

nique, on peut estimer que les pays industrialisés retenus ont un potentiel de formation voisin, représenté par la fraction de la population totale ayant les qualités requises. On observe alors que la France semble bien tirer le maximum de ce vivier en ce qui concerne les formations longues, mais qu'en revanche elle pourrait pousser au-delà une fraction des étudiants s'arrêtant actuellement au terme de formations courtes de types BTS ou DUT (...).

Le CADAS rappelle un précédent rapport de l'Académie des sciences [2] qui disait : "la croissance du flux annuel des diplômés ingénieurs et techniciens supérieurs, de l'ordre de 5 % par an, paraît globalement satisfaisante. Une augmentation encore plus rapide, qui poserait de graves problèmes en amont, ne paraît pas correspondre à une appréciation réaliste des besoins d'ensemble ; seule une étude de chaque secteur d'activité devrait permettre de définir les formations à développer".

Après ses auditions sur les débouchés professionnels des ingénieurs formés, le CADAS se montre réservé sur une croissance "massive et indifférenciée des flux de formations d'ingénieurs. La demande sociale d'enseignement supérieur n'est pas du tout en cohérence avec le chiffre global des emplois prévisibles, très variable par secteur industriel et par type d'entreprises et d'ingénieurs recherchés. Une augmentation des flux limitée à 4 % par an semble raisonnable à court terme, pour tenir compte des besoins français et internationaux des cadres techniques de haut niveau".

Le CADAS suggère : "la création d'une instance prospective destinée à évaluer les besoins de la formation d'ingénieurs en France dans le cadre européen, associant industriels, syndicats professionnels et institutions académiques, serait souhaitable. Ne pourrait-elle être associée à la CTI, dont la fonction actuelle est essentiellement une fonction de validation des cursus

et qui se trouverait enrichie par la présence, à ses côtés, d'une fonction d'observatoire prospectif, plus spécifiquement ciblé et organiquement lié à elle que ne l'est l'actuel Haut Comité Education-Economie (HCEE) ? A cette fin, le CEFI pourrait voir son rôle renforcé".

R. Hamelin

[1] *La Vie des Sciences, Comptes rendus, série générale*, 1992, tome 9, 3, p. 179-203.

\* CADAS : Comité des Applications de l'Académie des Sciences. Le rapport cité ici a été réalisé par une commission mixte CADAS-Académie, animée par Dominique Peccoud, qui a consulté de nombreuses personnalités extérieures. Le rapport original est disponible au secrétariat de l'Académie des sciences, 16, rue Mazarine Paris 75006.

[2] *La vie des Sciences*, 1986, 3, 245. ■

## Apprendre aux étudiants à innover grâce à l'enseignement pratique

Jean-Charles Giuntini (professeur)\*, Jean-Victor Zanchetta (professeur)\*

La principale fonction éducative des travaux pratiques consiste à montrer aux étudiants comment se servir de leurs savoirs pour résoudre des problèmes concrets. C'est l'occasion de transposer, dans la technique, les théories qu'ils ont découvertes dans les cours.

Une méthode, souvent utilisée, propose aux élèves de se familiariser avec la manipulation de certains instruments typiques de la discipline enseignée. Les développements théoriques qui s'y rapportent, interviennent alors par le biais d'une série de consignes. Cette pratique traduit une conception "behavioriste" de l'éducation, dont on connaît les limites, en particulier au niveau de la créativité. De tels procédés établissent, de surcroît, une dichotomie artificielle entre la théorie et les observations. Ils paraissent inadaptés à l'enseignement supérieur scientifique, dans le contexte actuel.

Une autre approche suggère d'examiner, globalement, comment un étudiant peut traduire, dans le domaine pratique, les nouvelles connaissances acquises. Ce problème rejoint, alors, l'un des objectifs fondamentaux de l'enseignement des sciences expérimentales. Mais, dans ce cas, il est indispensable d'associer étroitement les enseignements théoriques et pratiques, et nous

avons donc essayé de développer une pédagogie expérimentale suscitant, chez les étudiants, "l'apparition d'attitudes qui leur permettent de passer du plan de l'empirisme à celui de l'expérimentation scientifique".

