N., 1992c).

## 6. PERMANENCES ET DÉCALAGES

L'histoire de l'enseignement depuis 150 ans fait apparaître la permanence de certains thèmes et la pérennité des discours. Cependant un même discours, comme celui insistant sur le caractère expérimental de la physique, peut correspondre à des motivations différentes. Ainsi la justification donnée par le chimiste J.-B. Dumas, au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, est de le rendre accessible pour la “masse des élèves” (soulignons qu'au XIX<sup>e</sup> siècle l'enseignement secondaire concerne moins de 5% des enfants). Mais on peut y voir aussi une manière d'affirmer la différence entre physique et mathématiques, et de prôner le couplage de la physique et de la chimie. Rappelons (Hulin N., 1989) cette phrase significative du chimiste :

*“La physique est une science expérimentale... et non point une science mathématique qui se soumettrait au contrôle de l'expérience.”*

Lors de la réforme de 1902, on affirme que les sciences “seront des instruments de culture” et, outre leur utilité pratique, la justification de la place des sciences physiques dans les études secondaires, aux côtés des “mathématiques abstraites”, est leur caractère expérimental : elles apportent, écrit L. Liard en 1904, “la notion de la vérité positive c'est-à-dire du fait expérimentalement constaté”.

Discours aussi sur le caractère expérimental de la physique au moment des travaux de la Commission Lagarrigue – donc dans les années 1970 – mais avec une certaine ambiguïté du fait de la place de choix faite à la physique microscopique ; mais c'est aussi alors une manière de situer la physique par rapport aux mathématiques dont l'enseignement vient d'être réformé (réforme des mathématiques modernes). Si la même affirmation du caractère expérimental de la physique apparaît dans le rapport (octobre 1989) élaboré par la Commission de réflexion sur l'enseignement de la physique, présidée par P. Bergé, elle doit être placée dans le contexte du nouvel intérêt porté ces dernières années à la physique macroscopique.

Cette prise en compte du caractère expérimental de la physique se traduit au XIX<sup>e</sup> siècle par un envahissement des traités avec des descriptions

d'appareils, puis en 1902 par l'institution de travaux pratiques au lycée, et en 1904 par l'introduction du montage de physique à l'agrégation. Cependant une réflexion s'impose sur les modalités de la mise en œuvre de la méthode expérimentale dans l'enseignement et son décalage par rapport à la pratique du laboratoire (Hulin M., 1992).

Un autre thème apparu dès le début du XIX<sup>e</sup> siècle est celui de la classe où doit débiter l'enseignement des sciences physiques. Diverses positions ont été adoptées :

- commencer dès les petites classes, 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>, avec un enseignement descriptif et purement expérimental (Hulin N., 1991a) ;
- repousser l'enseignement dans les dernières classes.

Pour Le Châtelier, l'esprit n'est mûr pour les études scientifiques que vers seize ans. Pour V. Duruy (1863), "*sans mathématique on ne peut faire qu'une physique de mauvais aloi*" ; il convient donc d'organiser "*l'enseignement des sciences dans un ordre logique, les mathématiques à la base, les sciences physiques au sommet*". Pour V. Cousin (1840), les sciences qui s'adressent à la réflexion naissante doivent, avec la philosophie, venir après les humanités ("*je parle des sciences prises au sérieux*", écrit-il).

Un dernier décalage tout à fait important concerne le public d'élèves visés par l'enseignement secondaire qui, pour répondre à une demande sociale, d'enseignement réservé à une élite est devenu un enseignement de masse (les effectifs qui ont évolué entre 100 000 et 200 000 du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle à 1930, atteignent 1 000 000 en 1960). Il en résulte une nécessaire adaptation, une nécessaire évolution.

A ce décalage est associée la permanence des enjeux :

- économiques (adapter la société à l'activité moderne et ses exigences techniques),
- culturels (faire entrer les sciences dans la culture par l'enseignement et la vulgarisation),

mais avec un glissement des rivalités disciplinaires : lettres-sciences, mathématiques-sciences expérimentales. La Commission Lagarrigue avait avancé l'idée d'une formation scientifique axée sur deux grands pôles : les mathématiques d'une part, les sciences et les techniques d'autre part (Hulin N., 1991b).

Le rapprochement de certains textes est saisissant. Recensant les problèmes posés par la structure éducative actuelle avec son organisation en filières, le rapport Bergé (1989) dénonce l'orientation prématurée et quasi irréversible des élèves à un âge où il sont en pleine évolution. On retrouve l'argumentation des journaux de l'opposition lors de l'établissement de la "bifurcation" des études au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle. Cependant, il ne s'agit plus en 1989 de renoncer aux filières, mais de multiplier et diversifier les parcours, tout en laissant des possibilités de réorientation par l'aménagement de passerelles.

Il importe donc de noter le décalage d'intention dans les discours. Mais il importe aussi de souligner :

– la constance des objectifs énoncés (comme celui de développer la créativité des élèves),

– la répétition des affirmations de principe (telle celle sur le caractère expérimental de la physique),

– la permanence de certains problèmes (comme celui posé par la formation des professeurs et son articulation autour des deux pôles que constituent l'acquisition des savoirs et leur transmission),

et tout ceci dans un contexte extrêmement évolutif.

Appréhender les problèmes avec leur enracinement dans l'histoire permet de déceler ces permanences et de pointer des difficultés essentielles. Ainsi l'histoire de l'enseignement peut apporter des éléments de réflexion tout à fait utiles par la prise de recul qu'elle permet. Encore faudrait-il encourager les travaux concernant l'ensemble des disciplines scientifiques, multiplier les lignes transversales d'études du XIX<sup>e</sup> siècle jusqu'à la période actuelle et développer des collaborations pluridisciplinaires.

Comme le notait C. Falcucci dans sa thèse (Falcucci, 1939), l'histoire apporte, à tout le moins, une information ; mais elle impose aussi une certaine exigence car elle *“n'autorise pas à considérer les problèmes comme inédits, non plus que comme susceptibles de solutions faciles”*.

## BIBLIOGRAPHIE

B.A. (*Bulletin administratif*) (1890). t. 48, pp. 634-636.

BAUDELLOT C. & ESTABLET G. (1992). *Allez les filles*. Paris, Seuil.

BELHOSTE B. (1990). L'enseignement secondaire et les sciences au début du XX<sup>e</sup> siècle. La réforme de 1902 des plans d'étude et des programmes. *Revue d'histoire des sciences*, t. XLIII, n° 4, pp. 371-399.

BERGÉ P. (1989). *Rapport de la commission de réflexion sur l'enseignement de la physique, présidée par P. Bergé*.

BOURDIEU P. & GROS F. (1989). *Principes pour une réflexion sur les contenus de l'enseignement*.

CHERVEL A. (1988). L'histoire des disciplines scolaires. Réflexions sur un domaine de recherche. *Histoire de l'Éducation*, n° 38, pp. 59-119.

DURKHEIM E. (1922). *Éducation et sociologie*. Paris, Alcan. (voir pp. 157-158).

FALCUCCI C. (1939). *L'humanisme dans l'enseignement secondaire au XIX<sup>e</sup> siècle*. Toulouse, Privat. (voir p. 551).

HULIN M. (1992). *Le Mirage et la Nécessité*. Paris, Presses de l'École Normale Supérieure et Palais de la Découverte. (voir pp. 149-157, 160-161).

HULIN N. (1984). Science qui se fait, science qui s'enseigne. *Histoire de l'Éducation*, n° 21, pp. 37-58.

HULIN N. (1989). *L'organisation de l'enseignement des sciences. La voie ouverte par le Second Empire*. Paris, Éditions du Comité des Travaux Historiques et Scientifiques. (voir pp. 113-114, 211, 310-311).

HULIN N. (1991a). Les sciences physiques en 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>. Permanence des thèmes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 736, pp. 1073-1075.

HULIN N. (1991b). La constitution et les débuts de la Commission Lagarrigue ou du rôle moteur des sociétés savantes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 730, pp. 11-29.

HULIN N. (1992a). La formation des professeurs : savoir disciplinaire et qualification pédagogique. Perspective historique (XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles). *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 740, pp. 97-120.

HULIN N. (1992b). Mutations technologiques, régionalisation... et enseignement scientifique : sous le Second Empire déjà ! *Bulletin de l'ADASTA*, n° 22, pp. 1-6.

HULIN N. (1992c). Le problème de physique : forme, rôle et objectifs. *Histoire de l'Éducation*, n° 54, pp. 39-58.

HULIN N. (1994a, à paraître). Enseignement scientifique et lignes de partage disciplinaire. La place de la physique dans la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle. *Revue de synthèse*.

HULIN N. (1994b, à paraître). La section des sciences de l'École Normale. In *Livre du Bicentenaire de l'École Normale Supérieure*. Paris, PUF.

PROST A. (1983). *Les lycées et les collèges au seuil du XXI<sup>e</sup> siècle*. Paris, CNDP. (voir pp. 219-220).

*R.I.E. (Revue Internationale de l'Enseignement)* (1895/2). t. 30, pp. 36-37.

*R.I.E. (Revue Internationale de l'Enseignement)* (1896). t. 31, p. 248.

# Difficultés liées au vocabulaire : le cas du concept de régulation en biologie

**Patricia SCHNEEBERGER**

IUFM d'Aquitaine, antenne de Bordeaux  
49, rue de l'École Normale  
33000 Bordeaux

## **Résumé**

*L'analyse du vocabulaire et des définitions que l'on peut relever dans les manuels de Biologie actuellement en usage dans les lycées français fait apparaître des difficultés qui peuvent constituer pour les élèves des obstacles à l'apprentissage.*

*Nous proposons de préciser la nature des difficultés que peut entraîner l'utilisation de certains termes dans le domaine de la régulation en physiologie.*

**Mots clés :** *lexique commun, terminologie, physiologie, manuels, confusions.*

## **Abstract**

*An analysis of the vocabulary and definitions found in the textbooks of biology currently used in the French lycées reveals some difficulties that may be obstacles to learning.*

*We discuss the nature of the difficulties that arise from the use of certain terms in the field of physiological regulation.*

**Key words :** *ordinary language, terminology, physiology, textbooks, misleading terms.*

Dans le cadre d'un travail de recherche portant sur l'enseignement du concept de régulation en biologie, nous avons essayé de repérer les difficultés que peuvent rencontrer les élèves de lycée lors de l'apprentissage de ce concept. Parmi ces difficultés, nous avons retenu celles qui sont liées au lexique mobilisé à l'occasion de l'étude des régulations physiologiques, lexique introduit dans l'enseignement par les programmes et repris dans les manuels scolaires.

Les programmes d'enseignement, rédigés le plus souvent dans les termes des connaissances les plus récentes, ne définissent pas les concepts qu'ils inscrivent pour un niveau donné. Cependant, le texte des programmes fait référence, à travers les termes utilisés, à des modèles implicites, précisant ainsi le contenu et les limites des concepts à enseigner. Nous proposons, dans un premier temps, de retrouver les principaux modèles auxquels renvoient certains termes relevés dans la partie du programme consacrée à la régulation au niveau de l'organisme.

Les auteurs de manuels interprètent le texte des programmes et proposent des définitions, parfois différentes d'un ouvrage à l'autre. Ils utilisent un vocabulaire correspondant à leurs conceptions personnelles des concepts envisagés. La recherche de la signification des termes employés fait apparaître des confusions ou des ambiguïtés qui peuvent constituer des obstacles à la compréhension. Le but de cet article est de préciser la nature des difficultés que peut entraîner l'utilisation de certains termes dans le domaine de la régulation. Cet exemple montre que l'analyse du lexique propre au discours à vocation didactique peut constituer un outil pour le didacticien.

Cette étude est issue de travaux visant à caractériser l'évolution de l'enseignement du concept de régulation, à partir de la comparaison des manuels de biologie parus de 1952 à 1989 dans différentes collections. Nous reprenons ici certains éléments mis en lumière au cours de notre recherche, en nous limitant principalement à l'analyse des manuels de Terminale les plus récents.

## 1. INVENTAIRE DES TERMES UTILISÉS DANS LES PROGRAMMES ET MODÈLE SOUS-JACENT

Dans le programme actuel de Terminale D (en France), on peut relever les termes suivants, lexies simples ou complexes : *réglage, contrôle, double boucle de régulation, mécanismes, intégration de messages, processus, corrélation, effecteur, boucle de rétroaction, communication, autorégulation, servorégulation, contraintes, régulation hormonale, régulation intégrée, commande, déterminisme*. Il s'agit d'un vocabulaire spécifique au domaine étudié qui sera repris dans les manuels et que l'élève devra acquérir.

Le programme de Terminale C comprend une partie de celui de Terminale D, en particulier la régulation de la pression artérielle et la régulation du

cycle ovarien chez les mammifères. Dans les commentaires correspondants, la même terminologie est utilisée avec toutefois une moindre profusion de noms. Mais nous avons en plus relevé le terme *réseau* utilisé à propos de la coexistence des mécanismes nerveux et hormonaux dans la régulation de la pression artérielle.

Cet ensemble de noms, relevés dans les programmes, présente l'allure d'un "patchwork", mêlant vocabulaire du langage courant (*contrôle, processus*) et termes spécialisés empruntés à des domaines différents : celui de la cybernétique (*boucle de rétroaction, commande*), celui de la théorie de l'information (*communication, messages*) ou encore le domaine technologique (*réglage, mécanisme*). Le texte des programmes ne donne pas d'informations précises quant à ces différents registres, supposés connus des destinataires. Or, si les enseignants sont familiarisés avec cette terminologie, qu'ils rencontrent aussi dans les manuels scolaires et universitaires, ils ne possèdent souvent que des informations fragmentaires sur les modèles qui servent de référence.

Si l'on considère par exemple la cybernétique, cette science, dont l'objet d'étude est la commande et la communication au sein des systèmes complexes, a apporté à la physiologie animale des modèles permettant de mieux comprendre le fonctionnement des êtres vivants. Ceux-ci sont alors conçus comme des systèmes, c'est-à-dire qu'on considère qu'ils sont constitués de plusieurs mécanismes en relation de dépendance. L'essentiel du modèle cybernétique est l'existence, au sein du système, d'une circulation d'information selon un circuit fermé de sorte que les mécanismes de commande sont informés, en retour, de l'effet obtenu. Replacé dans ce contexte, le terme rétroaction, qui désigne une notion essentielle de la cybernétique, trouve toute sa signification. Une telle référence permet aussi de concevoir en termes d'analogie l'usage fait des modèles technologiques pour expliquer les phénomènes de régulation.

La cybernétique intègre la théorie de l'information qui vient donc servir le concept de régulation. Cette théorie permet d'étudier de façon scientifique la transmission d'un message, quel qu'il soit, et s'applique aussi bien à la téléphonie qu'à la physiologie du système nerveux. Les concepts de base de la théorie de l'information (signal, canal, codage, bruit...) ont été introduits dans de nombreuses disciplines ; ils ont joué un rôle important en biologie. Dans les programmes d'enseignement comme dans les manuels scolaires et universitaires, l'étude de la transmission de l'information dans l'organisme tient même une place prédominante ; la communication devient alors un but en soi au lieu d'être "au service" des mécanismes de régulation. Cette façon de renverser les rôles est devenue une habitude dans l'enseignement du concept de régulation.

Plusieurs modèles sont donc présents dans les programmes mais aucun d'entre eux n'est vraiment pris comme référence de façon explicite. Cette impression est renforcée par l'introduction du terme *servorégulation* qui condense en un mot deux mécanismes différents (régulation et servomécanisme).

## 2. COMMENT EST DÉFINI LE TERME RÉGULATION DANS LES MANUELS ?

Le terme *régulation*, introduit dans les manuels à partir de 1952, est d'abord utilisé pour désigner des cas particuliers de *corrélations fonctionnelles* qui illustrent l'unité physiologique de l'organisme ; aucune modalité type n'est dégagée, aucune définition n'est proposée. Dans le manuel de la collection Campan et Paniel (Boué et al., 1967), on s'intéresse davantage aux modifications liées aux échanges avec le milieu extérieur qu'aux problèmes posés par la coordination des différents organes entre eux ; le terme *régulation* s'applique alors non plus à des organes (le cœur, le rein...) mais à des valeurs telles que la pression artérielle ou la pression osmotique, traduisant une nouvelle conception du fonctionnement de l'organisme. Les manuels les plus récents de Terminale D proposent des définitions plus ou moins explicites de la régulation.

Dans le manuel de la collection Tavernier (1989), sous le titre *La notion de régulation*, figure le texte suivant :

*“Par le contrôle de certains facteurs (la teneur en eau, la teneur en ions) appelés variables contrôlées, l'organisme maintient constantes des caractéristiques essentielles du milieu intérieur (comme la pression osmotique ou la volémie). Ces dernières qui ne peuvent varier que dans des limites très étroites constituent des systèmes réglés. La régulation de chacun de ces systèmes fait intervenir des organes qui, communiquant entre eux par des messages nerveux ou hormonaux, forment le système réglant. Le mécanisme physiologique autorégulateur constitue une boucle de rétroaction.”* (page 217)

Placé dans le bilan du chapitre consacré à l'étude de l'équilibre hydro-minéral, ce texte synthétique décrit les éléments essentiels des systèmes réglés en prenant comme référence un cas particulier, cité entre parenthèses. L'auteur définit ainsi la notion de régulation en procédant par généralisation, méthode couramment utilisée dans les manuels (et dans l'enseignement de la biologie de façon générale). Quelques pages plus haut, la légende d'un schéma représentant la régulation de la teneur en eau du milieu intérieur précise que cette régulation *“constitue un exemple de ce que les cybernéticiens appellent un système autorégulé par boucle de rétroaction”* (figure 1). La définition du terme régulation est ici empruntée au domaine de la cybernétique sans que, d'ailleurs, cette science soit présentée.

Plus loin, à propos de la régulation de la glycémie, le principe de tout système de régulation est donné, illustré par un schéma. Un tel système *“comprend un système à régler [...] et un système réglant. Ce dernier comporte : un système de détection des écarts avec des capteurs d'information [...], un système de messagers de l'information [...], un système effecteur qui corrige les écarts [...] lorsque le système à régler fait intervenir plusieurs variables, [...] le système réglant présente un centre régulateur qui intègre les informations capées par les récepteurs et commande les organes effecteurs.”* (page 233)

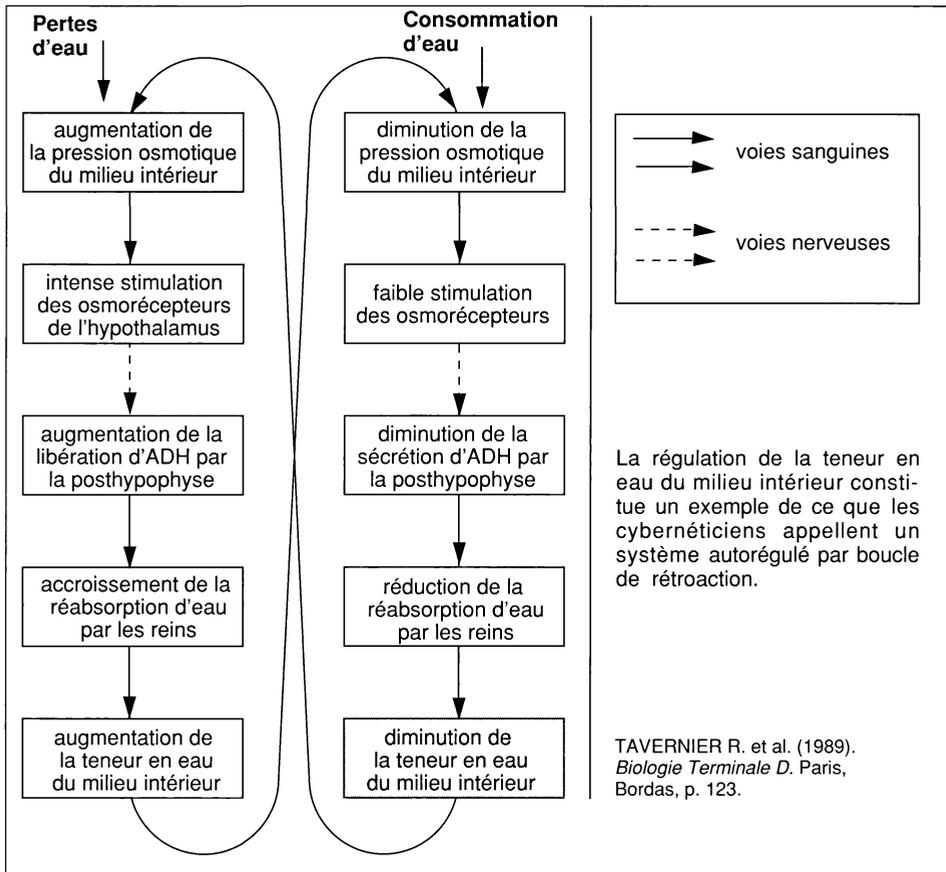


Figure 1

Une telle description est donnée *“pour préciser quelques idées générales concernant les systèmes de régulation dans l'organisme”*. Le modèle cybernétique est ici utilisé sans qu'on lui confère le statut de modèle analogique qu'il devrait occuper.

