

Recherche et expérimentation sur l'enseignement de la chimie à finalité biomédicale

Contribution à l'élaboration d'outils d'enseignements de la chimie en premier cycle d'études médicales en France

Dominique Davous⁽¹⁾
Janine Thibault⁽¹⁾
Maurice Gomel⁽²⁾
Alexis Vasseur⁽²⁾

Dans de précédentes études, nous avons présenté l'analyse d'un système d'enseignement supérieur, le premier cycle des études médicales en France, en nous intéressant au mécanisme de sélection et au processus de formation [1 à 5].

Nous avons également effectué une rapide comparaison avec d'autres systèmes de formation des médecins dans quelques autres pays* [6]. En ce qui concerne le mode d'accès aux études médicales, la plupart des pays** ont introduit une sélection, mais seule la France a un mode de sélection par voie de concours en fin de première année des études médicales.

Nous avons également tenté de comparer la place et le rôle des disciplines fondamentales*** dans les différents cursus ; dans les pays envisagés, le niveau scientifique des étudiants dans ces disciplines fondamentales équivaut à celui d'un étudiant français de fin de premier cycle médical (soit deux ans après le baccalauréat).

Un autre volet de notre travail a consisté, en procédant par enquêtes, à tenter de déterminer, d'une part la façon dont les médecins en exercice et les étudiants en médecine (les « utilisateurs » du système) perçoivent leurs besoins en chimie et, d'autre part, la façon dont les « experts-formateurs », les chimistes et les biochimistes enseignant dans les centres hospitaliers universitaires (CHU), les conçoivent [7].

* Essentiellement des pays de la CEE et les Etats-Unis.

** En ce qui concerne la CEE, l'accès est encore libre en Belgique et en Italie.

*** Ce vocable recouvre : mathématiques (statistiques, informatique), physique, chimie, biophysique, biochimie, biologie.

L'une des conclusions qui se dégage de ces analyses est favorable au maintien en premier cycle des enseignements de sciences fondamentales, mais avec une adaptation didactique de ces enseignements, notamment de chimie, pour ce qui nous concerne.

Nous avons alors dressé un état des réflexions et un inventaire des réalisations novatrices concernant l'enseignement en première année de premier cycle des études médicales en France et constaté qu'elles s'avèrent très limitées [8 à 11].

Mentionnons, par contre, des propositions assez développées aux Etats-Unis, également dans le Royaume-Uni, pour une chimie adaptée aux besoins des professions de santé [12 à 16] avec mise en place de programmes spécifiques. De plus, toujours dans ces pays, la formation pré-universitaire est beaucoup plus souple et modulaire, moins uniforme qu'en France ; des élèves n'ayant pas encore acquis le niveau scientifique exigé pour les études médicales peuvent avoir accès à ces études en suivant des programmes spécifiques de rattrapage.

Suite à ces analyses, nous avons proposé une approche qui permette de construire un enseignement de chimie à finalité biomédicale, dans le cadre actuel des enseignements de chimie de la première année du premier cycle des études médicales françaises.

Notre choix s'est porté sur l'élaboration d'un outil d'enseignement thématique basé sur les « examens de laboratoires médicaux ».

Dans un premier temps, nous présenterons l'expérimentation pédagogique à laquelle il a donné lieu, et son évaluation correspondante, puis, dans un deuxième temps, nous reviendrons au document lui-même, en précisant le contenu et les objectifs qui ont guidé notre démarche.

(1) GREDEC, Université Pierre et Marie Curie, bâtiment 72-73, porte 228, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05.

Ce groupe est rattaché au :

(2) LIRDIC, Laboratoire de chimie XIII, Université de Poitiers, 40, avenue du Recteur Pineau, 86022 Poitiers Cedex.

A - Choix d'un thème, expérimentation et tentative d'évaluation

1 - Choix du thème. Prise en compte des contraintes

Parmi les différents thèmes de chimie susceptibles d'être retenus pour un enseignement modulaire s'appuyant sur les examens de laboratoires, nous en avons choisi un que nous avons expérimenté en situation réelle d'enseignement auprès des étudiants de la première année du premier cycle des études médicales d'un centre hospitalier universitaire*.