La mise au point d'un enseignement expérimental efficace nécessite donc de déterminer, en tout premier lieu, la finalité qui lui est assignée. Il est ensuite possible d'élaborer des sujets, qui permettent de voir comment les étudiants abordent les applications des théories qu'ils viennent de découvrir.

Dans les exemples présentés dans ce texte, nous avons tenté de mettre l'accent sur l'aptitude des étudiants à résoudre des problèmes pratiques, en utilisant l'ensemble des savoirs qu'ils possèdent.

### ■ L'UNIVERSITÉ

Les interventions pédagogiques se construisent toujours à partir d'une conception de l'université et de sa fonction dans la société. En se fondant sur ce principe, les théories et les doctrines pédagogiques dépendent donc, étroitement, de la mission que nous attribuons à l'université. Dans les sociétés modernes il n'y a pas

\*Université Montpellier II, Laboratoire de physico-chimie des matériaux solides (URA 407), équipe de chimie physique, 34095 Montpellier Cedex 5. Tél. : 67.14.32.44 (télécopie : 67.14.42.90).

de consensus à propos de cette mission. L'université est le lieu privilégié d'une production sociale spécifique. Elle est le fruit d'une conjoncture sociale, économique et politique, et elle constitue l'enjeu de la lutte que se livrent les forces sociales en présence. Moins on est conscient de l'existence de ces forces et plus il y a de chances qu'elles jouent, à notre insu, sur nos conceptions de l'intervention pédagogique.

L'époque contemporaine est marquée par un resserrement des liens entre l'université et le reste de la société, notamment les pouvoirs publics, d'une part, qui se définissent comme les gardiens de l'intérêt public et l'entreprise privée, d'autre part, qui se veut le moteur du développement économique.

Ainsi, en définissant la politique pédagogique qu'elle met en œuvre, l'université décide de privilégier son rôle d'éducateur et de formateur des cadres de la nation, ou de se cantonner à devenir l'un des portiers du marché du travail.

En proposant une méthode cherchant à stimuler l'aptitude des étudiants à traduire dans la pratique leurs connaissances théoriques, nous contribuons donc, aussi, à préciser le rôle de l'enseignement supérieur au sein de la société. Ce rôle ne peut être véritablement utile à chacun que si l'université sait concilier les exigences de sa position sur le marché du travail avec sa mission essentielle, qui consiste à participer au progrès intellectuel de l'ensemble de la société.

## ■ L'ÉTUDIANT

Face à la mobilité qui caractérise l'avenir des métiers scientifiques, la formation universitaire doit aussi permettre aux étudiants de s'adapter facilement aux nouvelles disciplines qu'il leur faudra maîtriser durant leur carrière. Le but de l'enseignement supérieur ne peut se restreindre à accumuler des connaissances. Il lui faut surtout provoquer, chez les élèves, l'apparition d'attitudes qui suscitent leur curiosité et les incitent à rechercher sans cesse de nouveaux savoirs.

Dans la mission que nous attribuons à l'université, l'étudiant doit être formé, d'une part, pour prendre des initiatives scientifiquement justifiables et pour communiquer, d'autre part, avec ses concitoyens dans l'espoir de remplacer leurs intuitions naïves par des vérités démontrées. Pour tenter d'entraîner les étudiants à manifester de telles attitudes, nous avons choisi d'utiliser des techniques pédagogiques qui favorisent l'éclosion des qualités suivantes :

1. L'étudiant doit devenir capable de découvrir et d'analyser lui-même des informations qui lui permettent de construire et de compléter son savoir.
2. L'étudiant devra pouvoir transmettre efficacement ses connaissances à son entourage pendant sa vie professionnelle.
3. Cela suppose qu'il apprenne, progressivement, à s'évaluer pour estimer correctement son niveau intellectuel, avant de choisir ses sources d'informations, dans le premier cas ou de se placer face à ses interlocuteurs, dans le second cas. Il ne peut y parvenir qu'en exerçant constamment son esprit critique, tout particulièrement vis-à-vis de lui-même.
4. Enfin, il doit pouvoir traduire concrètement son savoir, en manifestant sa créativité : il est donc nécessaire qu'il apprenne à surmonter des obstacles mais aussi ses propres échecs.