Le manuel de la collection ADN (Escalier et al., 1989) donne, dans son glossaire situé en fin d'ouvrage, la définition suivante : *“Régulation : ensemble de mécanismes permettant de régler le maintien de la constance d'une fonction.”*

La notion de boucle de régulation est présentée, dans ce manuel, à propos du réflexe myotatique à l'aide d'un schéma qui n'est pas commenté. Les termes *variable contrôlée* et *système contrôleur* sont alors introduits avec d'autres comme *capteur*, *centre intégrateur*, *consigne*. Mais curieusement, ces termes ne sont pas repris pour les exemples de régulation des paramètres du milieu intérieur.

Enfin, dans le manuel de la collection Périlleux (Demounem et al., 1989), le terme *régulation* n'est pas défini de façon précise. Certains termes, cependant, trahissent l'influence de la cybernétique tels *variable réglée* ou *boucle de régulation* (ou encore *capteur*). Mais nulle part n'est expliqué le principe d'un système réglé.

On peut donc constater déjà de grandes différences d'un manuel à l'autre dans la manière dont la notion de régulation, inscrite au programme, est introduite. De plus, apparaît une difficulté propre à ce type d'ouvrages : ils doivent à la fois présenter des concepts et définir les termes utilisés pour les désigner. Une étude plus détaillée du lexique utilisé nous permettra de préciser les conceptions des auteurs des manuels.

### 3. LEXIQUES UTILISÉS DANS LES MANUELS

La plupart des manuels de biologie définissent les termes scientifiques utilisés, surtout lorsqu'ils sont nouveaux pour les élèves et qu'ils désignent des concepts qu'ils doivent acquérir. On trouve quelquefois ces définitions à la fin de l'ouvrage, dans un glossaire, mais le plus souvent les termes, introduits à l'occasion de l'étude d'un exemple, sont repris dans un texte synthétique, sorte de résumé placé à la fin de chaque chapitre. Cependant de nombreux termes sont utilisés sans être définis.

#### 3.1. Autorégulation, rétroaction

Dans le bilan du chapitre sur la régulation de la glycémie, le manuel de la collection Tavernier (1989) présente ainsi la notion d'autorégulation : *“Dans les conditions habituelles, la glycémie est maintenue à une valeur moyenne par le jeu des hormones pancréatiques : insuline et glucagon. Toute variation de l'une d'entre elles est automatiquement corrigée par une variation de sécrétion de l'hormone “antagoniste” ; il y a autorégulation par rétroaction négative.”* (page 236). On voit donc que les termes *autorégulation* et *rétroaction* sont associés ; ce dernier terme est introduit avec l'énoncé suivant : *“la réponse à un signal influence par voie de retour l'organe ou les cellules émettant le signal.”* (page 213).

A propos de la régulation de la pression artérielle, les auteurs de ce manuel distinguent deux types de régulation : l'*autorégulation* et la *servorégulation*. L'*autorégulation* désigne ici la régulation locale de la pression sanguine qui *“adapte le débit du sang dans chaque organe aux besoins de celui-ci”*. Elle est opposée à une régulation centrale qui, elle, dépend du système nerveux ou hormonal, et qui constitue une *servorégulation*. Ceci est en contradiction avec la définition de l'autorégulation donnée dans le même manuel à propos de la glycémie ou de la pression osmotique, dont la régulation dépend au moins du

système hormonal. Il y aurait donc plusieurs significations différentes pour le même terme, ce qui est déroutant pour le lecteur.

Dans le manuel de la collection ADN (Escalier et al., 1989), la fonction de rétroaction est résumée ainsi : *“Lorsque ce facteur [paramètre physico-chimique] influence lui-même le fonctionnement du centre régulateur, on parle de rétroaction. On a alors une boucle de régulation.”* Le terme *autorégulation* est également utilisé dans la légende d’un schéma, sans être défini par les auteurs. Dans le bilan général sur la régulation neuro-hormonale, on peut relever l’expression *“autorégulation par le paramètre même qu’elles contrôlent”*, sans plus de précision. On comprend donc que l’*autorégulation* désigne ici une régulation avec rétroaction.

Le manuel de la collection Périlleux (Demounem et al., 1989) définit la rétroaction à l’occasion de l’étude de l’équilibre hydrominéral : *“La pression osmotique du plasma, contrôlée en partie par l’ADH, règle elle-même la libération de cette neurosécrétion hypothalamique : c’est une rétroaction.”* Il est également question d’*autorégulation* à propos de la pression artérielle. Il s’agit ici d’un *“ajustement local de la perfusion aux besoins d’un tissu”* (d’après le livre du professeur correspondant à ce manuel). Cette *autorégulation* correspond à la définition rencontrée dans le manuel de la collection Tavernier à propos de la régulation de la pression artérielle.

On voit donc que la signification d’un terme peut varier d’un manuel à l’autre et même à l’intérieur d’un même manuel. Ceci est particulièrement gênant lorsqu’on demande aux élèves l’acquisition et l’utilisation d’un vocabulaire précis. En outre, le professeur peut être amené à faire un choix qu’il impose à ses élèves, ce qui pourra les placer en difficulté si un terme est utilisé dans un devoir avec un sens différent que celui choisi par leur professeur.

Il ne faut pas négliger, d’autre part, le côté attrayant de certains termes, comme *autorégulation* que les élèves utilisent avec facilité. Le préfixe “auto” qu’on retrouve dans “automatique” renforce l’idée de mécanismes autonomes qui réalisent sans erreur une fonction précise ; c’est donc l’image d’un automate parfait qu’évoque le terme d’*autorégulation* qui, appliquée au monde vivant, en donne une vision très mécaniste.

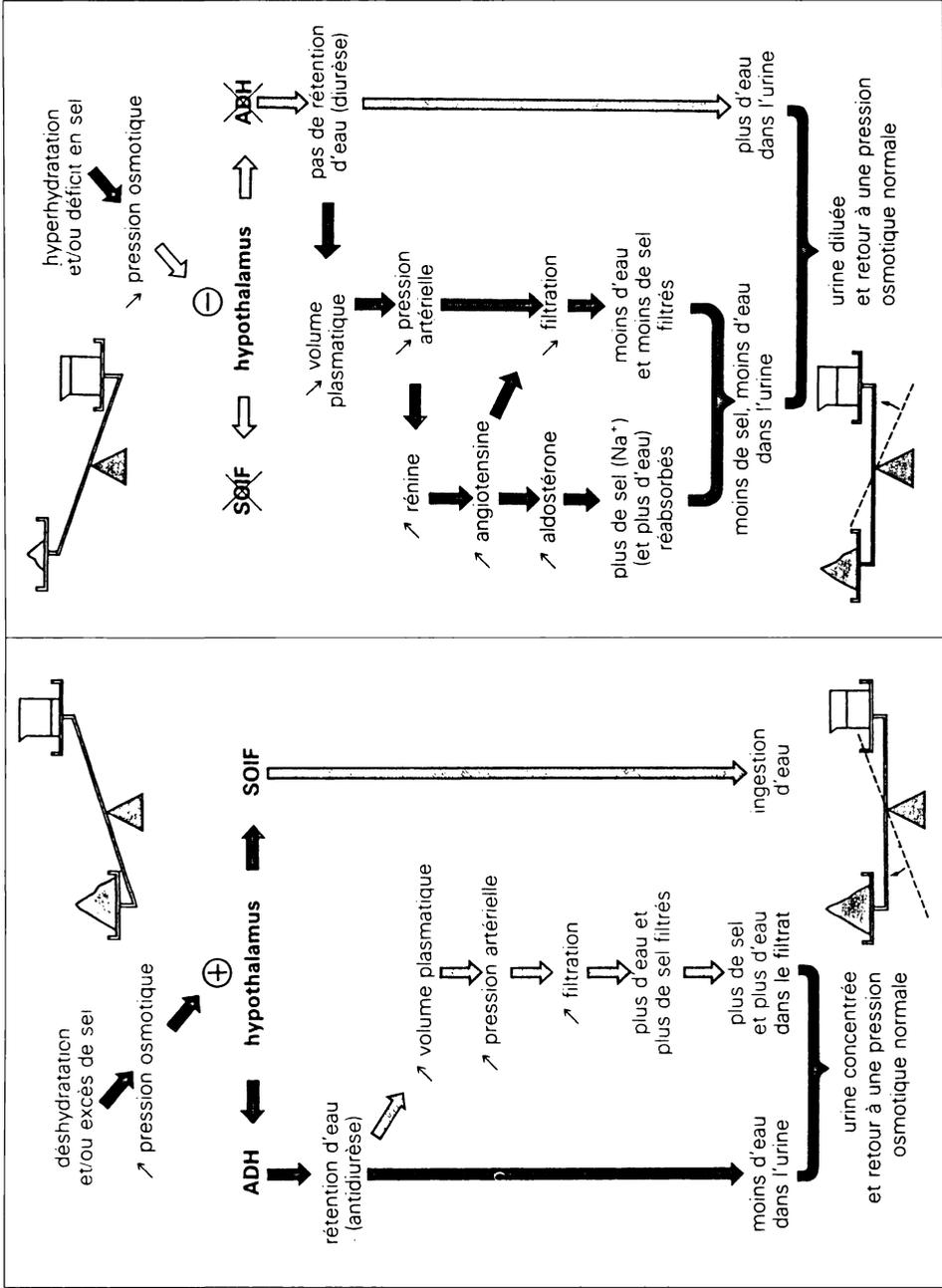
### 3.2. Équilibre

Dans les manuels, le principe des mécanismes régulateurs est souvent décrit comme un *équilibre entre des actions antagonistes*.

L’image de la balance est utilisée par deux manuels de 1982, l’un à propos de la régulation de la glycémie, l’autre à propos de l’équilibre hydrominéral. Dans ce dernier cas, elle représente l’équilibre entre la charge en eau et la charge en ions minéraux, illustré par le schéma d’une balance où l’un des plateaux porte un bécher plus ou moins rempli d’un liquide, sans doute de l’eau et l’autre un petit tas de poudre, sans doute du sel (figure 2).

Figure 2 : Les différents organes qui assurent l'équilibre hydrominéral communiquent par voie humorale.

DEMOUNEM R., GOURLAOUEN J. & PÉRILLEUX E. (1989). *Biologie Terminale D*, Paris, Nathan, p. 185.



On comprend que la composition du milieu intérieur est soumise à des variations liées aux ingestions ou aux pertes d'eau et de sels, et que l'équilibre hydrominéral est constamment menacé. Dans ce cas, la balance figure non pas le mécanisme de régulation mais les variables à régler, c'est-à-dire la pression osmotique, mais aussi le volume sanguin. L'image de la balance sert à montrer comment peut être obtenu un écart par rapport à la valeur moyenne de la pression osmotique. Le maintien de l'équilibre est ici considéré comme une nécessité physiologique.

Le terme *balance* est même utilisé dans le manuel de la collection Tavernier (1989) pour désigner : "la nécessité de maintenir un état d'équilibre au sein de l'organisme vivant". Il signifie que "les pertes d'eau ou d'ions sodium doivent en permanence s'adapter aux entrées".

On trouve dans le manuel de la collection ADN (Escalier et al., 1989) l'expression "équilibre harmonieux" qui indique l'absence de troubles et suggère la nécessité de maintenir cet état. L'accent est mis, dans cet ouvrage, sur l'idée que la stabilité est "nécessaire au fonctionnement harmonieux de l'organisme".

Par ailleurs, dans le même manuel, le terme *équilibre* est utilisé avec l'image de la balance mais, cette fois, pour représenter le mécanisme d'une régulation, celle de la glycémie, comme résultant de l'équilibre entre, d'une part, des vecteurs hyperglycémiant et, d'autre part, des vecteurs hypoglycémiant (figure 3). La même idée est reprise dans le manuel de la collection Tavernier (1989) pour illustrer le même phénomène. Il s'agit alors non plus de l'équilibre entre des entrées et des sorties, mais de l'équilibre entre l'action d'hormones ayant des effets opposés c'est-à-dire entre l'équivalent de forces.

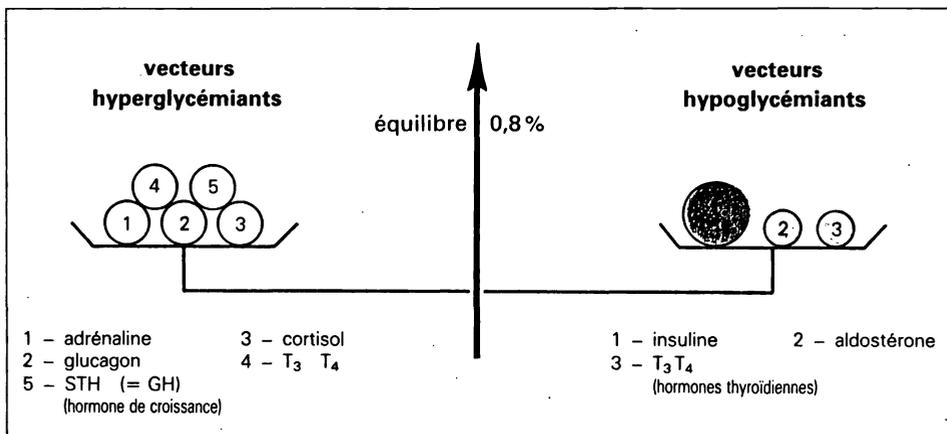


Figure 3 : La synergie endocrinienne régulant la glycémie.

ESCALIER J. & al. (1989) *Biologie Terminale D*. Collection ADN. Paris, Hachette, p. 224.

Mais l'image de la balance ne permet pas d'expliquer comment l'équilibre est rétabli lorsqu'il est déplacé.

Représentant, plutôt que le mécanisme, le résultat de la mise en jeu de ce mécanisme, l'équilibre désigne une nécessité (on parle quelquefois d'*équilibre vital*) mais aussi un état instable, à chaque instant contrarié. D'où l'idée d'*équilibre dynamique* utilisée par deux manuels qui indique un travail permanent des systèmes de régulation.

Par ailleurs, si les trois manuels font référence à l'idée d'équilibre, aucun ne fait allusion à des oscillations autour du point d'équilibre. En effet, les corrections des écarts sont toujours présentées comme permettant un retour à la valeur normale, sans dépassement de celle-ci. En fait, cela ne correspond pas exactement à ce qui se passe réellement. Une étude dynamique permettrait de le montrer, mais celle-ci n'est pas envisagée actuellement dans les manuels.

Le terme *équilibre* est très évocateur mais il peut désigner, nous l'avons vu, des idées différentes selon l'emploi qui en est fait. Là encore, les auteurs ont fait des choix qu'ils n'ont pas explicités.

### 3.3. Adaptation

Le terme *adaptation* est souvent utilisé, quelquefois pour l'opposer au terme *régulation*. Exemple : "*Le système nerveux assure donc plutôt une adaptation qu'une régulation.*" (Tavernier et al., 1989, page 236).

Ici le terme *adaptation* désigne une action lente et durable, et est également utilisé à propos des réactions émotionnelles : "*en cas d'agression prolongée, l'organisme s'adapte en modifiant son comportement.*"

Une autre acception peut apparaître avec l'utilisation du verbe *adapter*, comme dans la phrase : "*des boucles régulatrices adaptent sans cesse la valeur d'un paramètre physiologique (variable à régler) aux besoins de l'organisme.*" (Demounem et al., 1989, page 226).

On voit donc que ce terme est ambigu, mais nous remarquerons qu'il est beaucoup moins utilisé, à propos de régulation, que dans les éditions précédentes des manuels de Terminale D. Cela peut s'expliquer en partie par les changements de programmes : le chapitre intitulé "*caractères adaptatifs des réflexes*" a disparu. Dans les manuels de 1983, en effet, certains phénomènes de régulation (par exemple le maintien de la pression artérielle lors d'un changement de position) sont étudiés pour montrer les modifications du fonctionnement d'un organe (le cœur) en relation avec la mise en jeu de réflexes ; on parle alors de régulation réflexe. La distinction entre *régulation* et *adaptation* constituait déjà un problème pour les auteurs du cours Oria (Galletti et al., 1969) :

"*Nous avons vu à titre d'exemples les modifications adaptatives du fonctionnement du cœur et il nous est apparu, à cette occasion, que les régulations et les adaptations sont indissolublement liées.*"

Notons par ailleurs que le terme *adaptation* appartient au lexique utilisé dans le cadre des théories de l'évolution, étudiées en Terminale D également. Il désigne alors l'aptitude des êtres vivants à faire face aux conditions du milieu de vie. Notons que les auteurs des nouveaux manuels s'entourent de précautions dans l'utilisation qu'ils font du terme *adaptation*, évitant de suggérer l'existence d'un déterminisme, ainsi que le demandent les compléments au programme de Terminale D. En effet, de par son origine étymologique (le latin *aptare ad* signifie *ajuster en vue de...*), le mot *adaptation* est associé à l'idée de finalité.

Dans un article de la revue *La Recherche*, S.J. Gould et R.C. Lewontin (1982) mettent en garde contre l'usage fait habituellement en biologie du terme *adaptation*. En particulier, ils dénoncent l'attitude qui consiste à attribuer une utilité adaptative à toutes les parties d'un organisme. Cette démarche conduit, disent-ils, à *atomiser*, à *réduire* l'organisme en parties élémentaires ; or les êtres vivants sont des *entités intégrées* et non des *collections de parties indépendantes*. Si cette réflexion *vis*e le programme *adaptationniste en biologie de l'évolution*, elle peut également concerner des conceptions qui président à l'interprétation de certains phénomènes physiologiques, comme par exemple les modifications du rythme cardiaque. En parlant alors d'*adaptation*, on évoque l'idée d'harmonie et on risque de masquer la complexité des processus mis en jeu dans de tels phénomènes ; ceci peut constituer un obstacle à l'apprentissage du concept de régulation.

### 3.4. Intégration

Dans la circulaire qui définit le programme de 1952, on lit :

*“Elle [l'étude de l'homme] montrera l'unité de l'organisme vivant par les corrélations d'ordre nerveux ou chimique avec les niveaux d'intégration nerveuse ou hormonale, eux-mêmes reliés au niveau supérieur par l'encéphale et l'hypophyse.”*

Actuellement, le terme *intégration* est beaucoup utilisé dans les manuels, à l'occasion de chapitres différents. Une définition du *pouvoir intégrateur* d'un neurone est donnée dans le manuel de la collection Tavernier (1989) : *“A tout moment, un motoneurone reçoit un grand nombre d'informations contradictoires et doit les intégrer, c'est-à-dire faire la somme algébrique des messages excitateurs ou inhibiteurs qui lui parviennent.”* Cette intégration traduit une prise en compte de différentes influences convergentes (de même nature).

L'expression *intégration neuro-hormonale* (utilisée aussi dans les programmes) indique que le système nerveux et le système hormonal *“n'agissent pas de manière indépendante”*.

On voit donc que, selon que l'on parle du rôle intégrateur du système nerveux ou d'une réponse intégrée, un glissement sémantique est effectué.

Dans le deuxième cas, il s'agit en réalité de désigner une synergie entre deux systèmes différents dont les actions se complètent (et non une simple *addition de divers mécanismes régulateurs*, comme l'indique le programme).

Lorsque le *système réglant* du système de régulation comporte un centre intégrateur, quel est alors exactement son rôle ? Peu d'informations sont données par les auteurs de manuels qui, là encore, utilisent le nom comme une sorte d'étiquette pour désigner un phénomène complexe qui ne sera pas étudié. Pour l'élève, la liste des termes à apprendre sans réellement comprendre s'allonge un peu plus.

### 3.5. Contrôle

Là encore, dans les derniers manuels, de même que dans les éditions précédentes, le terme *contrôle* revient souvent. Il désigne alors l'influence d'un organe sur l'activité d'un autre organe.

En effet, le postulat implicite des auteurs est que chaque organe se trouve sous la dépendance d'un autre organe ou d'autres organes susceptibles de déclencher les manifestations qu'ils contrôlent ; cette dépendance peut d'ailleurs être réciproque (*rétrocontrôle*). La logique qui sous-tend l'étude des phénomènes de régulation repose sur la recherche successive des organes qui contrôlent chaque niveau. Cette recherche permet d'établir des réactions en chaîne ou un système de commande hiérarchisé. Au sommet de cette hiérarchie, se trouvent les centres nerveux de l'encéphale, l'hypothalamus jouant un rôle privilégié.

Voilà bien souvent comment est conçu tout processus de régulation, comme un jeu de contrôles superposés. Un contrôle peut se traduire par le déclenchement du fonctionnement du niveau contrôlé, ou bien par un réglage qui modifie l'intensité de l'action contrôlée. L'existence de tels contrôles est mise en évidence par des expériences qui consistent, par exemple, à observer les troubles qu'entraîne la suppression des relations entre les organes concernés.

La fonction de contrôle est parfois attribuée aux systèmes nerveux et hormonal et l'on parle alors de *contrôle nerveux* et de *contrôle hormonal*, de même qu'il est question de *régulation nerveuse* ou de *régulation hormonale*. Les termes *contrôle* et *régulation* deviennent alors synonymes.

On voit donc que le terme *contrôle* est toujours associé au terme *régulation*. Il indique l'interdépendance des différents organes impliqués dans la même fonction mais évoque aussi une certaine hiérarchie, où les effecteurs occuperaient le niveau inférieur.

Notons enfin que, dans un tel système, les récepteurs sont parfois comparés à des *postes de contrôle*, évoquant ainsi l'idée d'une surveillance, implicitement liée à celle de contrôle.

La présentation linéaire des différents niveaux de contrôle, habituelle dans les ouvrages didactiques, n'est pas étrangère à l'impression qui est donnée d'une superposition de contrôles. Une manière de rompre avec ce mode de présentation consisterait à commencer par présenter le principe d'une régulation, pour ensuite en rechercher les éléments ; or c'est généralement le contraire qui est fait dans les manuels.

## 4. CONCLUSION

En résumé, nous retiendrons les difficultés suivantes.

### 4.1. Ambiguïté de certains termes

À la différence du langage commun, la monosémie est de rigueur dans le discours scientifique. Les textes des manuels scolaires ne répondent pas toujours à cette exigence et cela peut mettre les élèves en difficulté.

Les termes *adaptation* ou *intégration*, par exemple, sont utilisés avec des sens différents à l'intérieur d'un même manuel. Le contexte ne permet pas toujours de choisir et des confusions peuvent avoir lieu.

### 4.2. Introduction de termes empruntés à un autre domaine de spécialité

Certains termes peuvent être empruntés à des domaines tels que la cybernétique (*boucle de rétroaction, système réglant...*). Le problème qui se pose tient surtout au fait que cette langue de spécialité n'est pas présentée à l'élève qui est censé ou bien la connaître déjà, ou bien l'intégrer immédiatement. Nous savons par expérience que tel n'est pas le cas, même si certains termes empruntés au lexique scientifique et technique sont passés dans l'usage. C'est la raison pour laquelle l'aide du professeur est nécessaire pour expliquer ces termes mais, le plus souvent, l'élève utilise son manuel pour apprendre ou réviser dans le cadre d'un travail personnel ; il doit pouvoir le comprendre seul.

### 4.3. Valeur de certains mots

Certains mots (*autorégulation, équilibre*) ont en effet un pouvoir évocateur assez fort qui permet d'attirer l'attention des élèves. Utilisés sans précaution particulière, ils peuvent être à l'origine d'idées fausses chez les élèves qui souvent confondent l'image évoquée et le concept désigné par le même mot. L'emploi de tels termes peut conduire à favoriser certaines conceptions (vision mécaniste du vivant par exemple) alors qu'il faudrait au contraire les dépasser. Là encore, la présence du contexte ne suffit pas à éviter ce type de dérive.

#### 4.4. Interférence avec le sens courant

Le langage scientifique utilise bien souvent des mots du langage courant en leur attribuant un sens particulier. De ce fait il est difficile d'éviter des interférences entre le sens courant, connu des élèves, et le sens choisi par les scientifiques.

C'est le cas, par exemple, du terme *contrôle*, utilisé en biologie avec l'idée de commande ou de surveillance, et qui va induire inévitablement l'idée de vérification, de contrainte, de pression, de soumission, voire de hiérarchie. Les auteurs des manuels, eux-mêmes, n'échappent pas à cette influence du sens courant ; ils ne prennent pas la précaution de s'en démarquer.

#### 4.5. Référence implicite à des valeurs sociales

En utilisant des mots de la langue commune dans leur discours, les auteurs de manuels prennent aussi le risque d'introduire un système de valeurs. Par exemple, l'idée que tout écart par rapport à une norme entraîne des troubles fort dommageables et parfois irréversibles est constamment rappelée lors de l'étude des phénomènes de régulation. Sans aller jusqu'à considérer les cas pathologiques comme des "déviant", les études dont ils sont l'objet tendent à survaloriser l'importance des systèmes de contrôle.

Le maintien de l'équilibre peut évoquer le maintien de l'ordre, qui s'oppose au règne de l'anarchie qu'entraînerait l'autonomie des organes. N'est-ce pas l'idée qui se dégage d'un titre comme celui-ci : "*Témoin du bon fonctionnement des organes, la pression artérielle est une variable physiologiquement réglée*" ? Le mot réglé évoque d'ailleurs le respect des règles.

Il ne s'agit pas cependant d'accuser les auteurs d'intentions cachées, mais simplement de relever dans leur discours la présence de valeurs qui sont inconsciemment véhiculées. Leur origine peut être liée à un rapprochement entre l'ordre vital et l'ordre social régi par des lois qui déterminent la conduite de chacun à l'intérieur d'un groupe. Dans ce contexte, l'accent est mis sur la soumission à des règles données plutôt que sur l'aspect précaire et constamment menacé de toute organisation. L'idée d'infraction, d'écart à la norme est dévalorisée au profit de l'idée de normalisation, peut-être plus sécurisante. Le vocabulaire utilisé (*désordre, trouble...*) traduit bien le danger que semble représenter l'instabilité d'une variable. Ces valeurs restent implicites mais, soumis à leur influence, les auteurs peuvent également être les vecteurs, parfois involontaires, de leur transmission et de leur pérennité.

En présentant la régulation comme un processus permettant un retour à la normale, on voit bien que la stabilité apparaît comme un état favorable qu'il faut maintenir : l'existence de mécanismes régulateurs est alors présentée comme une nécessité, sans crainte de finalisme.

Face au constat des difficultés liées au vocabulaire utilisé dans les manuels, il paraît important de prévoir certaines dispositions, afin d'améliorer les conditions de diffusion du savoir scientifique :

- l'élève devrait, en effet, trouver dans son manuel la définition précise des termes utilisés, ce qui n'est pas toujours le cas ;
- certains mots ambigus doivent être évités, à moins de prévenir le lecteur contre toute confusion possible ;
- il serait indispensable que les auteurs s'interrogent sur leurs propres représentations ou conceptions à propos du domaine conceptuel concerné et sur les conséquences possibles, au niveau de la construction d'un concept par l'élève, des choix qu'ils font pour introduire ce concept et du cheminement qu'ils proposent...

## BIBLIOGRAPHIE

BARASS R. (1979). Vocabulary for introductory course in biology : necessary, unnecessary, and misleading terms. *Journal of biological education*, Vol. 13, n° 3, pp. 179-191.

BOUÉ H., GAMA A. & GENEVÈS L. (1967). *Biologie Terminale D*. Paris, Hachette.

CAMEFORT H. & GAMA A. (1953). *Cours A. Oubé, Sciences naturelles. Baccalauréat 2<sup>e</sup> partie. Sciences expérimentales, Philosophie, Mathématiques*. Paris, Hachette.

CAMEFORT H. & GAMA A. (1959). *Cours A. Oubé, Sciences naturelles. Classes de Philosophie, Mathématiques et Sciences expérimentales*. Paris, Hachette.

DEMOUNEM R., GOURLAOUEN J. & PÉRILLEUX E. (1989). *Biologie Terminale D*. Paris, Nathan.

DESIRE C. (1974). *Sciences naturelles, Terminale D*. Paris, Bordas.

DESIRE C. (1983). *Biologie Terminale D*. Paris, A. Colin.

ESCALIER J. & al. (1980). *Biologie Terminale D*. Paris, F. Nathan.

ESCALIER J. & al. (1983). *Biologie Terminale D*. Paris, F. Nathan.

ESCALIER J. & al. (1989). *Biologie Terminale D*. Paris, Hachette, collection ADN.

EVANS J.D. (1975). Technical terms used in school textbooks of biology. *Journal of Biological Education*, Vol. 9, n° 3, pp. 118-122.

EVANS J.D. (1976). The treatment of technical vocabulary in textbooks of biology. *Journal of Biological Education*, Vol. 10, n° 1, pp. 19-30.

GALLETTI S., GOHAU G., GRIBENSKI A., ORIA M. & RAFFIN J. (1969). *Cours Oria, Biologie Terminale D*. Paris, Hatier.

GENTILHOMME Y. (1984). Les faces cachées du discours scientifique ; réponse à Jean Peytard. *Langue Française*, n° 64, pp. 28-36.

GILBERT P. (1973). Remarques sur la diffusion des mots scientifiques et techniques dans le lexique commun. *Langue Française*, n° 17, pp. 31-43.

GOULD S.J. & LEWONTIN R. (1982). L'adaptation biologique. *La Recherche*, n° 139, pp. 1494-1502.

GUILBERT L. (1973). La spécificité du terme scientifique et technique. *Langue française*, n° 17, pp. 5-17.

HUGHES W.J. & PEARSON J.T. (1988). Problems with the use of terminology in genetics education. *Journal of Biological Education*, Vol. 22, n° 4, pp. 267-274.

JACOBI D. (1989). Reformulation et transposition dans les manuels scientifiques ; une introduction à l'analyse formelle. *Les cahiers du CRELEF, Les Formes du Savoir dans les manuels scientifiques*, n° 28, pp. 7-21.

LOUIS P. & ROGER J. (1988). *Transfert de vocabulaire dans les sciences*. Paris, Éditions du CNRS

MORTUREUX M.-F. (1988). La vulgarisation scientifique : parole médiane ou dédoublée. In D. Jacobi et B. Schiele (Eds). *Vulgariser la science*. Seyssel. Champ Vallon.

PHAL A. (1969). La recherche du CREDIF : la part du lexique commun dans les vocabulaires scientifiques et techniques. *Langue française*, n° 2, pp. 73-81.

TAVERNIER R. & al. (1983). *Biologie Terminale D*. Paris, Bordas.

TAVERNIER R. & al. (1989). *Biologie Terminale D*. Paris, Bordas.

VINCENT P. (1959). *Sciences naturelles. Classes de Sciences expérimentales, Philosophie et Mathématiques*. Paris, Vuibert.

VINCENT P. (1967). *Sciences naturelles, classe Terminale D*. Paris, Vuibert.

# Histoire et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ? \*

**Jean-Louis MARTINAND**

École Normale Supérieure de Cachan  
LIREST  
61, avenue du Président Wilson  
94235 Cachan Cedex

## **Résumé**

*Le but de ce "point de vue" est de réexaminer l'affirmation banale et confuse des liens entre histoire et didactique des sciences pour distinguer des thèmes précis de réflexion et de recherche : histoire de la pensée scientifique et étude des conceptions ; épistémologie appliquée et construction des contenus ; histoire des sciences dans l'enseignement : quelles conditions ? ; et enfin, histoire des sciences dans la formation des enseignants.*

**Mots clés :** *histoire des sciences, didactique des sciences, physique-chimie.*

## **Abstract**

*The aim of this "position paper" is to revisit the banal and confused assertion of the links between history of science and science education, and to distinguish accurate themes of reflection and research : history of scientific*

\* Ce "point de vue" est une version remaniée et abrégée d'un rapport présenté lors du congrès de la Société Française d'Histoire des Sciences et Techniques à Orsay (février 1992). Nous remercions les *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences* de Nantes, qui ont publié les interventions du Congrès, de nous autoriser à reprendre ici notre texte.

*thought and study of the learners' conceptions, "applied epistemology" and the design of curriculum contents, history of science in the curriculum : which conditions ? and lastly, history of science and teacher training.*

**Key words :** *history of science, didactics of science, physics-chemistry.*

L'affirmation des liens entre histoire des sciences et didactique des disciplines scientifiques est un lieu commun des chercheurs qui s'intéressent à l'éducation scientifique (ASTER, 1987). Mais cette affirmation générale doit être précisée : la recherche didactique est diverse, et l'histoire des sciences peut être sollicitée selon différentes perspectives ; et comme les historiens développent leurs travaux de manière autonome, leurs réponses à ces sollicitations sont plus ou moins immédiatement disponibles ou pertinentes.

Le présent "point de vue" ne prétend pas présenter une revue de question : il s'appuie sur les travaux menés en France et qui touchent directement ou indirectement aux rapports entre histoire et didactique de la physique et de la chimie, pour **distinguer des thèmes de réflexion et de recherche.**

Dans la recherche actuelle en didactique de la physique et de la chimie, on peut séparer deux grandes orientations :

– l'étude des conduites des élèves et étudiants (les "apprenants") avec des travaux empiriques sur les performances, les conceptions (représentations des phénomènes et appropriation des concepts), les raisonnements en résolution de problèmes ou explication, les stratégies (preuve expérimentale, recherche de solution) et les attitudes par rapport à la discipline. En France, les enseignants en activité ont malheureusement encore peu fait l'objet d'investigations analogues ;

– l'élucidation des décisions d'enseignement et l'étude de leur mise en œuvre, la conception, l'essai et l'évaluation de projets innovants, enfin l'amélioration des exercices, des moyens documentaires ou instrumentaux, et des modalités pédagogiques qui composent le curriculum.

La première orientation de la recherche didactique a conduit les chercheurs à s'intéresser pour comparaison aux conceptions dans l'histoire de la pensée scientifique.

La seconde orientation de la recherche didactique a, quant à elle, rencontré l'histoire des sciences sur trois registres différents. D'abord, et de manière générale, la construction des contenus d'enseignement fait appel à la culture historique et épistémologique des concepteurs. Ensuite, l'histoire des sciences elle-même peut être prise comme contenu enseigné dans le cadre de l'éducation scientifique. Enfin, l'histoire des sciences est souvent proposée dans la formation des enseignants.

Quatre thèmes peuvent être donc dégagés comme jalons vers une problématique plus fine :

1. histoire de la pensée scientifique et étude des conceptions,
2. "épistémologie appliquée" et construction des contenus,
3. histoire des sciences dans l'enseignement : quelles conditions ?
4. histoire des sciences dans la formation des enseignants.

## 1. HISTOIRE DE LA PENSÉE SCIENTIFIQUE ET ÉTUDE DES CONCEPTIONS

1.1. Les échanges d'idées sur ce thème sont déjà fort anciens dans la tradition française, depuis le livre pionnier de G. Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, en 1938. L'auteur y étudiait par l'histoire des "obstacles épistémologiques" qu'il avait d'abord rencontrés avec ses élèves comme professeur de physique. Plus près de nous, J. Piaget et R. Garcia (1983) ont publié avec *Psychogenèse et histoire des sciences* une synthèse des travaux effectués à Genève sur la connaissance du monde physique chez les enfants et les adolescents ; mais ils s'intéressent peu aux apprentissages scolaires.

Précédemment, F. Halbwachs (1974) avait tenté, avec *La pensée physique chez l'enfant et le savant*, une première comparaison entre aspect épistémologique, aspect psychogénétique et aspect historique, en s'appuyant lui aussi sur la masse des travaux de Genève.

1.2. Plus récemment, à mesure que des travaux empiriques se sont accumulés et que des résultats convergents ont été établis sur les conceptions des élèves et des étudiants (représentation des phénomènes, appropriation des concepts, raisonnements privilégiés), les comparaisons entre évolution historique et développement individuel se sont précisées et approfondies. L'hypothèse d'une analogie des itinéraires devient moins convaincante. C'est ce que montrent avec force E. Saltiel et L. Viennot (1984) en s'appuyant sur les recherches sur les raisonnements d'étudiants face à des questions de cinématique et de dynamique.

D'abord, elles récusent le parallélisme souvent mis en avant, entre la pensée d'Aristote ou du corpus aristotélicien et les idées communes des étudiants de lycée et d'université. Par contre, elles soulignent l'intérêt de la comparaison avec les théories de l'impetus (du XI<sup>e</sup> au XIV<sup>e</sup> siècle).

Mais, plus que sur la comparaison entre la pensée, le savoir et les démarches d'une époque et celle des étudiants, elles attirent l'attention sur l'intérêt de **mettre en évidence les obstacles persistants** dans les deux cas ; leur franchissement est un changement de conception. En raison des contextes matériels et culturels différents, ce qui s'observe aujourd'hui n'a pas de correspondant historique complet ; mais les questions posées par le statut du repos et du mouvement, l'idée d'espace absolu, les relations entre ce que

nous appelons aujourd'hui force, énergie cinétique et énergie potentielle, illustrent bien ces obstacles durables.

A condition de privilégier les obstacles persistants, rencontrés par une pensée adulte et réfléchie, ou par une activité instrumentée, obstacles bien mis à jour et interprétés par les recherches historiques, l'histoire fournit un terme de comparaison solide et suggère des hypothèses fructueuses pour l'étude des obstacles majeurs rencontrés par les étudiants.

Ce type de travaux est tout aussi utile et nécessaire dans les autres domaines de la physique et de la chimie. On peut signaler en France, les thèses de A. Benseghir (1989) sur l'électricité, de H. Stavridou (1990) et C. Solomoniou (1991) sur la chimie. La perspective d'étude comparative des "obstacles persistants" est bien féconde si l'on s'intéresse aux difficultés rencontrées par ceux qui cherchent à se représenter objectivement les phénomènes, ou à construire et manipuler des modèles.

1.3. Un dernier ensemble de travaux peut être rattaché à ce même thème : celui qui s'intéresse aux idées sur la science elle-même, les démarches, les attitudes qu'elle met en œuvre. J. Désautels et M. Larochelle (1989) ont étudié les points de vue d'adolescents sur le savoir scientifique et son fonctionnement. Ils ont mis en évidence la persistance des positions scientifiques.

## **2. "ÉPISTÉMOLOGIE APPLIQUÉE" ET CONSTRUCTION DES CONTENUS**

2.1. Pendant les vingt dernières années, une des tâches des didacticiens des sciences a été de concevoir de nouveaux contenus éducatifs pour l'école primaire et les débuts de l'enseignement secondaire.

En France, le passage des "leçons de choses" à une initiation scientifique a donné lieu à deux erreurs d'appréciation de la part des scientifiques :

- il suffit d'analyser la matière à enseigner et de la simplifier, alors qu'il s'agit de la construire ;
- le savoir enseigné correspond à une période historique du développement de la science, alors que les problèmes à étudier doivent être réélabores.

Ainsi l'étude des circuits électriques à 6 ans, sans modèle du courant électrique, mais débouchant sur une notion tout à fait rigoureuse et même définitive de "circuit d'objets" comme condition nécessaire pour le fonctionnement du montage, ne correspond pas vraiment à une connaissance historiquement "situable" sous cette forme.

2.2. Il faut un travail proprement didactique pour choisir le “réfèrent empirique”, c’est-à-dire les manipulations et leurs descriptions, explorer les problèmes que posent les expériences ou les modélisations en fonction des raisonnements accessibles et des moyens de symbolisation disponibles pour représenter les phénomènes ou “calculer” des effets. Le but est de mettre au point l’ensemble des activités, des formulations et donc des objectifs possibles qui pourrait faire l’objet de l’enseignement.