On peut espérer qu'un étudiant formé de cette façon, confronté aux difficultés de la vie professionnelle, se révélera inventif et adaptable aux modifications imposées par le progrès scientifique.

## ■ LA RÉALISATION PRATIQUE

Ces deux descriptions succinctes du rôle de l'université et de la formation qu'il nous semble souhaitable d'y donner, nous ont servi de référence quand il s'est agi d'inciter les étudiants à utiliser, dans le domaine pratique, leurs connaissances scientifiques.

Nous avons aussi tenté d'éviter les procédés, qui consistent à reconnaître les manifestations de l'intelligence sur la base de simples critères de ressemblance ou d'imitation.

Nous nous sommes efforcés, au contraire, de donner l'occasion aux étudiants de montrer leur créativité en leur proposant d'imaginer des comportements nouveaux, face à des situations inhabituelles pour eux. Nous avons surtout essayé de faire découvrir aux apprenants la dialectique qu'il est indispensable de développer pour réaliser une expérimentation véritablement scientifique. Son principe fondamental consiste à s'engager dans le présent de l'expérience, tout en conservant une capacité de recul suffisante pour en analyser le déroulement.

L'apprentissage de la démarche expérimentale nécessite donc une synthèse permanente entre l'action et la réflexion. Cette alliance de l'activité et de l'intelligence favorise la créativité et l'innovation. Nous avons choisi deux exemples très différents pour illustrer ce qui précède : un groupe d'étudiants dont l'expérience universitaire est très limitée (1<sup>re</sup> année) et un autre constitué de candidats ayant déjà une large expérience des problèmes posés par l'enseignement supérieur.

### Exemple des travaux pratiques de premier cycle

Dès le premier cycle, il est important d'apprendre aux étudiants à être autonomes quand il s'agit de manipuler. En effet, les travaux pratiques sont considérés par les élèves comme une succession de gestes déjà décrits et l'expérience met simplement en jeu des schémas répétitifs. Lorsque ces étudiants, formés suivant les méthodes "behavioristes" habituelles (qui se traduisent généralement par des travaux pratiques encadrés par des grilles d'évaluation), sont en stages dans des entreprises, les industriels font souvent remarquer qu'ils sont incapables de prendre des initiatives. Ils sont soupçonnés d'avoir des connaissances insuffisantes, alors que leur seul défaut consiste à ne pas savoir traduire dans la pratique les savoirs qu'ils possèdent. Dans une manipulation traditionnelle, chaque geste est prédéterminé par l'enseignant et tout écart au comportement attendu est nécessairement sanctionné. Face au travail à exécuter, la marge de manœuvre de l'étudiant est très limitée. Une telle situation ne lui demande pas de puiser dans ses ressources théoriques, d'autant que, souvent, l'avancement des connaissances théoriques n'est pas lié à la nature de la manipulation à exécuter.

Pourtant, en premier cycle, les travaux pratiques offrent actuellement la seule occasion de solliciter la créativité des élèves, sur des sujets qui nécessitent de mettre en œuvre les théories étudiées en cours.

### Exemple n° 1

Les élèves ont, en principe, la maîtrise totale des gestes qu'ils auront à accomplir. Ils font à l'aide d'un logiciel, dans l'expérience ainsi conduite, le plan de la manipulation qu'ils souhaitent réaliser (1)

(1) LACSA, logiciel d'aide à la conception des schémas caractérisant l'apprentissage (Logiciel CJNA - Collaboration Univ. Montpellier II), P. Pingand, T. Hiroux, J.C. Giuntini et J.V. Zanchetta - 1st European Conference on Research in Chemical Education (9th JIREC), Montpellier 25-28 août 1992.