Ce travail de **transposition de la pratique et de la pensée scientifiques en tâches et savoirs scolaires** et de légitimation des propositions peut être appelé “épistémologie appliquée” : il détourne les démarches et les concepts de l’épistémologie critique ou historique vers l’invention des possibles et le contrôle des significations. Dans les dernières années, ce type de recherche a été fait à propos de la modélisation en mécanique, en chimie et en physiologie au niveau de l’école primaire, du collège et du lycée (Équipe INRP/LIREST, 1992). Il débouche sur des propositions d’activités scolaires de modélisation et s’appuie sur un “schéma de la modélisation” général.

L’exemple du concept d’élément chimique, enseigné sans modèle moléculaire à des élèves de douze ans qui abordent quelques réactions chimiques, permet de bien voir tout l’intérêt de la connaissance historique qui suggère des idées et met en évidence les problèmes et les obstacles. Mais ni Mendéléïeff, qui est atomiste et donc traite le concept d’élément en relation avec ceux d’atome et de molécule (voir en particulier le rapport étroit qu’il affirme entre élément et “poids atomique” d’une part, corps pur et poids moléculaire d’autre part), ni Lavoisier qui n’a pas vraiment accédé à un concept d’élément acceptable aujourd’hui (la différence corps simple, élément n’est pas élucidée chez lui) ne fournissent de solution toute prête (J.-L. Martinand, 1986). Cependant, les considérations de Mendéléïeff sur la nature de la chimie, et la façon dont il construit son système périodique sur les propriétés relationnelles que les éléments entretiennent les uns avec les autres, ouvrent la voie vers une définition possible pour le niveau d’enseignement concerné : l’élément doit être conçu comme ce qui se conserve dans la réaction chimique.

2.3. Si l’étude des conceptions des élèves et des étudiants peut s’appuyer sur les travaux assez nombreux d’histoire des découvertes, la conception d’enseignements nouveaux a besoin de plus de données sur l’histoire de la diffusion des sciences, et en particulier sur l’histoire des disciplines scientifiques scolaires. Les relations entre recherches didactiques et recherches historiques devraient d’ailleurs être étroites à ce sujet : l’histoire a besoin de la théorisation didactique sur les principes directeurs des disciplines, et la conception didactique a besoin de prendre en compte les tendances dégagées par l’histoire, comme le montre S. Johsua (1985) à propos de l’enseignement de l’électrocinétique depuis 1900 en France, et surtout B. Belhoste (1990) dans son étude sur la réforme des programmes de sciences dans l’enseignement secondaire français en 1902.

En effet, certains aspects essentiels d'une discipline d'enseignement échappent à une histoire qui ne s'intéresse qu'aux concepts, ou au jeu des acteurs sociaux. Par exemple, dans l'enseignement français, depuis la réforme de 1902, une question est cruciale pour tout programme : la capacité de réaliser des travaux pratiques, d'organiser ceux-ci sur l'année. Or cette question est rarement présente dans les débats sur la structure conceptuelle ou la progression des leçons, et n'est donc pas prise en compte par les recherches historiques.

### 3. L'HISTOIRE DES SCIENCES DANS L'ENSEIGNEMENT : À QUELLES CONDITIONS ?

3.1. Il faut sans doute renoncer à recenser tous les écrits qui souhaitent que l'histoire des sciences vienne (ou revienne) dans l'enseignement : ils sont récurrents et apparemment peu efficaces.

Il se fait pourtant de l'histoire de la physique et de la chimie dans l'enseignement secondaire français. Ce sont surtout des activités historiques pour les élèves littéraires ; l'histoire est ici un moyen pour intéresser et faire réfléchir. Il n'y a pas de développement notable dans les autres classes.

Il y a aussi, dans le cadre de "Projets d'Action Éducative", des montages d'expositions, des comptes rendus de compilations sur un savant local... Dans la dernière période, quelques lycées ont redécouvert les richesses de leur vieux fonds de matériel scientifique et l'exposent (P. Le Fur, 1992).

Mais il convient de s'interroger : d'où viennent les résistances ? Pourquoi, depuis 1900, les promoteurs du "retour aux sources" ont-ils si peu de succès ?

3.2. Pour mieux comprendre les données du problème, il est bon de revenir avec N. Hulin (1984) sur l'histoire des sciences dans l'enseignement au XIX<sup>e</sup> siècle. Dans son article, N. Hulin rappelle les termes des deux grands débats sur les méthodes de l'éducation scientifique au siècle dernier en France :

– méthode historique ou méthode dogmatique ? La seconde domine peu à peu (dogmatique n'a pas ici de sens péjoratif), malgré des rappels comme celui des Instructions de 1854, à l'instigation du chimiste Dumas : *"quand vous exposez un sujet général, résumez-en l'histoire..."* ;

– méthode inductive ou méthode déductive ? Ici aussi la seconde l'emporte peu à peu, au niveau universitaire du moins.

On peut penser que le vrai débat est le suivant : présenter la physique comme "science naturelle", revue de phénomènes plus ou moins organisée et explicative, ou comme "science théorique et expérimentale", exposé systéma-

tique de théories et d'applications. Le changement dans les traités universitaires vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle est frappant à ce sujet, et clôt en quelque sorte le débat.

Or une revue de phénomènes manque de structure intellectuelle, et l'histoire peut lui donner une ligne directrice. Par contre, si l'exposé de théories est au centre de l'enseignement, si on veut faire apprendre une physique ou une chimie opératoires, il n'y a plus place pour de l'histoire, sinon quelque rapide "introduction" ou quelque "notice". L'exclusion paraît définitive, car l'antagonisme théorie/histoire est très fort.

3.3. Pourtant des tentatives ont été faites, en particulier la "*pédagogie de la redécouverte*" de C. Brunold (1948). Mais prétendre passer en deux heures de l'expérience à la découverte d'une loi ou la formulation d'un principe est une illusion... ou une escroquerie.

Plus modestement, certains chapitres plus "modernes" du programme ont pu être présentés de manière "historique". Ainsi les manuels des années 60 pour la dernière classe terminale des lycées présentaient l'effet photoélectrique de la manière suivante :

- existence ;
- les lois : • dispositif expérimental,
  - résultats : seuil, instantanéité, saturation, potentiel d'arrêt ;
- interprétation : travail d'extraction, loi d'Einstein  $\frac{1}{2} mv^2 = h (v - v_0)$ .

Une phrase résumait le sens du chapitre : "*l'interprétation de l'émission photoélectrique a suggéré à Einstein l'hypothèse des photons*". Autrement dit : il y avait les expériences, incompréhensibles... et enfin, en 1905, Einstein arriva.

Il est dommage pour cette reconstruction que Millikan (1924) la contredise totalement dans sa relation détaillée des expériences de 1916, de leurs difficultés et de leur sens. Mieux vaut sans doute ne pas faire d'histoire, mieux vaut une démarche "dogmatique" que de présenter une pseudo-histoire passant complètement à côté des problèmes expérimentaux surmontés par Millikan et de l'audace théorique d'Einstein dans son article de 1905 significativement intitulé : "*Sur un point de vue heuristique concernant la production et la transformation de la lumière.*"

3.4. Pour espérer réaliser le vœu de réintroduire l'histoire dans l'enseignement, il faut donc reprendre les problèmes à la base. Le problème fondamental doit sans doute être formulé ainsi : **quelles sont les conditions d'articulation entre une approche du sens historique et une initiation aux connaissances opératoires ?**

La première condition pour que l'histoire des sciences puisse s'intégrer à l'éducation scientifique consiste à modifier les fins mises en avant. Trois

orientations en ce sens peuvent être distinguées, et éventuellement combinées dans la pratique, pour assurer un “accrochage” de l’histoire :

– dans un premier cas, il s’agit que les élèves puissent mesurer leurs progrès aux obstacles franchis dans le passé par la communauté scientifique. C’est ce qu’avait tenté avec des élèves de 13-14 ans J. Charlemagne (1978) à propos de l’initiation à la mécanique ;

– dans un second cas, il s’agit d’inscrire l’acculturation scientifique dans une approche d’ensemble des relations Sciences/Techniques/Structures et évolutions sociales. G. Aikenhead (1992) a argumenté les multiples modalités de ce type d’enseignement et donné des éléments d’évaluation sur les expériences existantes, en Amérique du Nord et en Europe. En France, F. Audigier et P. Fillon (1991) illustrent bien cette orientation ;

– dans un troisième cas, il s’agit enfin de promouvoir l’appropriation de la science comme une aventure humaine, et pas seulement comme l’acquisition de connaissances théoriques et instrumentales. H. Nielsen et P. Thomsen (1986) avaient insisté en ce sens lors de la conférence de Munich sur l’éducation scientifique et l’histoire de la physique. Dans un article plus récent, J. Fournier (1991) a développé l’intérêt de l’histoire de la chimie dans l’enseignement supérieur pour aider les étudiants chimistes à mieux s’orienter dans la discipline et aider leur propre choix.

Ces nouvelles finalités sont légitimes dans les classes littéraires et y rendent possible l’histoire des sciences. Ce sont aussi celles qui orientent un manuel comme celui de G. Holton (1973), *Introduction to concepts and theories in physical science*.

3.5. Au-delà des fins, la seconde condition pour une intégration de l’histoire des sciences réside dans un changement de la conception des activités des élèves. À côté des cours, des exercices, des travaux pratiques, il faut accepter des activités de documentation, avec une place significative et une fonction fondamentale. Il s’agit de considérer la science comme objet de communication.

C’est ainsi que la collection de manuels de sciences physiques éditée de 1977 à 1980 (collection *Libres Parcours*, Hachette), comporte dans le cadre d’une structure complètement nouvelle (documents – activités – encyclopédie) des textes historiques dans la partie documents. Ce ne sont pas des annexes à une “leçon”, mais des occasions de lecture, de réflexion, de comparaison, de mise en relation.

Pour que l’enseignement, avec ces activités variées, retrouve une unité, il faut trouver une complémentarité et une convergence des différentes approches. Comme y invite pour la France la *Déclaration sur l’Enseignement des Sciences Expérimentales* du Conseil National des Programmes, il faut articuler des démarches d’investigation, expérimentale et documentaire, et des démarches de présentation, constructive ou déductive. Alors, l’histoire des sciences, comme la réflexion sur l’activité scientifique elle-même, peuvent effectivement trouver leur place.

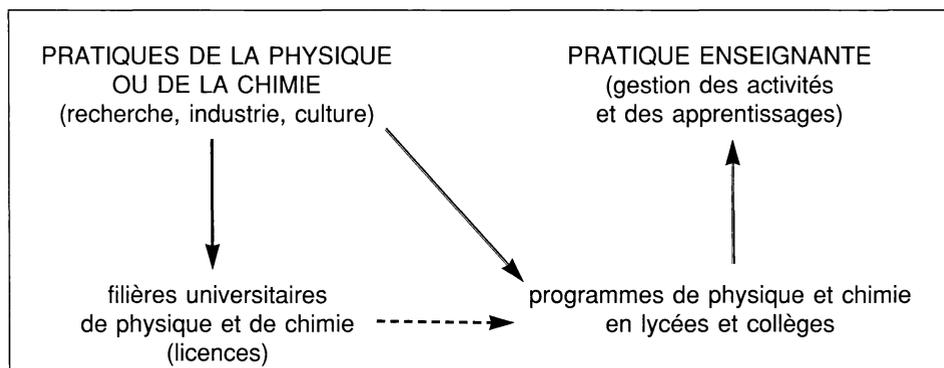
3.6. Apparaît alors en évidence la troisième condition, celle de la mise à disposition d'outils documentaires pertinents. Il n'y a pas tant besoin de récits historiques, ou de chronologies, que de recueils de textes, authentiques, assez longs pour être étudiés, accessibles sans être noyés sous les introductions ou les notes. Pour les sciences physiques en France, il y a sans doute eu une régression des ressources disponibles depuis les recueils des années 1900 (pour un exemple de publication récente, voir D. Fauque, 1991).

Mais il y a aussi besoin de livres qui donnent des idées d'exploitation pour les enseignants, des "portefeuilles" de documents : une époque/une expérience/un chercheur/un progrès théorique/un progrès instrumental, etc.

#### 4. L'HISTOIRE DES SCIENCES DANS LA FORMATION DES ENSEIGNANTS

On peut considérer la didactique, discipline de formation des enseignants, comme une discipline de transfert entre les disciplines universitaires, qui devraient donner des éléments pour la compréhension de la physique et de la chimie telles qu'elles se pratiquent, et l'exercice du métier d'enseignant de sciences physiques au lycée et au collège, voire à l'école.

Le tableau ci-après permet de localiser les problèmes de la formation des enseignants : on doit s'interroger sur chaque rubrique et chaque flèche.



Où et quand est-il utile, intéressant, nécessaire même, de recourir à l'histoire des sciences ?

S'il s'agit d'abord de la formation de savoirs professionnels pour maîtriser la pratique enseignante, l'histoire ne peut être qu'au "service" de la formation didactique. Mais dans sa composante pratique (stage avec des

élèves) et dans sa composante normative (appropriation des curriculums officiels), on peut estimer aujourd'hui que la formation didactique n'a pas besoin d'histoire des sciences compte tenu des finalités habituelles.

Seule la composante qui s'appuie sur l'innovation et la recherche, et qui assume donc une **fonction critique et prospective**, fonction habituellement fort minoritaire dans la formation, appelle des apports historiques. La première partie de ce "point de vue" a montré comment l'histoire des sciences pouvait éclairer les problèmes rencontrés dans la gestion des activités et des apprentissages. La seconde partie a évoqué l'usage de l'histoire des sciences pour mieux poser les questions d'élaboration et de signification des programmes de physique et de chimie. Enfin la troisième partie a cherché à mettre en évidence les conditions et les moyens nécessaires à une intégration de l'histoire des sciences dans les programmes. Ces trois thématiques peuvent orienter la formation historique au service de la didactique.

A côté de cette histoire des sciences, étroitement dépendante et on peut dire "servante" de la didactique, il y a une place pour l'épistémologie, et donc l'histoire des sciences, avec un statut majeur. La carence principale des futurs enseignants de physique et de chimie n'est pas en effet leur "niveau universitaire insuffisant" dans ces disciplines : c'est que leurs études universitaires permettent peu de réel contact avec les pratiques de la physique ou de la chimie, dans la recherche, l'industrie, la culture... La "mission" de l'histoire et de l'épistémologie des sciences est donc de nourrir la documentation et la réflexion sur ces pratiques, leurs évolutions, leurs fondements, sans visée didactique immédiate.

## BIBLIOGRAPHIE

AIKENHEAD G. (1990). L'approche sciences-technologies-société et l'apprentissage des sciences : une perspective de recherche (Savard L., traductrice). *Bulletin Cethes-EMSTES* - n° spécial 16, Facultés Universitaires de Namur.

AUDIGIER F. & FILLON P. (1991). *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques, une approche pluridisciplinaire*. Paris, INRP.

BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin.

BELHOSTE B. (1990). L'enseignement secondaire français et les sciences au début du XX<sup>e</sup> siècle. La réforme de 1902 des plans d'étude et des programmes. *Revue d'histoire des sciences*, t. XLIII, n° 4, pp. 371-400.

BENSEGHIR A. (1989). *Transition électrostatique - électrocinétique ; point de vue historique et analyse des difficultés des élèves*. Thèse. Paris, Université Paris 7.

BROUZENG P. & BLONDEL C. (Eds) (1988). *Histoire de la physique et enseignement des sciences*. Université Orsay et Paris - Cité des Sciences et de l'Industrie.

BRUNOLD C. (1948). *Esquisse d'une pédagogie de la redécouverte dans l'enseignement des sciences*. Paris, Masson.

CHARLEMAGNE J. (1978). Réflexions sur une première approche du mouvement en mécanique avec des élèves de quatrième. *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, n° 8, pp. 47-55.

DÉSAUTELS J. & LAROCHELLE M. (1988). *Qu'est-ce que le savoir scientifique ? Points de vue d'adolescents*. Québec, Presses de l'Université Laval.

Équipe INRP/LIREST (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation*. Paris, INRP.

FAUQUE D. (1991). *Pages choisies : la révolution chimique*. Orsay - Plus.

FOURNIER J. (1991). L'histoire de la chimie : quel intérêt pour le chimiste ? *L'actualité chimique*, juillet-août 1991, pp. 292-294.

GARCIA R. & PIAGET J. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris, Flammarion.

HALBWACHS F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. Paris-Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.

HOLTON G. & BRUSH S. (1973 - 1<sup>re</sup> éd.). *Introduction to concepts and theories in physical science*. Addison-Wesley (2<sup>e</sup> édition 1985, Princeton University Press).

HULIN N. (1984). L'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique. *Revue Française de Pédagogie*, n° 66, pp. 15-27.

JOHSUA S. (1985). *Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique (essai de didactique expérimentale)*. Thèse d'État, Marseille, Université d'Aix-Marseille II.

LE FUR P. (1992). Un pendule de Foucault au Prytanée de la Flèche. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 741, pp. 193-204.

MARTINAND J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne, Peter Lang.

MILLIKAN R.A. (2<sup>e</sup> éd. 1924). *L'électron*. Paris, Alcan (1926).

NIELSEN H. & THOMSEN P. (1986). Crises in Physics Education. In P. Thomsen (Ed.), *Science Education and the History of physics*. Aarhus University, pp. 9-23.

SALTIEL E. & VIENNOT L. (1984). What do we learn from similarities between historical ideas and the spontaneous reasoning students ? In P. Linjse (Ed.), *The many faces of teaching and learning mechanics*. Utrecht, GIREP/SVO/UNESCO.

SOLOMONIDOU C. (1991). *Comment se représenter les substances et leurs interactions ? Etude chez les jeunes élèves du collège*. Thèse. Paris, Université Paris 7.

STAVRIDOU H. (1990). *Le concept de réaction chimique dans l'enseignement secondaire*. Thèse. Paris, Université Paris 7.

*Libres parcours* (1977-1980). Collection de manuels de sciences physiques pour les élèves et guides du maître (classes de sixième, cinquième, quatrième, troisième). Paris, Hachette.

*Didactique et histoire des sciences* (1987). Aster, n° 5, Paris, INRP.

*Déclaration du Conseil National des Programmes sur l'Enseignement des Sciences Expérimentales* (1991). Bulletin Officiel du 20 février 1992. Paris, Ministère de l'Éducation nationale.



# Une gestion de l'apprentissage de la chimie expérimentale en premier cycle universitaire

**Christiane PERNOT**

GHDSO-LIREST  
Université Paris 11 bât. 336  
Avenue Clémenceau  
91405 Orsay Cedex

## **Résumé**

*L'expérience présentée concerne la mise en place raisonnée de modules semestriels de chimie expérimentale en première année universitaire à Orsay (Université Paris Sud). Dans ces modules l'apprentissage et l'évaluation passent par la définition du rôle et du contenu de la **discipline** chimie expérimentale.*

*Après analyse critique des pratiques courantes, des choix ont été faits pour modifier l'enseignement et des décisions prises pour que ces choix soient respectés (contenu, horaires, stratégie pédagogique, évaluation...).*

*Le premier module semestriel, entièrement indépendant du cours théorique, est présenté.*

**Mots clés :** chimie expérimentale, objectifs, contenus, responsabilisation, stratégie pédagogique.

## **Abstract**

*The work presented here concerns a reasoned implementation of semester-units in experimental chemistry during the first college year (Université*

Paris Sud). In these units both learning and assessment go through a definition of the function and of the content of experimental chemistry as a **subject matter**.

*After a critical analysis of usual practices, choices have been made in order to modify teaching and decisions have been taken so that these choices are respected (content, number of hours, pedagogical strategy, rating...).*

*The first semester unit, entirely independent of the theoretical course, will be presented.*

**Key words :** *experimental chemistry, aims, contents, responsibility awareness, educational strategies.*

Cette étude a débuté en 1989 par suite du profond malaise ressenti par les enseignants de chimie à l'égard des travaux pratiques en premier cycle. L'investissement en temps et en argent était jugé peu rentable au regard du peu d'intérêt accordé par les étudiants à ces travaux pratiques, et du fait que l'évaluation n'était pas prise en considération dans l'examen.

Considérant que le caractère expérimental est un facteur essentiel dans l'apprentissage et la compréhension de la chimie, la proposition avancée par certains enseignants de supprimer les travaux pratiques de chimie en premier cycle universitaire nous a poussés à analyser les pratiques, à les critiquer et à proposer et tester des séquences d'apprentissage en objectivant des critères de faisabilité.

L'ensemble des enquêtes, entretiens et analyses sur les pratiques figurent dans un document ronéoté (Pernot, 1990). A la suite de cette étude nous avons mis en place un enseignement expérimental que nous présentons, depuis le choix des objectifs et l'analyse des contraintes jusqu'aux moyens de fonctionnement.

## 1. DÉCISION D'UNE RÉNOVATION DES TRAVAUX PRATIQUES

### 1.1. Description schématique d'une coutume

Les enseignants et les étudiants de premier cycle souhaitent une relation avec le cours ; la chimie expérimentale est perçue comme "au service" du cours théorique.

Or cette relation est le plus souvent mal assurée, soit par inadéquation entre les possibilités de manipulation et les concepts théoriques enseignés en cours, par exemple la structure de la matière, soit par suite d'un problème d'emploi du temps ne permettant pas de faire coïncider les cours théoriques et les activités expérimentales.

Les objectifs sont mal définis. Les enquêtes indiquent qu'il y a implicitement un mélange d'objectifs de savoir, de savoir-faire, d'acquisition d'autonomie, de formation à la démarche expérimentale et à la communication de résultats de mesure. Ces objectifs ne sont généralement pas hiérarchisés de façon stable, ni gérés dans une progression d'apprentissage.

L'évaluation est difficile, en partie parce que la notion de service par rapport au cours entraîne l'utilisation de différentes techniques sans progression raisonnée. Il est alors difficile de concevoir une spécificité de l'apprentissage avec des étapes et des réinvestissements permettant de contrôler des acquis.

Les séances s'appuient souvent sur des photocopiés présentant le mode d'emploi d'une technique, laissant peu d'initiative à l'étudiant, sans repères pour situer le problème dans le réel et par suite peu motivants.

## 1.2. Les choix

L'idée est de s'affranchir de la relation avec le cours pour constituer des modules expérimentaux autonomes avec leur logique propre, leurs apprentissages spécifiques et leur évaluation.

La première question à résoudre est de définir les objectifs de cette chimie expérimentale. Nous retenons deux orientations :

– **l'apprentissage de techniques et d'utilisation de produits en fonction de leurs propriétés.** Il se fait de façon ordonnée et dans un temps limité (prévoyant des séquences répétitives). Cet apprentissage est lié à celui de la communication de résultats de mesures et de la description d'un protocole expérimental technique. Cette orientation correspond à une démarche "active" avec comme référence le laboratoire d'analyse et les objectifs d'apprentissage sont :

- l'utilisation de modes d'emploi,
- le savoir-faire technique,
- l'utilisation d'appareils,
- le soin,
- la tenue d'un cahier de laboratoire.

L'évaluation se fait sur la présentation du bilan critique des mesures et de l'expérimentation technique choisie permettant ces mesures.

– **l'initiation à l'expérimentation.** Il n'est pas possible d'en définir les méthodes d'une façon ordonnée et c'est une série d'interactions avec la théorie qui en valide les conclusions.

La communication des résultats se fait d'une façon différente incluant la validation théorique. Cette orientation correspond à une démarche

“*heuristique*” avec comme référence le laboratoire de recherche et les objets d'apprentissage sont :

- l'utilisation d'articles scientifiques,
- la construction d'un plan d'expérience,
- la recherche d'invariants,
- la reproductibilité de mesures,
- l'utilisation de supports théoriques.

L'évaluation se fait par la communication à un “milieu scientifique” d'une synthèse argumentée prenant en compte les résultats de plusieurs “chercheurs” et les éléments théoriques connus.

Nous avons choisi de séparer clairement dans le temps ces deux objectifs. Au premier semestre nous avons élaboré un module de formation technique se référant à la démarche active, et au second semestre un module de formation à la démarche scientifique.

Pour garantir l'apprentissage et son évaluation nous nous sommes donné des critères de cohérence de l'apprentissage proposé et de motivation des étudiants.

La cohérence de l'apprentissage est assurée par :

- l'explicitation des objectifs,
- la prise en compte des capacités de l'étudiant,
- la vérification de l'adéquation entre les activités proposées et les objectifs déclarés,
- la mise en place d'une progressivité dans l'apprentissage avec un réinvestissement des acquis au fur et à mesure,
- le choix d'une stratégie pédagogique dans laquelle le rôle des protagonistes est défini,
- des procédures d'évaluation cohérentes avec les objectifs d'apprentissage déclarés.

Les éléments de motivation sont :

- la référence au vécu afin que le problème prenne un sens aux yeux de l'étudiant,
- la responsabilisation des étudiants,
- la discussion des résultats obtenus.

## 2. GESTION D'UN APPRENTISSAGE

Nous présentons le premier module d'apprentissage de techniques et d'utilisation de produits chimiques. Le second module sera décrit ultérieurement.

## 2.1. Objectifs et contenu du module

Ce premier module semestriel est indépendant du cours, qui porte sur la structure de la matière. Désirant utiliser et développer ce que l'étudiant connaît en arrivant à l'université, il nous a paru judicieux de travailler sur l'analyse quantitative (avec des aspects qualitatifs) d'espèces chimiques en solution utilisant les différentes techniques de dosages acido-basiques, d'oxydo-réduction (déjà connues) ou spectrophotométriques (nouvelles).

L'apprentissage, progressif, concerne quelques techniques utilisées plusieurs fois dans des séances différentes et porte sur le raisonnement permettant de manipuler de façon responsable et critique la verrerie, les produits et les appareils. Une seule de ces techniques est nouvelle par rapport au lycée. L'étudiant apprend à analyser et critiquer l'efficacité d'un protocole de manipulation et à gérer sa sécurité.

Cet apprentissage met en œuvre la rédaction et l'utilisation d'un cahier de laboratoire, comme outil de réflexion sur les conditions d'expérimentation et de recueil de mesures. Ce cahier aide au réinvestissement des acquis d'une séance à l'autre et témoigne des apprentissages, tant sur le plan des techniques que sur le plan de la gestion des informations écrites. C'est aussi une aide pendant les séances d'examen en fin de module.

Les analyses proposées sont résumées ci-dessous :

Sujets	Techniques
Dosage de l'acide éthanoïque dans plusieurs vinaigres	Dosage direct : volumétrie, pHmétrie (étudié en partie au lycée)
Spectrophotométrie d'absorption de différents colorants	Spectrophotométrie, absorptiométrie (nouveau par rapport au lycée)
Dosage des sucres dans le jus d'orange	Dosage en retour : volumétrie (étudié en partie au lycée)
Dosage des pigments dans les épinards	Extraction chimique, absorptiométrie, chromatographie (nouveau)
<b>Contrôle des acquis</b>	
Dosage de la vitamine C dans les fruits	Dosage en retour
Dosage de colorant dans un sirop de fruit du commerce	Spectrophotométrie d'absorption

## 2.2. Supports matériels

En plus des produits et des appareils, les étudiants disposent des notices des appareils, des fiches de toxicologie de tous les produits utilisés, des catalogues de verrerie et de produits, d'articles de journaux scientifiques ou de consommateurs, des étiquettes de produits du commerce et de livres de chimie de lycée.

Pour chaque séance, le photocopie comprend un travail préparatoire avec des indications sur l'expérience, des questions pour guider la réflexion de l'étudiant, puis un cahier de laboratoire pré-rédigé à compléter pendant la manipulation. Cette dernière partie est de moins en moins directive au fur et à mesure du déroulement du module.

## 2.3. Gestion du temps

La progressivité de l'apprentissage dépend de la succession judicieuse des sujets traités et des techniques utilisées.

La durée optimale d'une séance est d'une journée ; l'étudiant quitte la salle avec un travail terminé, corrigé et critiqué.

Le déroulement de chaque séance permet à l'étudiant :

- de vérifier qu'il possède les prérequis nécessaires pour comprendre le sens de la manipulation (discussion avec le groupe et l'enseignant sur le travail préparatoire),
- de proposer et d'appliquer un plan d'expérimentation,
- de recommencer des mesures ou essayer un autre plan,
- de comparer son expérience et ses résultats avec ceux des autres membres du groupe,
- de compléter le cahier de laboratoire,
- de critiquer son travail, d'en faire le bilan et de reporter ces critiques dans le cahier de laboratoire pour le compléter ou le corriger.

Sur l'ensemble des séances, un temps est consacré aux séances d'apprentissage (au nombre de 4) et un temps à l'évaluation des acquis (2 manipulations). Cette gestion conduit les étudiants à réinvestir au fur et à mesure les acquis dans des expérimentations plus complexes ou moins guidées et leur permet de contrôler et d'évaluer leur apprentissage.

## 2.4. La stratégie pédagogique

### *Prise en compte des capacités de l'étudiant*

Nous essayons d'identifier ce qu'un étudiant est supposé savoir, compte tenu des programmes du Secondaire, de la façon dont les enseignants

de lycée utilisent les travaux pratiques et des expérimentations couramment effectuées ou “suivies” par les élèves.

Nous vérifions les prérequis de l'étudiant pour chaque séance de travaux pratiques à l'aide du travail préparatoire.

Nous analysons pour chaque séance l'ensemble des tâches techniques ou cognitives ou de communication que doit effectuer l'étudiant. Nous les planifions, nous organisons une préparation, puis une discussion permettant à l'étudiant de structurer le rôle de chaque tâche. Sinon l'ensemble risque de constituer un bruit de fond duquel l'essentiel n'émerge pas pour l'étudiant, qui ne sait plus ce que l'on attend de lui.

Enfin les aspects psychologiques sont pris en compte : les enquêtes montrent qu'il y a souvent un effet de “stress”, une peur de casser du matériel, une peur devant des produits chimiques mal connus. La prise de décision n'étant pas une habitude, un encouragement peut être nécessaire.

### ***Activités proposées***

Ce premier module est destiné à l'apprentissage d'une utilisation raisonnée de techniques simples et à la rédaction d'un document de travail avec communication critique des résultats et description justifiée de l'expérience menée. Les activités proposées en relation avec les objectifs définis plus haut sont :

- l'exploitation des documents permettant d'aborder le sujet de l'expérimentation et de réaliser le travail préparatoire,
- un travail expérimental et la rédaction simultanée du cahier de laboratoire,
- la critique et la comparaison des résultats, le questionnement sur l'adéquation et l'efficacité du protocole expérimental par rapport à l'étude proposée.

La série des manipulations permet une progression dans l'initiative et la prise de décision de choix “techniques”, ainsi que dans la présentation synthétique et la mise en forme des résultats, l'objectif étant de responsabiliser l'étudiant.

L'étudiant dispose de repères pour trouver une logique entre les produits mis à sa disposition, les appareils et le dosage à effectuer, ainsi que pour apprécier la pertinence d'un dosage proposé et le domaine de concentration des substances étudiées.

Ceci implique une préparation et une manipulation préalables de la part de l'enseignant, et également une discussion au sein d'une équipe pédagogique, incluant les techniciens.

### ***Rôle de l'enseignant***

L'enseignant :

- garantit un apprentissage,
- est responsable de la conception du sujet (thème-démarche) et du polycopié,
- est un support-conseiller technique et théorique,
- rassure et aide l'étudiant à prendre conscience de ses capacités,
- s'assure que le travail a un sens pour l'étudiant,
- élabore avec l'étudiant et le groupe une critique constructive sur l'utilisation du matériel et les résultats de mesures,
- incite l'étudiant à utiliser toutes les aides et à comparer son travail et ses résultats avec ceux des autres étudiants,
- est un correcteur-évaluateur.

### **3. L'ÉVALUATION**

Pendant les séances la stratégie pédagogique permet une évaluation de l'apprentissage en cours. Nous considérons qu'il y a trois étapes :

- l'évaluation du travail à accomplir par l'intermédiaire du travail préparatoire proposé : c'est l'étape d'évaluation "***prédictive***",
- le travail expérimental et la rédaction du cahier de laboratoire, suivis de la critique de l'expérience et de ses résultats : c'est l'étape d'évaluation "***formative***",
- l'évaluation des acquis en fin de module. Sont évaluées les capacités à proposer un plan de travail raisonné, communiquer des résultats sous forme d'un compte-rendu écrit, les comparer et les critiquer : c'est l'étape d'évaluation "***sommativ***".

Les deux premières étapes permettent à l'étudiant de s'auto-évaluer.

### **4. LE CONTEXTE D'ENSEIGNEMENT AU PREMIER SEMESTRE**

Les modules de première année à Orsay sont considérés comme des modules d'orientation. Les étudiants qui suivent l'enseignement décrit ci-dessus se destinent à des études en mathématiques et informatique, mathématiques et physique ou chimie et physique. Le module comprend :

- 36 h d'enseignement pour la chimie en laboratoire (groupes de 24 étudiants),
- 30 h de travaux dirigés et 30 h de cours sur la structure de la matière et la liaison chimique.

Cet enseignement, qui concerne environ 320 étudiants, est assuré pour la chimie par une équipe pédagogique composée de 10 enseignants en travaux dirigés et cours, 10 enseignants en chimie expérimentale (certains assurent les deux types d'enseignement) et une technicienne.

## 5. CONCLUSION

Pendant quatre années nous avons testé l'efficacité de ces modules par rapport aux objectifs choisis et enquêté sur la façon dont ils sont "vécus" par les étudiants et les enseignants. Des analyses de copies, des enquêtes et des entretiens ainsi que des observations de séances permettent les conclusions suivantes :

- la motivation des étudiants et des enseignants est grande,
- il est plus facile d'évaluer l'enseignement, grâce aux objectifs déclarés ; une conséquence est la prise en compte de la note dans l'évaluation globale en chimie,
- dans leur grande majorité, les étudiants sont capables, en fin de module, de présenter et d'argumenter un protocole expérimental sur une manipulation nouvelle,
- les tâches étant bien définies, il est plus facile pour les enseignants de détecter les obstacles.

Cependant, nous constatons qu'il reste aux étudiants à acquérir une capacité à comprendre et à présenter un travail dans une problématique globale. Dans le second module semestriel, nous utilisons les acquis techniques et nous développons les capacités à présenter une expérience, à élaborer une synthèse des résultats d'étudiants différents et à gérer la communication d'une démarche expérimentale. Cette complémentarité dans les objectifs permet une formation équilibrée et une motivation efficace. Cette formation demande à être consolidée et diversifiée les années suivantes.

## BIBLIOGRAPHIE

PERNOT C. (1990). *Contribution des travaux pratiques à la formation en chimie des étudiants de 1<sup>er</sup> cycle universitaire*. Paris, Association Tour 123.

# Les Olympiades de Physique

**Dominique LE QUÉAU**

Président du Comité Exécutif des Olympiades de Physique  
CETP-CNRS  
10, 12 Avenue de l'Europe, 78140 Vélizy, France

## **Résumé**

*Afin de développer l'enseignement expérimental de la physique dans l'enseignement secondaire, la Société Française de Physique et l'Union des Physiciens organisent, avec le soutien de l'État et d'entreprises privées, un concours destiné à récompenser des équipes de lycéens qui réalisent et exploitent des dispositifs expérimentaux. Ce court article essaye de résumer les objectifs de ces "Olympiades de Physique" et leurs résultats, après leurs deux premières années d'existence.*

**Mots clés :** *enseignement, physique, projets expérimentaux, concours, partenariats.*

## **Abstract**

*In order to develop experimental teaching in secondary school, the Société Française de Physique and the Union des Physiciens organize, with the support of the administration and of private firms, a competition that aims at rewarding teams of scholars that build and exploit experimental devices. In this short paper one tries to summarize the objectives of these "Olympiades de Physique", and their results, two years after their birth.*

**Key words :** *teaching, physics, experimental projects, competition, partnerships.*

Les vocations se font de plus en plus rares, en physique comme ailleurs... Au cours des nombreuses années consacrées à subir un enseignement souvent très abstrait – au sens où il ne laisse qu’une faible part à la “découverte” personnelle des phénomènes et – faut-il l’écrire –, perçu comme peu attrayant, combien de ceux qui exercent un métier de physicien n’ont-ils pas découvert la leur grâce à quelque “bricolage”, à quelque “manip”, suscités par la curiosité personnelle ou les sollicitations d’un enseignant ?

## 1. PRINCIPES ET OBJECTIFS

C’est tout d’abord à cet aspect de réalisation concrète librement choisie et mise en œuvre par un “bricolage” guidé, que se sont attachés les promoteurs des Olympiades de Physique. Ce concours, organisé depuis 1991 par la Société Française de Physique et l’Union des Physiciens, s’adresse à des groupes de lycéens des classes de première et de terminale, encadrés par des enseignants et conseillés, le plus souvent, par des chercheurs ou des ingénieurs. Il récompense la réalisation et l’utilisation de dispositifs expérimentaux construits par les élèves au cours de ces deux années consécutives.

Les groupes choisissent leur sujet de manière totalement autonome, sans aucune référence à un “programme”. Les dispositifs et les résultats que les élèves ont obtenus sont finalement présentés à des jurys, sous la forme d’exposés documentés. Les épreuves se déroulent à deux niveaux : un niveau régional, interacadémique, qui permet une première sélection, puis au niveau national. Les jurys sont constitués d’une manière large : ils comportent des universitaires, des chercheurs, des ingénieurs, des responsables d’entreprises, des enseignants du secondaire, des inspecteurs généraux, des inspecteurs pédagogiques régionaux... Autonomie du projet, élégance, simplicité, voire intérêt pratique du dispositif construit, rigueur de la démarche suivie dans la réalisation et dans l’exploitation des résultats, pertinence de ceux-ci et, bien sûr, maîtrise du sujet, voici quelques-uns des critères alors retenus pour distinguer les groupes lauréats.

A côté de ces qualités, qui ne sont pas toujours valorisées par les évaluations scolaires traditionnelles, la participation aux Olympiades suppose également un travail collectif où chaque élève peut mettre utilement à la disposition du “groupe de recherche” auquel il appartient le meilleur de ses compétences, même si celles-ci ne concernent pas directement la science traitée, comme par exemple la capacité à réaliser des montages vidéo pour la présentation... Cet aspect collectif est aujourd’hui la réalité de la recherche professionnelle et des activités de développement, qu’elles se déroulent dans un laboratoire lié à un organisme public ou à une entreprise privée.

Une autre dimension que souhaitent favoriser les Olympiades de Physique est l’ouverture des établissements d’enseignement aux autres acteurs de

la vie intellectuelle, scientifique et technique que sont les organismes de recherche, les entreprises et les collectivités territoriales. Tout dans l'organisation de ce concours vise au développement de véritables partenariats avec des acteurs extérieurs à l'établissement. L'objectif est d'une part d'impliquer ces acteurs économiques dans la formation – ce sont finalement eux qui seront les principaux bénéficiaires de la formation des élèves – et d'autre part de faire prendre au monde de l'École la "conscience concrète" de quelques nécessités de l'activité scientifique d'aujourd'hui : recherche de partenaires, négociations contractuelles, construction d'un budget équilibré...

## 2. ORGANISATION

Pour son financement national, l'opération "Olympiades de Physique" applique à elle-même ces principes partenariaux, puisqu'à ce niveau son budget est essentiellement supporté par des subventions contractuellement fournies, actuellement pour trois ans, par trois grosses entreprises : Aérospatiale, EDF et Renault. Des subventions du Ministère de l'Éducation nationale et du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche – heures supplémentaires et financement direct – et du CNRS viennent compléter ce dispositif budgétaire. Celui-ci permet d'accorder à chaque groupe candidat une subvention – relativement modeste : en moyenne 3 000 francs et une dizaine d'heures supplémentaires – après examen de son projet chiffré, et donc de compléter les ressources tirées des partenariats négociés au niveau régional.