**Description du schéma de principe d'une dilution**

## Matériel disponible

- 1 litre de mono-acide fort de concentration : 7 M  
 1 pipette de 25 cm<sup>3</sup>                      1 fiole jaugée de 500 cm<sup>3</sup>  
 1 pipette de 20 cm<sup>3</sup>                      1 fiole jaugée de 100 cm<sup>3</sup>  
 1 pipette de 10 cm<sup>3</sup>                      1 fiole jaugée de 50 cm<sup>3</sup>  
 6 béchers de 200 cm<sup>3</sup> (béchers n° 1, ..., n° 6)  
 1 burette graduée de 0,1 en 0,1 cm<sup>3</sup> pouvant contenir 25 cm<sup>3</sup>

Question posée :

Décrire le principe du mode opératoire pour obtenir une solution d'acide de concentration : 0,1 M.

Exemple d'analyses des résultats sur un échantillon de 35 étudiants de DEUG B 1<sup>re</sup> année :

A l'issue du contrôle des travaux réalisés sur cette base à titre d'exemple, on constate que :

- 60 % pensent qu'une fiole jaugée permet de verser, précisément, un volume connu de liquide.
- 10 % introduisent dans une fiole jaugée un volume de liquide inférieur au volume indiqué par le constructeur.
- 70 % utilisent une pipette pour remplir une burette.
- 6 % utilisent un volume inférieur à celui de la pipette utilisée.
- 12 % des principes opératoires sont totalement incohérents (voir graphe typique de la figure 1).

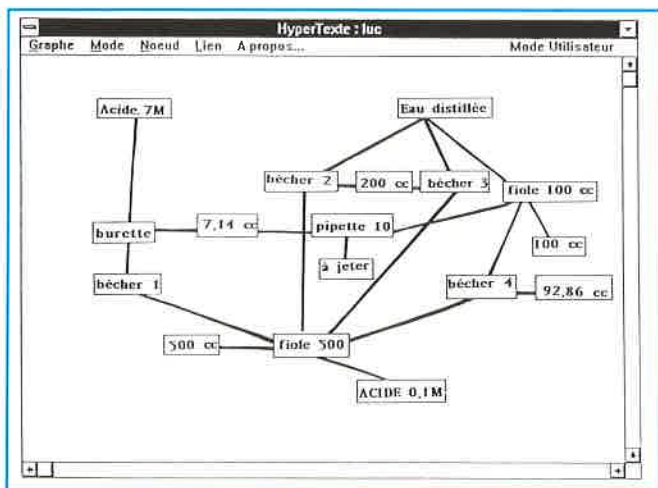


Figure 1. - Exemple représentatif d'un plan de manipulation révélant d'importantes lacunes conceptuelles exécuté à l'aide d'un logiciel informatique (1).

Il n'est pas rare de voir utiliser des volumes fractionnaires du type 92,86 ml ou 7,14 ml. Les étudiants tentent de trouver le chemin le plus court pour aboutir au résultat. Sur le plan expérimental cela conduit à choisir, outre les volumes fractionnaires, un volume à transférer de 1 cm<sup>3</sup>.

Aucun étudiant n'a proposé une évaluation de l'erreur expérimentale. Ce même groupe placé devant une manipulation classique, au protocole imposé, réussit "normalement".

Les protocoles expérimentaux proposés par les étudiants sont révélateurs de l'attitude passive observée lorsqu'ils sont confrontés à une expérience de travaux pratiques rédigée. Imaginer une expérience très simple révèle, également, leur limite conceptuelle et celle liée à l'utilisation du matériel. Les expé-

riences de travaux pratiques traditionnels, qu'ils effectuent par ailleurs, ne semblent donc pas apporter de savoir-faire véritable.

En résumé, les résultats de l'expérience confirment assez largement l'hypothèse de travail qui nous a conduits à proposer ce type d'approche.

### Exemple de travaux pratiques de 2<sup>e</sup> cycle

Il s'agit de déterminer les acquis apportés aux étudiants par des travaux pratiques de chimie physique, dans le cadre de la première année d'une école d'ingénieurs chimistes. L'effectif concerné peut s'élever à une centaine d'étudiants.

Il faut établir, tout d'abord une liste d'entreprises, dont les responsables du laboratoire ont été contactés et ont accepté de participer au contrôle des connaissances à l'université.