Le comité exécutif national coordonne les opérations, établit les contacts avec les ministères concernés, répartit les subventions et... essaie d'assurer la pérennité du budget. Il est relayé par des équipes académiques, formées de volontaires, souvent responsables de l'Union des Physiciens et de la Société Française de Physique. Ceux-ci contactent les groupes, les mettent en relation avec les partenaires éventuels, organisent les concours régionaux... Dans le cadre de l'opération "Passion Recherche", les délégations régionales du CNRS peuvent également faciliter les contacts des groupes avec des laboratoires de recherche.

Pour les années 1991-1993, soixante-dix groupes, de cinq à six élèves en moyenne, issus de filières classiques ou techniques, provenant de vingt-quatre académies, ont ainsi réalisé des dispositifs expérimentaux. Après la première sélection régionale, dix-neuf ont finalement concouru au niveau national et, après exposé des travaux réalisés – en mars 1993, au Palais de la Découverte –, onze groupes finalistes ont reçu des prix, financés pour l'essentiel par le budget national des Olympiades, dont les montants s'échelonnent entre 25 000 et 5 000 francs.

### 3. LES LEÇONS DU PREMIER CONCOURS

Les présentations effectuées au concours national ont tout d'abord particulièrement révélé les synergies positives qui résultent de la complémentarité des compétences diverses des élèves de chaque groupe. Didactisme des orateurs, habileté des manipulateurs, sens esthétique et "professionnalisme" des réalisateurs de bandes son ou vidéo accompagnant l'exposé, tous ces éléments conjugués ont souvent fait de ces présentations des "spectacles totaux", à la fois forts et passionnants à suivre. C'est la preuve qu'une qualité d'expression remarquable peut être obtenue des élèves pour peu qu'ils soient motivés par un vrai travail collectif de longue haleine. Une telle capacité, tout à fait inattendue pour les organisateurs, mériterait d'être mieux utilisée dans l'enseignement secondaire et universitaire.

Une autre remarque est que les dispositifs conçus, construits et mis en œuvre par les groupes ont concerné des techniques et des effets physiques couvrant une gamme très large de domaines scientifiques, excédant souvent les contenus des programmes traditionnels de Physique des classes de première et de terminale : mécanique du point et du solide, acoustique, thermodynamique, physique nucléaire, physico-chimie de l'atmosphère, astronomie, physique des particules, optique géométrique et physique, électrochimie... Les nombreuses questions posées par le jury ont démontré que souvent, des concepts physiques que l'on n'imaginait pas pouvoir être facilement compris par des élèves de ce niveau étaient convenablement maîtrisés, comme si la nécessité de les utiliser pour réaliser un dispositif choisi avait simplifié leur assimilation.

Très divers dans leur ambition et leur complexité, les projets présentés allaient de la série d'expériences simples et démonstratives sur un sujet déterminé à la réalisation de dispositifs complexes, nécessitant la maîtrise de nombreuses techniques. Aux Olympiades aussi le débat entre "big" et "small" science était à l'ordre du jour... Dans sa sagesse, le jury national a su récompenser des réalisations des deux types.

Une grande partie des dispositifs faisaient massivement appel à la prise de données en temps réel et au traitement informatique. Ils avaient pour ambition d'être immédiatement exploitables comme expériences de cours. L'enseignement d'électronique dispensé aux élèves était largement mis à profit pour améliorer les chaînes de traitement de données. Ces dispositifs permettaient de présenter simplement et pédagogiquement quelques phénomènes classiques – chute des corps, lois de conservation mécaniques, vitesse de la lumière... –, ainsi que quelques notions plus modernes comme la dimension fractale d'un dépôt électrochimique, etc. Dans le domaine de la physique des particules par exemple, certains groupes se sont fait historiens et ont "retrouvé" et réalisé quelques dispositifs classiques de production et de détection des particules : chambre à brouillard, tube accélérateur d'électrons, détecteur à fil... qui ont valu à leur premier concepteur des prix Nobel en 1909... et en 1992.

D'autres réalisations d'excellente qualité avaient pour objectif de mettre au point des dispositifs pratiques, immédiatement utilisables dans la vie courante, et éventuellement commercialisables, dans une démarche que l'on pourrait qualifier de "recherche et développement" : mise au point d'un mélange dont la transition de phase liquide-solide permettait d'assurer un bain thermostaté efficace, susceptible de maintenir au chaud le contenu d'une assiette, construction et optimisation d'un réfrigérateur à effet Peltier, branchable sur l'allumecigare d'une automobile, pour conserver l'insuline nécessaire à un automobiliste diabétique, réalisation d'instruments de musique inédits. Enfin les sciences de la nature – astronomie, météorologie, étude de l'environnement – ont motivé quelques travaux très originaux : modélisation physique du processus de nucléation conduisant à la formation des nuages, suivi du taux d'ozone troposphérique.

Bref, une grande diversité de motivations, qui a conduit à des réalisations concrètes d'excellente qualité, presque toujours grâce à l'association des groupes avec un chercheur ou un ingénieur d'un laboratoire public ou privé. D'après une enquête menée auprès des animateurs régionaux des Olympiades, bien que ces derniers aient parfois eu du mal à situer, au début, le niveau réel des élèves, ils ont rapidement surmonté cet obstacle grâce à leur capacité d'écoute et à l'enthousiasme d'élèves mis pour la première fois en contact actif avec des professionnels de la Science.

Cette remarque doit prendre tout son sens dans la volonté politique actuelle de faire jouer un rôle accru de formation aux chercheurs : celui-ci ne doit pas se limiter à l'appui qu'ils peuvent apporter à l'enseignement universitaire, souvent très "académique". Peut-être leurs compétences, notamment expérimentales, trouveraient-elles parfois mieux à s'exprimer dans un enseignement scientifique secondaire rendu plus concret. D'autre part, la mise à la disposition des élèves, par ce biais, de matériel dont un établissement scolaire ne peut disposer d'une manière permanente du fait de son coût, et dont souvent un laboratoire n'a pas une utilisation continue, a également joué un rôle très positif dans la réussite de cette opération.

Une dernière leçon à tirer réside dans l'extraordinaire enthousiasme dont ont manifestement fait preuve les élèves qui ont participé à ce premier concours. La perspective d'une récompense "immédiatement perceptible" était évidemment un excellent aiguillon, de même que l'aspect interrégional du concours national, à l'heure de la décentralisation : on a à cœur de faire gagner sa "région", mais également son "groupe" et les "partenaires" qui lui ont fait confiance ! Si cela doit conduire à une meilleure compréhension de la physique et à développer des vocations vers cette discipline, une telle attitude est-elle moralement et politiquement plus discutable que l'individualisme méritocratique qui sous-tend l'élitisme républicain cher à d'autres types de concours ?

#### 4. ET L'AVENIR ?

Pour la "promotion" 1992-93 des Olympiades, on observe une baisse du nombre total de groupes : quarante, issus de seize académies. Cette dernière évolution est vraisemblablement à mettre au compte d'une moindre mobilisation des enseignants qui s'étaient portés volontaires pour le premier concours – les plus motivés et les plus renseignés – et qui attendent une année avant de se rendre à nouveau disponible pour une tâche relativement lourde. Par ailleurs, le développement de l'intérêt des enseignants pour une initiative qui étend le type d'activités qui leur est normalement demandé, surtout en ces temps d'évolution des programmes d'enseignement, suppose un gros effort d'information et d'incitation, qui va être pris en charge par le comité exécutif et supporté par les pouvoirs publics. Ainsi les informations pratiques relatives aux Olympiades de Physique seront-elles relayées, à l'avenir, par une boîte au lettre du réseau Minitel (3614 EDUTEL, rubrique "En bref") géré par le Ministère de l'Éducation nationale.

Pendant, plus qu'à l'enthousiasme et à l'esprit d'équipe manifestés par les élèves, plus qu'à la disponibilité de certains chercheurs ou ingénieurs et à l'appui affirmé de certains organismes et entreprises, le succès de la première année des Olympiades, comme l'avenir de cette expérience, est et sera d'abord dû au dévouement des enseignants qui, en s'investissant dans l'animation d'un groupe, ont considérablement alourdi leur charge de travail. Pour que l'essai soit réussi et que le nombre de groupes puisse s'étendre, il conviendrait que de telles réalisations, effectuées dans un contexte partenarial extérieur à l'établissement d'enseignement, puissent être considérées comme faisant partie de l'activité normale des élèves et des professeurs. Les propositions de modules récemment faites par le Comité National des Programmes offrent à cet égard des perspectives pour une telle évolution.

Il faut prendre conscience que l'enseignement scientifique, notamment dans sa partie expérimentale, ne peut plus rester confiné à des activités individuelles, souvent abstraites, menées dans un contexte scolaire isolé des endroits où la science et la technique se contruisent, au jour le jour. Modifier cela, c'est peut-être également modifier l'attitude des élèves vis-à-vis d'une discipline, la Physique, qui, pour être essentielle au bon usage du monde moderne est considérée par les étudiants de DEUG comme la plus inintéressante des disciplines [1].

L'enjeu est donc à la fois de permettre l'ouverture de la classe vers les milieux scientifiques, de créer une meilleure compréhension mutuelle entre le système éducatif et les acteurs économiques. Modestement, si la pérennisation de leur budget leur prête une durée de vie pas trop courte, les Olympiades de Physique peuvent contribuer efficacement à cette évolution essentielle.

---

[1] BORNAREL J. (1991). L'enseignement de la Physique en premier cycle universitaire. *Bulletin de la Société Française de Physique*, supplément au n° 81.

## ANNEXE

Liste des sujets présentés au concours des Olympiades de Physique en 1991-1993

Académie d'Aix-Marseille :

- Pilotage par micro-ordinateur d'expériences sur coussin d'air
- Le dioxyde de carbone et l'atmosphère : effet de serre

Académie d'Amiens :

- Système de lecture "code barre"
- Mesure en temps réel de la position d'un solide sur un aérobanc

Académie de Besançon :

- Infra-rouge : étude de l'effet de serre

Académie de Bordeaux :

- Transitions solide-solide et solide-liquide
- Initiation à l'interférométrie
- Expériences de diffraction et d'interférence

Académie de Caen :

- Réalisation d'un logiciel pour l'étude de la chute libre
- Observations astronomiques simples

Académie de Clermont-Ferrand :

- Régulation électronique d'un débit d'eau
- Contrôle de qualité des câbles téléphoniques
- Utilisation d'hologrammes pour le contrôle des pneus
- Etude de sources et de détecteurs de neutrons

Académie de Corse :

- Réalisation d'un accumulateur d'énergie solaire à électrolyse

Académie de Créteil :

- Etudes de problèmes liés au transport de l'énergie électrique
- Interférométrie Doppler par laser

Académie de Dijon :

- La découverte du ciel
- Etude d'un spectrographe de masse
- Radioactivité des eaux de sources
- Etudes sur le courant électrique

Académie de Grenoble :

- Simulation du fonctionnement d'une centrale hydroélectrique
- Etude de capteurs de pression
- Etude de la loi de Darcy

Académie de Lille :

- Localisation d'un véhicule par radar acoustique

Académie de Limoges :

- Applications des interférences
- Réalisation d'une station d'émission radio-électrique : optimisation des antennes
- Enceinte réfrigérée pour insuline
- Étude de la loi de Malus

Académie de Lyon :

- Jeux d'ombres, jeux de franges...
- La pression
- Analyse des mouvements oculaires
- Étude du spectre solaire
- Construction d'une chambre à brouillard

Académie de Montpellier :

- Conception et construction d'une fusée expérimentale
- Propriétés physiques des matériaux
- Système d'alerte pour la pollution des eaux

Académie de Nancy :

- Les vertus du désordre
- Mise au point d'une caméra CCD
- Étude d'un dispositif réfrigérant à effet Peltier

Académie de Nantes :

- Réalisation d'une "Harpe Laser"

Académie d'Orléans :

- Propulsion d'un navire de surface par effet MHD
- Rôle de l'ozone en haute et basse altitude
- Réalisation d'un émetteur-récepteur à ultrasons

Académie de Paris :

- Réalisation d'un détecteur de gaz
- Ondes de gravité à la surface d'un canal d'eau
- Utilisation des effets de mirage pour le contrôle des surfaces
- Études météorologiques
- Étude d'une sonde de température
- Mesure de la vitesse de la lumière
- Accélérateurs de particules

Académie de Poitiers :

- Comment les avions volent-ils ?
- Étude physique de mouvements sportifs

Académie de Reims :

- Études de capteurs
- Émission, propagation et réception d'un signal électrique

Académie de Rouen :

- Mise au point de capteurs inductifs
- Contrôle des poutres de harnais de sièges éjectables
- Influence du son sur les flammes
- Saisie d'objets divers par un robot commandé en logique floue
- Mesures d'atténuation de câbles coaxiaux

Académie de Strasbourg :

- Détection à distance des ondes acoustiques centimétriques
- Étude d'un canon à électrons

Académie de Toulouse :

- Spectres stellaires et leurs variations
- Réalisation d'un émetteur-récepteur à ultrasons (applications médicales)

Académie de Versailles :

- Réalisation d'une fusée hydro-pneumatique
- Étude du rayonnement cosmique

# Une approche interactive de la chimie

**Janine THIBAUT, Dominique DAVOUS,  
Arlette MASSON**

Université Pierre et Marie Curie

Groupe de Recherche en Didactique de la Chimie

Bâtiment 72, BP 67, 4 place Jussieu

75252 Paris Cedex 05

## **Résumé**

*Une équipe universitaire, le GREDIC, s'est donné pour but de créer des activités expérimentales en chimie, d'étudier leurs impacts auprès de jeunes (5-13 ans) et du grand public, d'évaluer les acquis du point de vue gestuel.*

*Pour atteindre ces objectifs, l'association "Graine de Chimiste" a été créée. Elle permet d'appuyer la recherche du GREDIC sur une situation de terrain.*

*Les contraintes, les objectifs, la méthodologie, les thèmes sont précisés. Une stratégie pédagogique en quatre étapes est mise en place. Des évaluations sont pratiquées en amont et en aval.*

**Mots clés :** *chimie, activité expérimentale, école primaire, grand public, grille d'évaluation.*

## **Abstract**

*GREDEC is a university team whose purpose is to create experimental activities in Chemistry and to study their impact on youth 5 to 13 old and on the largest public. To reach this objectives, an association, "Seed of Chemist", has been created to enable the support and the field testing of GREDEC's research.*

*The constraints, objectives, methodology and topics are detailed. A four stage pedagogical strategy has been set up. Evaluations are performed before and after the activities.*

**Key words :** *chemistry, experimental activity, elementary school, general public, evaluation.*

Il y a une dizaine d'années nous avons créé le GREDEC, Groupe de Recherche en Didactique de la Chimie, au sein de l'Université Pierre et Marie Curie. Dès lors nous nous sommes interrogés sur les impacts d'un enseignement de chimie, science expérimentale, et nous nous sommes efforcés de répondre à la question : peut-on enseigner la chimie dès le début de l'école primaire ? comment ?

L'intérêt que nous portons à ce sujet provient des constats suivants :

– les enfants possèdent un potentiel gestuel énorme dès leur plus jeune âge ; cette capacité n'est pas ou est peu exploitée dans le cadre de l'enseignement : il faut la valoriser. Une façon d'y arriver est de faire appel aux sciences expérimentales et spécialement la chimie, puisque le fait de manipuler requiert une bonne maîtrise du geste ;

– le grand public, cible des musées, n'a jamais la possibilité d'aborder la chimie de façon interactive et pourtant c'est une science expérimentale.

Dès lors il nous fallait étudier la façon de mettre chacun en situation d'investir à la fois des capacités gestuelles et des qualités liées à ce type d'activités. Une démonstration faite par autrui ne transmet ni sensations, ni savoir-faire, aussi nous avons fait le choix d'aborder la science par la manipulation (Grandbois, 1984).

Nous nous sommes donné pour but de créer des activités expérimentales, d'étudier leurs impacts auprès d'enfants de 5 à 13 ans et du grand public, d'évaluer les acquis du point de vue gestuel essentiellement.

On trouve quelques grands projets concernant l'introduction des sciences et de la technologie pour des enfants de 5 à 12 ans dans les programmes nationaux aux États-Unis et dans le Royaume-Uni. En nous limitant aux quatre dernières années, on peut citer : Science in the National Curriculum (1989), Primary Space Project (1990) et Nuffield Primary Space Science Course (1990).

Les thèmes abordés en science appartiennent surtout aux sciences naturelles, à la physique et en particulier à l'espace, mais la chimie tient peu de place dans ces curriculums.

Pour l'école primaire, nous tenons à signaler seulement l'important travail autour de Barghellini en Italie. En particulier, à partir d'une enquête sur les idées préconçues et les processus de communication des enfants à l'école élémentaire, il a défini des objectifs de psychomotricité en situation expérimentale.

## **PUBLIC, BESOINS ET OBJECTIFS**

Nous avons ciblé un public d'enfants des écoles primaires françaises et des 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> des collèges. Les besoins quant à ces activités expérimentales destinées aux enfants, voire au grand public, ne sont pas exprimés. Pourtant sur le plan gestuel comme sur le plan conceptuel notre environnement nous sollicite journellement : dans la vie quotidienne nous mettons en œuvre un savoir-faire, pour comprendre des informations médiatiques nous devons nous référer à un certain vocabulaire, éventuellement à la maîtrise de concepts simples.

A partir d'observations, de constats, d'études de situation, de confrontations avec des enseignants de l'école primaire, nous avons permis que les besoins soient exprimés ou nous les avons fait naître dès lors que les enseignants prenaient conscience des impacts de telles activités.

Cette démarche, quelque peu intuitive au départ, implique une vigilance particulière lors de sa mise en route. Notre méthodologie, base de notre travail de recherche, a dû tenir compte de ce contexte.

Pour ce faire nous avons estimé que pour atteindre les enfants, il était indispensable de travailler avec des enseignants et dans un premier temps nous avons restreint notre terrain de recherche à celui des enseignants de l'école primaire et à leurs élèves.

Nous nous sommes fixé les objectifs suivants :

- motiver à une culture scientifique,
- donner à chacun l'occasion de s'ouvrir à la chimie,
- sensibiliser aux valeurs telles que la précision, le soin, l'hygiène, la rigueur, l'autonomie, l'observation, l'anticipation...,
- exploiter le potentiel gestuel des enfants pour leur donner des savoir-faire à investir ultérieurement, soit en situation expérimentale au laboratoire, soit dans la vie quotidienne,
- inciter le monde éducatif à organiser des activités de sciences expérimentales.

## MÉTHODE DE TRAVAIL

Nous avons sollicité et obtenu des collaborations avec des instituteurs, ce qui nous permet d'être en permanence en relation avec le "terrain" pour faire surgir les besoins et mieux apprécier les impacts d'une initiation à une science expérimentale telle que la chimie.

Nous avons formé des équipes tripartites : élèves - enseignants de l'école primaire volontaires - enseignants-chercheurs de l'université pour que la création d'activités puisse s'appuyer sur une concertation entre praticiens du terrain et enseignants-chercheurs. Nous faisons manipuler chaque enfant individuellement, ce qui lui permet de s'investir personnellement dans l'action. Les activités font l'objet d'une évaluation.

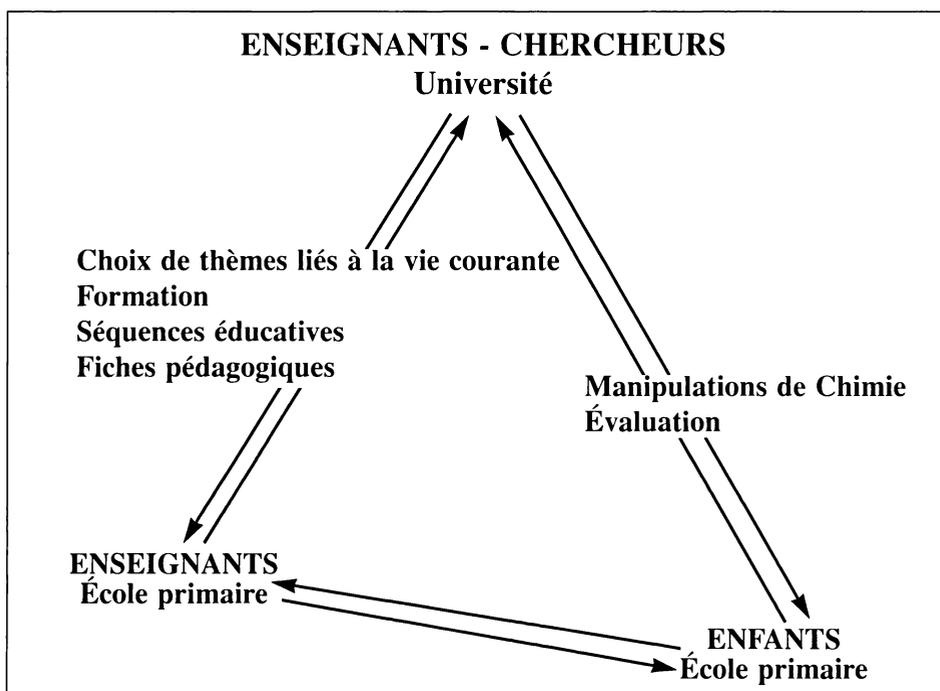


Figure 1

## CONTRAINTES

Les contraintes, compte tenu de nos objectifs, sont fortes.

- Les enseignants sont essentiellement d'origine littéraire et le programme de sciences lors de leur formation est très restreint : il faut donc leur assurer une initiation à la chimie.

- Nous nous heurtons à la réticence des enseignants à différents niveaux de la hiérarchie vis-à-vis d'une science mal connue et qui fait quelquefois peur.

- Les installations des locaux scolaires sont très défavorables à ce type d'activité.

- Le choix du matériel et des produits doit répondre à la fois à des critères de sécurité et à des critères de faible coût.

- De plus, compte tenu de l'absence totale de documents concernant la chimie expérimentale à l'école primaire, nous ne pouvons nous appuyer sur des références.

## RÉALISATIONS

Pour répondre à ces contraintes nous avons trouvé différentes solutions et abouti à des réalisations :

- comme Symington & Osborne (1985) nous offrons chaque année des stages pour enseignants,

- les thèmes proposés sont en relation avec la vie courante : acidité, détergence, cosmétologie...,

- les produits sont peu coûteux et non toxiques ; le matériel utilisé est un mélange de matériel spécifique simple et de matériel de la vie courante. Les produits peuvent être fournis directement aux enseignants,

- quelques lieux adaptés à la réalisation de nos manipulations sont mis à la disposition des enseignants,

- des fiches pédagogiques, outils pour les enseignants sont rédigées (divers ouvrages de Thibault & Davous).

Cette démarche nous a permis, en nous appuyant sur des investigations de terrain, de passer de la recherche à la conception d'ateliers. Chaque étape de l'acte pédagogique est liée à une ou plusieurs valeurs : sécurité, précision... (De Vecchi & Giordan, 1991). Actuellement nous avons mis sur pied des ateliers que nous regroupons par thème :

- les prérequis : dissolution, fusion, ébullition ;

- étude de l'acidité ;

- étude des saveurs ;

- notions sur les matières plastiques : fabrication d'une pâte slime (gel gluant aux étonnantes propriétés élastiques, vendu dans les boutiques de jouets), d'une toile cirée, d'un gel acrylique, d'un film transparent ;

- notion de détergence : fabrication d'un shampoing, d'un savon, d'un gel douche, d'une crème douche ;

- notions sur les mélanges, les émulsions : fabrication d'une crème de beauté, d'un rouge à lèvres, d'un lait solaire ;

- étude des peintures et des colorants : fabrication d'une gouache, d'une peinture au doigt, les insectes teinturiers ;
- divers : bulles de savon, l'expérience patriotique (à partir de trois réactions chimiques faisant apparaître les couleurs bleu, blanc, rouge), détection de traces de sang.

A partir de cette panoplie de sujets, nous avons proposé des programmes pour différents niveaux. Pour apprécier les impacts et évaluer les acquis des élèves nous avons eu recours soit à des méthodes d'évaluation classiques, comme les questionnaires écrits ou les entretiens, soit à l'utilisation d'une grille d'observation originale. C'est cette méthode que nous développerons.

## ÉVALUATION

Nous la pratiquons :

- en amont de l'étude d'un thème pour apprécier la faisabilité d'une manipulation et mettre au point ses conditions opératoires,
- en aval pour connaître les impacts de telles activités.

Cette méthode constitue l'outil qui nous permet de mieux apprécier les savoir-faire des enfants. La grille d'observation est une adaptation du système de check-list (Eglen & Kempa, 1974) où l'appréciation du geste informe à la fois sur la tâche et sur l'attitude du sujet observé. C'est une mise au point originale puisqu'à notre connaissance un tel outil n'a jamais été élaboré pour des enfants en situation expérimentale (figure 2).

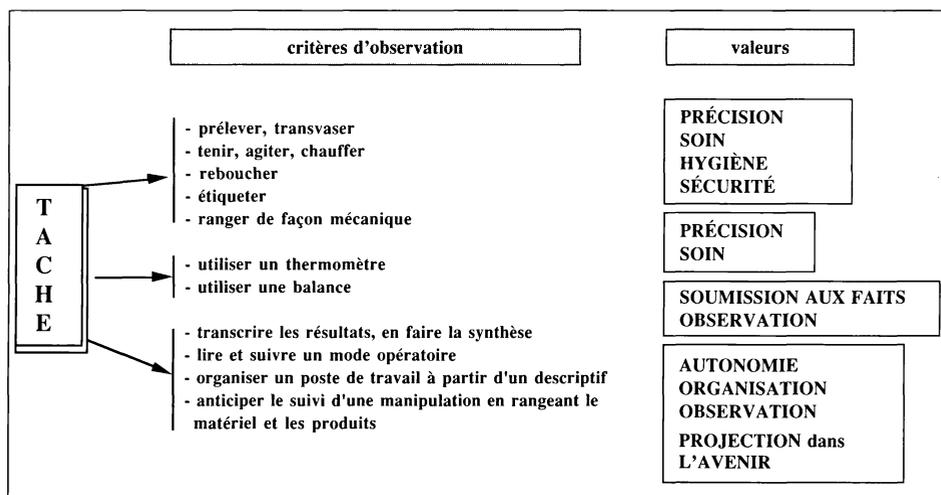


Figure 2

Cette grille construite à partir de la mise en place d'une manipulation donnée est maintenant suffisamment au point pour être utilisée dans le contexte d'autres manipulations. Elle a été élaborée en suivant scrupuleusement toutes les phases opératoires de l'expérience et permet d'évaluer des gestes élémentaires propres au laboratoire de chimie (prélèvement de volume, pesée...) comme des gestes quotidiens (bouchage des flacons, étiquetage...).

Les résultats obtenus à partir de l'utilisation de cette grille nous permettent :

- de justifier certains de nos objectifs, d'apprécier la maîtrise gestuelle des enfants,
- de corréler le savoir-faire avec les principales valeurs.

### STRATÉGIE PÉDAGOGIQUE

L'analyse des données nous mène aussi vers la stratégie pédagogique qui doit être construite en fonction de la mise en condition de l'enfant, des gestes qu'il doit investir, des valeurs dont il doit prendre conscience à travers des situations concrètes (figure 3).

La présence de l'animateur est primordiale tout en laissant à l'enfant le rôle principal d'acteur ; l'animateur guide mais n'agit jamais à la place de l'enfant.

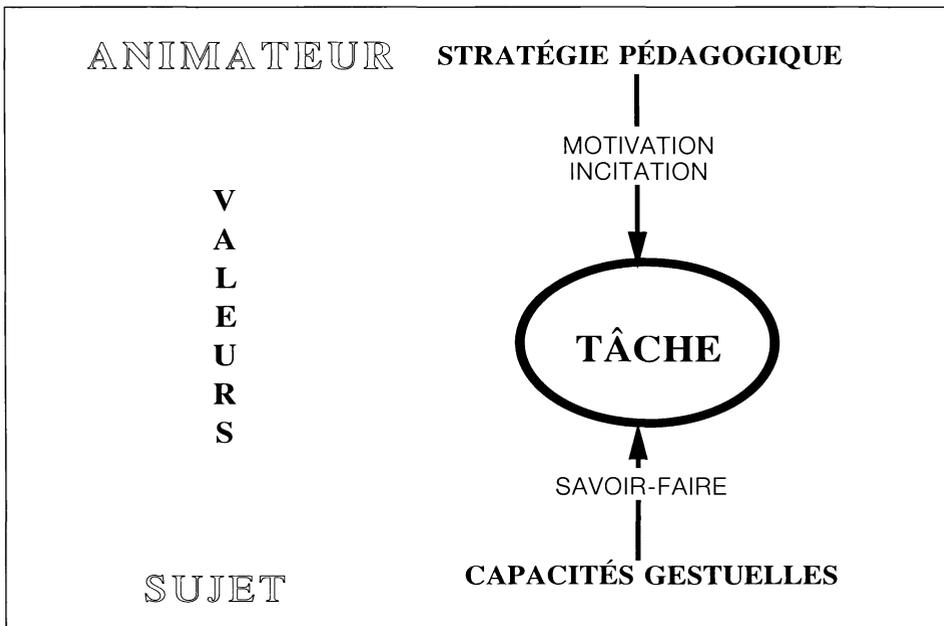


Figure 3

Il peut paraître ambigu de vouloir développer l'autonomie de l'enfant en le laissant travailler seul selon un protocole, puisque la marche de la manipulation est scrupuleusement indiquée dans le mode opératoire. Néanmoins nous pensons que ces premiers essais de l'enfant doivent être une référence sur laquelle il s'appuyera lors d'expériences ultérieures ; là seulement il pourra être véritablement autonome. Nous tentons d'évaluer cet a priori toutes les fois que nous pouvons travailler sur une longue durée avec le même public.

La stratégie pédagogique repose sur les principes suivants : l'enfant est pris au sérieux, on lui fait confiance, on fait appel à son affectivité, il est mis "dans la peau du chimiste", il emporte un produit qu'il utilisera... Chaque étape de la séance de manipulation doit permettre d'acquérir des gestes de base en chimie et de prendre conscience de certaines valeurs.

Comme Harlen & Osborne (1985), nous pensons qu'un descriptif justifié des diverses phases de la séance de manipulation et de ses implications doit être donné aux animateurs ou aux enseignants. Nous donnons ci-dessous un schéma descriptif que l'on peut appeler la "mise en scène" de l'animation.

– **Phase de mise en condition :**

- l'animateur explique à l'enfant ce qu'il devra faire et lui situe le contexte,
- l'enfant est rassuré, motivé, mis en confiance,
- l'enfant est mis "dans la peau d'un chimiste".

Dans cette phase sont introduites des mesures d'hygiène et de sécurité.

– **Phase de familiarisation avec les produits et le matériel, notification du rangement :**

- l'enfant est pris au sérieux,
- l'enfant commence à s'approprier l'expérience.

Dans cette phase il doit faire preuve de soin, d'organisation, d'observation et d'anticipation.

– **Phase de transmission du savoir-faire :**

- l'animateur montre les gestes principaux, justifie les différentes tâches,
- l'enfant manipule en suivant son mode opératoire,
- l'enfant s'investit complètement, on fait confiance à l'enfant.

Ici on fait appel au soin, à la méthode, à l'organisation, à l'observation, à l'hygiène, à la sécurité, à l'autonomie, à la précision.

– **Phase d'achèvement de la manipulation :**

- l'enfant conditionne son produit ou prépare le document qu'il emportera,
- il range sa paillasse,
- l'animateur donne les explications théoriques nécessaires.

Dans cette phase l'enfant doit faire preuve de soin et de sens du rangement.

Il est évident que cette stratégie pédagogique nécessite de s'appuyer sur un travail antérieur à la mise en œuvre de la séquence avec les élèves ; cette étape primordiale dans ce type d'activité constitue ce que l'on peut appeler la face cachée des animations. On peut la résumer ainsi :

- choix des manipulations qui doit respecter nos objectifs, les contraintes de temps, d'emploi de produits et de matériel, d'investissement financier,
- rédaction des protocoles.

## CONCLUSION

Quelque dix années de recherche en didactique d'une discipline souvent mal perçue, avec des enfants de l'école primaire de moins en moins habitués à exploiter les possibilités manuelles bien que désireux de le faire, avec des enseignants non formés aux sciences et quelques peu réticents (Seager & Swenson, 1987 ; Kelter & Paulson, 1988) nous ont menés vers la création de manipulations interactives. Une évaluation des impacts tant du point de vue conceptuel que gestuel commence à vérifier nos hypothèses et justifier nos objectifs.

De telles activités où les enfants ne restent jamais sur un échec permettent d'exploiter des capacités essentielles, de renforcer des acquis dans les disciplines fondamentales, sans doute de les motiver pour un enseignement ultérieur et en tout cas de les préparer à la vie en société.

Nous sommes conscients qu'il reste beaucoup à faire, en particulier connaître la pérennité des acquis gestuels, mais aussi, à partir de nos résultats, convaincre les organismes décideurs de la validité d'activités expérimentales dès le plus jeune âge.

Pour cela nous avons créé l'association "*Graine de Chimiste*" dont la vocation culturelle et scientifique concrétise notre action et nous permet d'expérimenter et d'appuyer notre recherche sur une situation de terrain.

## BIBLIOGRAPHIE

Department of Education and Science and the Welsh Office (1989). *Science in the National Curriculum*. London, Central Office Information.

DE VECCHI G. & GIORDAN A. (1989). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que "ça marche" ?* Nice, Z'éditions.

EGLIN J.R. & KEMPA R.F. (1974). Assessing manipulative skills in practical chemistry. *School Science Review*, Vol. 56, n° 195, pp. 261-273.

GRANDBOIS R. (1984). *Maîtrise du geste et pouvoirs de la main chez l'enfant*. Actes du colloque UNICEF Paris, pp. 195-197.

HARLEN W. & BLACK P. (1990). *Primary Space Project*. Liverpool University Press.

HARLEN W. & OSBORNE R. (1985). A model for learning and teaching applied to primary science. *Journal of Curriculum Studies*, Vol. 17, n° 2, pp. 133-146.

KELTER P.B. & PAULSON J.R. (1988). Toward improving K-6th grade science education. *Journal of Chemical Education*, Vol. 65, n° 12, pp.1085-1087.

NUFFIELD CHELSEA CURRICULUM TRUST (1990). *Nuffield Primary Space Science Course*. Liverpool University Press.

SEAGER L. & SWENSON R. (1987). Elementary school chemistry activities. *Journal of Chemical Education*, Vol. 64, n° 2, pp. 157-159.

SYMINGTON D. & OSBORNE R. (1985). Toward Professional Development in Science Education for the Primary School Teacher. *International Journal of Science Education*, Vol. 7, n° 1, pp. 19-20.

THIBAUT J. & DAVOUS D. (1985). *Introduction des sciences expérimentales dans l'enseignement primaire, étude de l'acidité*. Poitiers, CRDP.

THIBAUT J., DAVOUS D., MARTEL B., GILLOIS J. & CONCHIN D. (1986). *Manipulations de chimie à la portée de tous*. Poitiers, CRDP.

THIBAUT J. & DAVOUS D. (1989). *Approche méthodologique des sciences expérimentales à l'école primaire : les matières plastiques*. Poitiers, CRDP.

THIBAUT J. & DAVOUS D. (1989). *Comment fabriquer quelques produits courants*. Poitiers, CRDP.

# NOTES DE LECTURE

**COELHO S.M. (1992).** *Contribution à l'étude didactique du mesurage en physique dans l'enseignement secondaire : description et analyse de l'activité intellectuelle et pratique des élèves et des enseignants.* Paris, Thèse, Université Paris 7.

Cette thèse porte sur un domaine encore peu abordé en didactique de la physique, le mesurage. Il s'agit donc d'un très bon travail de "débroussaillage" sur un aspect essentiel de l'expérience. Le sujet abordé est difficile car, même au niveau de la recherche en métrologie qui est une des disciplines de référence, on est à un tournant. L'auteur traite cette question sous l'angle de la terminologie ; les termes de mesure et mesurage, grandeur physique, "vraie valeur", exactitude, précision, erreur, incertitude sont analysés. Il apparaît qu'actuellement on passe d'une position classique de la mesure où il s'agit d'attribuer un nombre à chaque état d'une grandeur physique, toute grandeur mesurable ayant les mêmes propriétés de composition que celles de l'addition arithmétique, à une position où la grandeur à mesurer est décrite par un "ensemble mesure", la mesure étant une information à transmettre. Il y a donc remplacement de l'algèbre des nombres par celle des ensembles.

L'auteur a choisi d'étudier le mesurage à propos d'une expérience relative à la mécanique, faite avec la fameuse "table à coussin d'air". Ce choix porte donc sur une expérience complètement construite à des fins didactiques. L'auteur a étudié les conceptions et le comportement des élèves par différentes méthodes, essentiellement des entretiens dits "centrés" avec deux élèves, et une séquence d'enseignement comportant une séance de travaux pratiques. Les conceptions et les comportements des enseignants ont été étudiés mais de manière moins approfondie.

Nous donnons ici quelques points de l'analyse. L'auteur montre les fonctions de la mesure pour les élèves ainsi que leur capacité à

inventer et à proposer. Leurs modes opératoires peuvent être variés : ils vont du mesurage de la distance entre deux points non consécutifs, à la prise en compte des seuls repères qui donnent des résultats "intéressants" (intervalles égaux). Leur recours à la construction d'un graphique semble se produire seulement lorsqu'il y a un grand nombre de données. Les difficultés des élèves sont nombreuses, par exemple le passage du discontinu au continu.

Un parallèle entre enseignants et élèves montre des similarités et des écarts. Ainsi, la prise en compte "*des éléments du monde sensible pour traiter l'information*" est beaucoup moins marquée chez les élèves ; ils ont tendance à utiliser des modes de communication plus variés de la mesure de la distance, alors que les enseignants se fixent sur une seule distance en faisant la moyenne des mesures réalisées.

En conclusion, ce travail peut apporter de nombreuses idées pour de futurs travaux sur l'expérience et la mesure. A lire par les chercheurs en didactique et les formateurs de maîtres concernés par la physique.

A. Tiberghien

**FOUREZ G. (1992).** *La construction des sciences. Les logiques des inventions scientifiques. Introduction à la philosophie et à l'éthique des sciences.* Bruxelles, De Bœck, 2<sup>e</sup> édition revue.

L'auteur brosse, en treize chapitres, une vue d'ensemble claire et utile sur les questions épistémologiques et éthiques de la construction des sciences. Il y résume et exemplifie des points de vue, sans doute largement admis aujourd'hui, mais qui sont pourtant loin d'être partagés par le sens commun. En particulier, il martèle le caractère toujours construit des sciences, et rappelle à quels points les "faits" ne sont jamais donnés, mais qu'ils sont plutôt les produits naturalisés de cadres théoriques, de modèles que l'on se

donne, à la suite de décisions humaines. Il précise la nature de la "méthode" et les fonctions de la communauté scientifique, en faisant une place aux études plus récentes de sociologie des sciences. Il y ajoute des développements plus personnels sur les relations entre la science, les problèmes de l'interdisciplinarité, les idéologies et les décisions humaines, technologiques ou éthiques. Il précise à ce propos ce qu'il entend par "ilôts de rationalité".

L'auteur nous propose une démarche globale dans laquelle il articule une réflexion scientifique et philosophique. Il l'intègre dans la conception chrétienne qui est la sienne, en récusant la "double culture" chère à Edgar Snow. Il choisit - et cela explique la forme du livre que l'on pourra juger didactique à l'excès - de s'adresser à un large public, intéressé par la place - centrale mais non survalorisée - qui peut être assignée à la science dans la société contemporaine. Ayant fait ce choix, il se donne les moyens de la lisibilité de son texte grâce à l'insertion de nombreuses aides à la lecture : petits encarts sur toutes les pages permettant d'accrocher une phrase ou une idée ; résumé et mots-clés en fin de chaque chapitre ; reprise sous forme d'appendice à la fin.

Pour toutes ces raisons, l'ouvrage constitue une référence maniable, extrêmement utile pour les étudiants scientifiques (mais aussi pour leurs enseignants), dont on sait à quel point ils lisent peu sur ces questions, et combien ils sont encore marqués par l'approche empiriste et positiviste de la connaissance. Sans nécessairement partager tous les points de vue de l'auteur, reconnaissons qu'il oblige à une réflexion approfondie sur ces thèmes difficiles. C'est là son but essentiel.