Cette liste est communiquée aux élèves à l'issue de la série de travaux pratiques réalisés dans le cadre de la scolarité. Ils doivent :

- 1 - Prendre contact avec le responsable du laboratoire.
- 2 - Solliciter un rendez-vous.
- 3 - Examiner sur place (c'est-à-dire dans l'entreprise) l'activité de ce laboratoire.
- 4 - Choisir les domaines dont ils pensent pouvoir faire une analyse valable.
- 5 - Rédiger un compte rendu critique des branches d'activité dont ils savent décrire le fonctionnement à l'issue du stage.
- 6 - Faire un exposé de vingt minutes devant l'ensemble de la promotion.

Concrètement, l'expérience a été réalisée sur 30 étudiants. Quinze entreprises ont été sollicitées pour les accueillir, couvrant des domaines aussi divers que le Service des eaux, le Service des fraudes, les Salins du Midi, l'agriculture, les industries pharmaceutiques, etc. Ce travail a servi de modèle d'évaluation des travaux pratiques réalisés dans l'année. Un travail représentatif aboutit à une activité au sein de l'entreprise, correspondant à 3 séances de 8 h. Elles servent à évaluer l'acquis obtenu après 30 séances annuelles traditionnelles de 4 h. Les compte rendus, rédigés en une vingtaine de pages, ont été exposés en 15 minutes face au reste de la promotion.

Dans ce cadre, à titre d'exemple positif, un binôme a examiné la méthode de détermination du taux d'azote dans le lait, telle qu'elle était réalisée dans une laiterie. Il a démontré que la procédure expérimentale utilisée conduisait à une marge d'erreur de 4,5 %. Il a proposé un nouveau protocole expérimental pour obtenir une incertitude de 1,5 %.

A contrario, citons un binôme, qui a choisi d'examiner des expériences de résonance magnétique nucléaire (appareil prestigieux de l'entreprise) dans un laboratoire pharmaceutique. Les étudiants ont cru pouvoir analyser, sans connaissance théorique suffisante, une situation précise. Leur échec a été constaté lors de l'exposé et les élèves ont été invités à en rechercher les causes.

### CONCLUSION

En partant d'une définition de la mission de l'université, nous avons pu répertorier quelques-unes des attitudes que devrait posséder chaque étudiant, à l'issue d'une formation universitaire. Après avoir décrit ce profil, nous avons pu tenter d'aborder les enseignements expérimentaux de telle façon que les étu-

dians puissent y mettre en œuvre des qualités qu'il nous semble essentiel de développer dans l'enseignement supérieur.

1 - La capacité de s'évaluer soi-même, car les sujets proposés offrent toujours plusieurs éventualités qui peuvent être classées par ordre de difficulté croissante et l'étudiant doit choisir de traiter un cas qu'il saura maîtriser. Dans le cas contraire, les compte rendus sont très mauvais car ils font référence à des techniques mal connues (utilisation de la technique de RMN sans en connaître le principe ; les élèves ont tenté de séduire en s'appuyant sur une méthode prestigieuse).

2 - La créativité et l'imagination, puisque l'étudiant doit construire sa rédaction en portant, par exemple, un jugement sur le mode opératoire utilisé dans l'entreprise. Les meilleurs élèves ont tenté d'imaginer plusieurs processus expérimentaux. Cette approche n'est pas suggérée explicitement par la rédaction du sujet.

3 - La faculté de faire une synthèse de ses connaissances, parce que le travail proposé à l'étudiant ne consiste pas à reproduire un exercice déjà réalisé. Il s'agit, au contraire, de comparer plusieurs expériences, et de faire appel à son savoir théorique pour examiner de nouvelles manipulations. C'est l'amorce d'un acte créateur qui ne peut être accompli qu'à la suite d'une synthèse.

4 - L'aptitude à réaliser une analyse critique, car, devant les multiples possibilités qui lui sont offertes, l'étudiant doit accomplir un choix. Cela nécessite de faire, au préalable, un recensement de toutes les éventualités pour n'en retenir que la meilleure.

Ce type de travail propose, en outre, de s'exercer à accomplir des démarches souvent suivies dans la vie active.