J.-P. Astolfi

**GAMOV G. (1992). *M. Tompkins*. Paris, Dunod.**

Il faut saluer cette réédition d'un texte qui a été, dans les années 50, un des classiques de la vulgarisation de la physique nouvelle (celle qui a vu le jour dans les années 30). Il est introduit par une longue préface de Jean Claude Pecker qui reconnaît s'en être inspiré.

Cette préface veut être un plaidoyer à la vulgarisation ("faire comprendre l'invisible par le quotidien" à l'aide "d'un langage médian entre savant et quotidien"). La science nouvelle y est présentée comme un nouveau langage et la vulgarisation comme un outil de transmission vers les disciples, d'abord, puis vers le grand public (qui bénéficie ainsi d'un statut scientifique rarement accordé) ensuite, ce qui ouvre l'horizon vers une démocratie scientifique ! Un panorama, très utile, de l'organisation des éditions successives du texte de Gamov et de la place de ce physicien dans le débat, tant en physique nucléaire qu'en astrophysique, permet de repérer les clins d'œil et certaines clefs du discours du professeur à M. Tompkins ou des illustrations. La préface se termine par une longue réflexion sur la vulgarisation scientifique, telle qu'elle apparaît à l'auteur, depuis les années 30. Il émet une très forte réserve à l'usage du lyrisme (composante principale de l'œuvre de Reeves par exemple), cheval de Troie d'une métaphysique qu'il rejette. Un vibrant hommage est porté aux musées et aux planétariums, et la préface se termine sur le constat de la situation désastreuse de la vulgarisation scientifique dans les médias (radio-TV).

Pour le texte de Gamov, le style est complètement différent. Le contraste entre le ton doctoral du professeur et le langage utilisé pour décrire le rêve éveillé de M. Tompkins produit un effet de relativité, qui sert autant l'entrée du lecteur dans le monde (distordu) de la physique que la description elle-même (il est significatif, d'ailleurs, que le candide de l'histoire ne puisse "entrer en physique" que dans le rêve ou l'électrocution). On peut regretter qu'il y ait si peu d'illustration, mais dans les années 50, l'image et le schéma n'étaient pas encore prioritaires dans ce type d'exposé. Il est regrettable, par contre, que l'organisation du texte n'ait pas mieux disposé les illustrations (qui se trouvent parfois à quatre pages du texte qui les utilisent). En ce qui concerne les conférences, texte plus "didactique" (au sens péjoratif) que celui des rêves, elles sont certainement un des exemples (avec certains textes de Feynmann ou de Fermi) de la possibilité, pour des créateurs, d'écrire pour enseigner (signalons une coquille p.137 sur une des rares expressions mathématiques introduites).

Il est toujours hasardeux de porter un avis sur un texte aussi prestigieux que celui de

Gamov. Je signalerai cependant certaines difficultés de lecture. Certaines proviennent de la réorganisation du texte initial. Par exemple, M. Tompkins ne se souvient pas, à la fin du troisième rêve, du décalage vers le rouge dont il a été longuement question dans le premier rêve. D'autres sont, je pense, inhérentes au contenu même. En cela, la première partie du livre (M. Tompkins au pays des merveilles) est beaucoup plus dérangement que la seconde (M. Tompkins explore l'atome). Une hypothèse explicative pourrait être l'inconsistance nécessaire d'un monde où les constantes fondamentales de la physique, soit ne varient pas toutes en même temps (mais à ce moment l'homme ne peut être un observateur de ce monde invivable, comme le remarque J.-C. Pecker dans la préface), soit varient une par une et alors les contradictions sont manifestes (comment conserver la notion de mesure – macroscopique – et d'état quantique "microscopique" avec la valeur donnée à  $h$  ? Cela se voit bien sur le billard où la boule est au départ localisée, macroscopique puis diffuse dans le regroupement).

Ces quelques réserves ne doivent pas décourager le lecteur. Il trouvera dans ce texte exemplaire de vulgarisation scientifique les occasions de s'interroger sur des questions qui ne peuvent être que personnelles, et dont le rôle de la vulgarisation est de les faire émerger à la conscience.

J. Gréa

---

**JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993).**  
*Introduction à la didactique  
des sciences et des mathématiques.*  
Paris, PUF.

---

■ Le volumineux ouvrage (plus de 400 pages) que nous présentent les auteurs se veut un manuel d'enseignement destiné à ceux qui veulent être introduits à la didactique des sciences et des mathématiques et à ceux qui ont vocation à l'enseigner. Le pari ainsi annoncé est ambitieux et il est clair que ce pari est tenu.

En effet les auteurs, dans un style alerte et agréable, réussissent à rendre accessibles les principales directions de recherches explorées par la didactique des sciences et des mathématiques ainsi que les principaux résul-

tats, tout en évitant les nombreux écueils qui guettent ce type de travail. L'ouvrage est articulé autour de sept chapitres qui traitent : des repères épistémologiques, des repères psychocognitifs, des conceptions des élèves, de la transposition didactique, des situations d'enseignement et du contrat didactique, des preuves, langages et communication, de la "quête du sens" et des processus de modélisation en situation de classe.

On voit que le champ est très largement exploré, au-delà même de la didactique dans les deux premiers chapitres qui apportent des éclairages spécifiques et indispensables. Un aperçu de recherches ayant produit des résultats significatifs dans chaque domaine considéré est situé en fin de chapitre, ce qui facilite considérablement la lecture et permet aux auteurs de mettre en évidence de nécessaires différences de points de vue entre les chercheurs et, par là même, au lecteur de se forger sa propre opinion.

S'il faut formuler un regret, ce serait celui de ne pas voir traiter plus explicitement dans cet ouvrage d'une mise en perspective comparative des concepts présentés entre les différentes disciplines envisagées.

Si l'on admet que la didactique doit être une discipline de formation qui doit jouer, notamment, un rôle fondamental dans la formation professionnelle des enseignants, nous avons là le premier ouvrage qui vise à fournir un contenu structuré et assez exhaustif, et constitue ainsi une référence pour cette formation dans le domaine de la didactique des sciences et des mathématiques.

On ne peut que recommander vivement la lecture de l'ouvrage de Johsua et Dupin aux étudiants et aux enseignants en exercice qui y trouveront une très riche source de réflexion sur leur métier, ainsi qu'à tous ceux qui seraient intéressés par les problèmes liés à la construction des savoirs.

J. Colomb

■ Ce manuel tout à fait actuel est bienvenu. D'une longueur raisonnable, il traite des notions clés de didactique des sciences et des mathématiques, et les discute de manière introductive mais suffisamment approfondie pour guider le lecteur dans la littérature correspondante à ces domaines. Réunir les préoccupations des deux disciplines en un seul volume est d'un grand intérêt.

La structure du livre, qui est composé de sept chapitres, est linéaire. Les deux premiers chapitres établissent les bases : questions épistémologiques fondamentales, différentes approches psychocognitives. Le troisième chapitre concerne les conceptions des élèves et reflète l'attention portée à ce problème depuis les vingt dernières années. Les chapitres 4 et 5 développent deux concepts théoriques, respectivement la transposition et le contrat didactiques. Enfin, les deux derniers chapitres discutent d'aspects cruciaux pour les mathématiques et les sciences, à savoir le rôle du langage et la nature de la preuve, et le sens de la modélisation en situation de classe.

La façon dont les sujets sont traités est en général très actualisée, avec des références aux recherches de ces toutes dernières années. On aurait pu souhaiter qu'il soit fait mention de l'épistémologie postérieure à Kuhn, en particulier des travaux des néo-réalistes comme Harre et Bhaskar, et des philosophes d'Outre-Atlantique comme Davidson et Rorty.

Vu par les yeux d'un anglo-saxon, cet ouvrage a une nette tendance francophone, ce qui est légitime, et porte beaucoup d'attention aux travaux de Balacheff et Chevallard par exemple. Par ailleurs, il permet de réparer la négligence des anglo-saxons envers Bachelard. Ce livre a toutefois une vision véritablement internationale et la bibliographie comprend de nombreuses références anglaises autant que françaises.

Si ce texte était traduit en anglais, il pourrait constituer une excellente introduction pour les étudiants de maîtrise, en formation à l'enseignement des mathématiques et des sciences en Angleterre. Il permettrait de les initier aux traditions de pensée françaises en didactique, dont ils sont souvent trop ignorants.

J. Ogborn

**LAROCHELLE M. & DÉSAUTELS J. (1992). *Autour de l'idée de science. Itinéraires cognitifs d'étudiants.* Bruxelles, De Boeck.**

"*Autour*" est un adverbe de lieu peu précis qui permet de ne pas limiter le domaine dont on parle, et comme le parcours auquel nous

convient les auteurs est multiple, ce titre peu suggestif est cependant pertinent.

D'abord Marie Larochelle et Jacques Désautels précisent l'approche constructiviste dont ils se réclament : le sujet se construit en construisant le monde. Ainsi à l'occasion d'un apprentissage le sujet s'engage-t-il en totalité dans ce qu'il propose, l'objectivité n'étant jamais absolue mais toujours relative à une culture. Cette théorie de la connaissance dont Kant leur apparaît comme un pionnier les conduit à rechercher en écho une théorie de l'apprentissage, constructiviste elle aussi. Ils se tournent alors du côté de Piaget dont ils discutent l'idée de conflit cognitif et proposent, plus encore que la nécessité d'installer des stratégies du changement conceptuel et de la complexification conceptuelle, une stratégie du "*dérangement épistémologique*".

Leur propos ensuite : installer une stratégie qui bouleverse non seulement les conceptions des étudiants vis-à-vis d'un phénomène scientifique, mais plus encore qui désorganise "*l'environnement épistémologique*" dans lequel, pour eux, s'inscrit la science. C'est en désorganisant le "*autour*" qu'ils espèrent mieux atteindre le cœur des conceptions.

Pour ce faire les auteurs proposent des activités pédagogiques à la dimension de cette stratégie du "*dérangement épistémologique*". A partir d'un logiciel qui simule des énigmes, les étudiants s'interrogent sur leurs démarches. Ils ont ainsi à produire un rapport de leurs activités de recherche, à participer en classe à des débats et colloques, à tenir à jour un cahier de laboratoire, à consigner leurs réflexions dans un journal personnel. Le protocole de toute la recherche avec les documents distribués aux étudiants est clairement détaillé, ce qui autorise à la discuter dans le détail.

L'ouvrage est de ce fait intéressant à plusieurs titres. L'expérimentation s'adresse à des élèves de Collège, structure institutionnelle canadienne intermédiaire entre notre lycée et l'université, et les travaux à ce niveau ne sont pas nombreux ; aussi les chercheurs en didactique des sciences intéressés par l'épistémologie y trouveront matière à réfléchir. L'expérimentation est interdisciplinaire, mêlant une réflexion épistémologique et une réflexion scientifique ; les professeurs de sciences français y trouveront des suggestions pour la mise en place de modules au

lycée. Le corps de l'ouvrage emprunte à de nombreux auteurs de langue anglaise, ce qui constituera autant de références possibles pour des lectures à entreprendre... ou à poursuivre.

Un livre à lire donc par les chercheurs et les étudiants en didactique des sciences, autant à cause de la problématique développée que de sa mise à l'épreuve et des pistes d'analyse proposées. Un ouvrage à faire découvrir aux professeurs de sciences des lycées pour leur suggérer des pratiques.

Un livre stimulant donc qui, pour reprendre la référence majeure de l'ouvrage, illustre parfaitement la distinction abordée par Piaget entre Réussir et Comprendre.

M. Develay

---

**LEWIN K.W. (1992). *Science Education in developing countries. Issues and perspectives for planners.* Paris, UNESCO-IIEP.**

---

L'étude que Keith Lewin, spécialiste de l'évolution et du développement des curriculums de sciences dans les pays anglophones du Tiers Monde, a rédigée pour les "administrateurs" et les "planificateurs" doit en réalité attirer l'attention de tous ceux qui s'intéressent à l'éducation scientifique.

Pour ceux qui sont directement concernés par les décisions éducatives dans les pays en voie de développement, il s'agit d'une synthèse appuyée sur une bibliographie anglophone importante et une expérience personnelle diversifiée. Chemin faisant, l'auteur propose des recommandations argumentées et précises ; il insiste toujours sur les relations entre les aspects politiques, économiques, sociaux et pédagogiques de choix décisionnels, qu'aucune recherche didactique ne saurait justifier totalement.

Pour les didacticiens, le mérite de K. Lewin est de faire entrer de plain-pied dans les problèmes de construction et de mise en œuvre des décisions curriculaires : il aborde successivement les questions du contexte et de la politique nationale, des buts et des objectifs, des facteurs de réussite, de la mise en œuvre et de l'organisation, des examens et de l'évaluation, de l'enseignement et de l'apprentis-

sage, de la formation des maîtres. Ce faisant, l'auteur attire l'attention sur l'intérêt et les limites de travaux de recherche effectués à "contenu, contexte, moyens ou pédagogie constants", ou dans des conditions dont la généralisation n'est pas facile. A titre d'exemple, les remarques critiques sur la place et le rapport efficacité-coût des travaux pratiques ou d'une pédagogie de résolution de problèmes, apparaissent salutaires : trop de discours ne collent pas aux réalités. Un rapport à méditer puisqu'il n'existe pas aujourd'hui d'équivalent francophone.

J.-L. Martinand

---

**MARZIN P. (1993). *Approche didactique de la communication des savoirs dans une situation de conseil vétérinaire. Analyse de conceptions dans le dialogue.* Lyon, Thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon 1.**

---

La thèse de Patricia Marzin traite de l'analyse de l'évolution des représentations de vétérinaires spécialisés en production porcine et d'éleveurs de porcs dans le dialogue, au cours de situations de conseil. Elle s'appuie sur trois études : une analyse *a priori* des savoirs vétérinaires, formalisés dans un système expert sur l'écopathologie du porcelet, une analyse du savoir de trois éleveurs à partir d'une catégorisation de leurs discours et une étude minutieuse de trois dialogues vétérinaire-éleveur inspirée des méthodes de l'analyse pragmatique du langage ; des arbres de dialogue et des réseaux sémantiques permettent d'identifier les caractéristiques du dialogue (implicite, oppositions et accords) et les conceptions des intervenants.

Ces analyses montrent des différences de conceptualisation entre vétérinaires et éleveurs. Les éleveurs utilisent un raisonnement simple et causal, ou complexe et multicausal. Ils s'appuient parfois sur un modèle anthropomorphe pour agir. Ils appliquent des règles fixes qui leur servent d'indicateurs pathologiques, et de points de départ pour leurs actions. Pendant le conseil, et particulièrement au cours de conflits socio-cognitifs, les représentations des interlocuteurs évoluent lorsqu'il y a recherche de consensus, à partir duquel un savoir partagé émerge et des solu-

tions se construisent en commun. Le dialogue permet la construction de liens entre des concepts existants, plutôt que la création de concepts nouveaux.

Une des contributions de ce travail de didactique de l'agronomie est d'avoir cherché à analyser l'échange et la construction de connaissances dans une situation d'éducation non-formelle (l'interaction socio-professionnelle dans la situation de conseil). Il s'agit ici d'une première exploration ; l'originalité de ce terrain, jusque-là non étudié par la didactique, exigeait une mise au point et une validation de méthodes sur un petit nombre de cas afin que leur analyse soit aussi fine et rigoureuse que possible. Outre l'amélioration du contenu et du contexte d'utilisation du système expert employé, la prise en compte de travaux de ce type rend possible l'identification de propositions pour actualiser la formation initiale des vétérinaires et la formation permanente en entreprise. Que cette thèse inaugure une nouvelle lignée de recherches en didactique des sciences et des techniques.

J. Besançon

---

**MUSÉE NATIONAL DES TECHNIQUES, Centre d'Histoire des Techniques (1992). *Muséologie technique: Séminaire de recherche 1990-1991*. Paris, Musée national des Techniques, Centre d'Histoire des Techniques / Conservatoire national des Arts et Métiers.**

---

Au dire des organisateurs eux-mêmes (Michèle Bachelet, Gérard Emptoz et Bruno Jacomy), l'objectif du séminaire, dont l'ouvrage en question constitue les actes, était "la mise en commun des expériences respectives des muséologues et des conservateurs, des historiens et des autres spécialistes travaillant dans le champ des techniques, pour réfléchir aux possibilités nouvelles d'application offertes par le projet de rénovation du Musée national des Techniques".

Cet objectif commande à la fois la présentation de l'ouvrage selon les thèmes du futur musée (communication, instruments scientifiques, énergie-transports, mécanique, matériaux-construction) et le choix des interventions. Une fiche signalétique sur les col-

lections du Musée (rédigée par Louis André) ouvre chacune des cinq parties. L'ouvrage ne cherche pas à cacher le caractère forcément hétérogène d'un tel rassemblement d'expériences et de réflexions.

Peut-être peut-on regretter qu'un nombre relativement important de communications s'en tiennent à une présentation factuelle d'institutions ou d'expériences muséales. Celles qui amorcent une réflexion sur l'histoire des techniques ou la muséologie de ces dernières n'en prennent que plus de relief (par exemple, celle de Jacques Perriault sur l'image et le son, de Philippe Breton sur l'informatique, de James Bradburne sur les instruments scientifiques, d'Henri Morsel sur l'hydro-électricité, d'Yves Deforge sur la machine-outil ou de Derek Robinson sur la chimie). L'éventail des expériences rassemblées fait apparaître non seulement la diversité des sujets sur lesquels porte la muséologie technique, mais surtout la variété et l'inventivité des modes de présentation.

J. Davallon

---

**UNESCO (1992). *Physics examinations for University Entrance. Science and Technology Education*, n° 45. Paris, UNESCO**

---

Cet ouvrage compare les systèmes d'accès à l'université de onze pays différents.

Un premier chapitre présente les buts et la structure de l'ouvrage, puis un chapitre est consacré à chaque pays. La structure et le contenu de ces onze chapitres sont semblables. Pour chaque pays sont décrits ou donnés : les traits généraux du système éducatif ; les procédures d'accès à l'université ; les méthodes d'examen utilisées ; les analyses statistiques des résultats ; les relations du système avec les écoles, les professeurs et les élèves ; des opinions sur la qualité et les effets de ces procédures d'accès à l'université ; des exemples de questions d'examen.

Chacun de ces chapitres a été écrit par un responsable universitaire du pays concerné. Les bases de ce document avaient été définies au cours d'un atelier de deux jours suivant la conférence du GIREP d'août 1991 à Torunen, Pologne. En plus de la structure

principale exposée ci-dessous, il avait été décidé que chaque auteur devrait s'intéresser aux questions suivantes :

- le système éducatif est-il contrôlé par l'État, libre, ou intermédiaire ?
- les curriculums sont-ils définis nationalement, localement (région), ou choisis par chaque école ?
- les manuels sont-ils imposés ou choisis ; si oui, par qui ?
- l'entrée dans une université est-elle conditionnée par la réussite à un examen national, un(des) examen(s) proposé(s) par l'université, les deux ?
- quel est le pourcentage d'une cohorte d'âge qui entre à l'université ?
- le contrôle en cours de formation est-il pris en compte ?
- à propos du(des) examen(s), quels sont leur nature, leur variété, leur validité, leur niveau de difficulté, le niveau de performance exigé ?
- quels sont les effets de cet(ces) examen(s) sur l'enseignement secondaire préalable ?

Les pays représentés dans cet ouvrage sont : le Botswana, le Brésil, la Chine, l'Égypte, la France, la Hongrie, le Japon, la Pologne, la Suède, le Royaume-Uni et les États-Unis.

Dans un dernier chapitre, Paul Black conclut en donnant une synthèse et une critique personnelle.

Ce document clair et bien structuré permet une information rapide sur les différents systèmes éducatifs. L'organisation identique des onze chapitres permet de comparer aisément les différents pays sur un point ou un autre. Par exemple, il est facile de voir, pour les examens, l'utilisation quasi généralisée des QCM, ou la très faible présence (deux sur onze) d'épreuves pratiques.

Les exemples de questions d'examen à la fin de chaque chapitre permettent à tout enseignant ou chercheur intéressé par les problèmes d'évaluation, de prendre connaissance de ce qui se fait ailleurs, et peut-être ainsi, d'élargir ses conceptions.

A. Dumas-Carré