Le procédé pédagogique, proposé dans ce texte, est bâti sur des fondements éducatifs clairement énoncés. Il place, finalement, les étudiants dans une situation aussi proche que possible de celles qu'ils pourront rencontrer dans la société économique. Il présente l'avantage de mettre en évidence les processus essentiels de l'expérimentation scientifique et de faire apparaître clairement la dialectique qui en constitue le fondement.

C'est, aussi, l'occasion d'offrir aux étudiants la possibilité de manifester leur créativité et leur sens de l'innovation. Cette approche de l'enseignement expérimental leur montre donc quels sont les liens qui existent entre l'enseignement théorique et la vie professionnelle : ce sont les outils intellectuels qui leur permettent de traduire leurs connaissances théoriques en qualités d'expérimentateurs. Notre ambition consiste à leur proposer de les forger au cours des travaux pratiques.

## RÉFÉRENCES

- V.G. Mialaret, Nouvelle pédagogie scientifique, PUF, Paris, 1954.
- A. de la Garanderie, Pour une pédagogie de l'intelligence, édition du Centurion, Paris, 1990.
- A. Dumon, Place et organisation de l'enseignement expérimental de la chimie dans le 1<sup>er</sup> cycle universitaire en France, *Pédagogiques*, 1990, 10, 1, 37-35.
- D.A. Kolb and R. Fryn Towards an applied theory of experimental learning, Theory of group processes, Wiley and Son, New York, 1975, 33-37.
- A. Baby, La relation pédagogique à l'Université, Colloque international de l'AIUP, Nice, 30 mai - 2 juin 1990.
- M. Claessens, Les dessous de l'intelligence, IMAGO, Paris, 1990.
- J. Fourastié, Les conditions de l'esprit scientifique, NRF, Paris, 1966.
- A. Bireaud, Les méthodes pédagogiques dans l'Enseignement Supérieur, Les Éditions d'organisation, Paris, 1990.
- D. Bloor, Knowledge and Social Imagery, *Science Studies*, 1975, 5, 4, 382-385.

## INFORMATIONS

### UNIVERSITÉ DES RÉSEAUX D'EXPRESSION FRANÇAISE : RESA ENVIRONNEMENT

L'Université des Réseaux d'Expression Française (UREF) a été créée, en 1987, au sein de l'Association des Universités Partiellement ou entièrement de Langue Française (AUPELF), pour répondre aux attentes des sommets francophones dont le premier a eu lieu à Paris en 1986. Elle a pour objet de mailler (de mettre en réseaux) les universités, les écoles, les instituts, les centres de recherches francophones et leur permettre de travailler ensemble. Au travers son université, l'AUPELF est l'opérateur des sommets francophones pour l'enseignement supérieur et de la recherche.

L'UREF met en place des programmes d'échange, au travers de ces réseaux, d'information scientifique et technique

(édition de manuels, de monographies, de revues, de nouveaux supports télématiques et diffusion auprès des bibliothèques des pays du Sud) et de formation (bourses d'études et bourses post doctorales). Elle intervient également auprès de centres internationaux francophones de formation et de recherche en Afrique et en Asie.

Une des priorités affichées par le 4<sup>e</sup> sommet de Chaillot (novembre 1991) est l'environnement. L'UREF, par son mandat, se devait de répondre positivement à cette orientation, d'autant plus que nombre de problèmes concernant cette question passent par la formation des individus (prise en compte de l'environnement dans les activités professionnelles ou personnelles des individus) et la recherche.

Dès avril 1991, l'UREF mettait en place un réseau spécifique d'appui à l'enseignement

supérieur (RESA) en environnement. Ce réseau a trois objectifs :

- soutenir des formations dans des centres des pays du Sud ayant une expertise en environnement,
- apporter un appui à ces centres par des dotations en information scientifique et technique et favoriser la production d'information scientifique et technique,
- organiser des séminaires de réflexion et des colloques scientifiques en français.

Parmi les premières réalisations de ce RESA, on peut signaler :

- sa participation aux 2<sup>e</sup> rencontres internationales de l'UREF organisées les 2-4 septembre 1992 à Montréal sur le thème environnement et francophonie. Ces rencontres se sont déroulées sous forme de tables rondes :
- Droit de l'environnement,