Il a fallu faire face à de nombreuses contraintes :

- en premier lieu, l'existence d'un concours qui, a priori, impose de donner un enseignement identique à tous les étudiants,
- il fallait aussi un thème chimique court, facile à circonscrire : nous prenions en effet, pour un temps limité, la place du professeur en charge de la totalité du cours.

Le thème «stéréoisomérisation» pouvait se plier à ces contraintes, et l'analyse de la glycémie offrait un bon support biologique.

2 - La glycémie

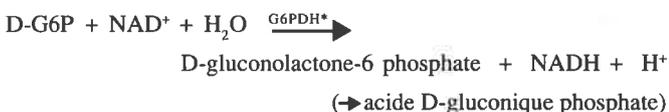
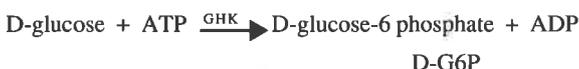
Concernant le principe de ce dosage, il s'agit toujours d'une méthode enzymatique suivie d'un dosage spectrométrique, selon trois voies possibles :

1/ Méthode à la glucose oxydase (GOD), (ou glucose Trinder)



H₂O₂ en présence d'orthodiansidine et de peroxydase donne naissance à une «semi-quinone» brun-rouge qui absorbe à 436 nm.

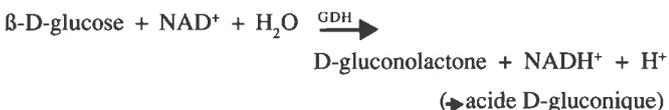
2/ Méthode à la glucose hexokinase (GHK)



NADH absorbe à 340 nm

*glucose 6-phosphate déshydrogénase

3/ Méthode à la glucose déshydrogénase (GDH)



NADH absorbe à 340 nm

Note : en présence de mutarotase, la réaction est accélérée.



Remarque : Dans les trois méthodes proposées, il est nécessaire de travailler en milieu tamponné (tampon phosphate pour les deux premières, triéthanolamine ou tampon «tris» (trihydroxyméthylaminométhane) pour la troisième).

* Nous tenons à remercier ici l'équipe des chimistes du CHU de Caen, et tout particulièrement les Professeurs Rioult et Verwaerde.

Si on exploite cette fiche du point de vue des concepts chimiques, en prenant donc la glycémie pour support d'un cours de chimie, on peut aborder :

- Echange d'énergie et équilibres
 - Réactions de couplage
 - Composés «riches en énergie»
- Equilibres d'oxydo-réduction
 - Couples : O₂/H₂O₂,
NAD⁺/NADH
Acide/Aldéhyde
Cétone/Alcool (Lactone/Hémiacétal)
- Stéréochimie : D-glucose (a et b)
- Notion de tampon
- Notions de cinétique
- Chimie organique :
 - Fonctions : alcool, carbonyle, acide
 - Réactions : - Oxydation des alcools et des carbonyles
 - Hémiacétalisation
 - Phosphorylation d'un substrat

3 - Elaboration du plan d'expérimentation

Nous avons fait le choix ici, s'adressant à des chimistes, et pour alléger l'exposé, de ne pas présenter la procédure détaillée de l'expérimentation*. Signalons seulement que nous nous sommes strictement conformés à la démarche utilisée par les spécialistes des sciences de l'éducation, en particulier, définitions des objectifs et des groupes d'expérimentation, mise en place d'une observation de groupe....

4 - Evaluation

En ce qui concerne l'évaluation, nous nous limiterons aux principaux résultats. Précisons, toutefois, que les étudiants ont tous été soumis aux mêmes tests, l'un portant sur les connaissances acquises, l'autre, sur leurs opinions face à cette expérience.

Cette évaluation, à travers les deux tests proposés, comportait trois types de données (ou variables) : variables d'identité des étudiants, variables de connaissances, variables d'opinions (sur le principe de cette méthode d'enseignement, sur son contenu...).

Pour le traitement des données, nous avons appliqué des calculs statistiques classiques, l'analyse factorielle des correspondances et l'analyse discriminante, selon les cas à l'ensemble des étudiants, ou à chaque groupe séparément.

a) Résultats concernant l'évaluation des connaissances et savoir-faire correspondants

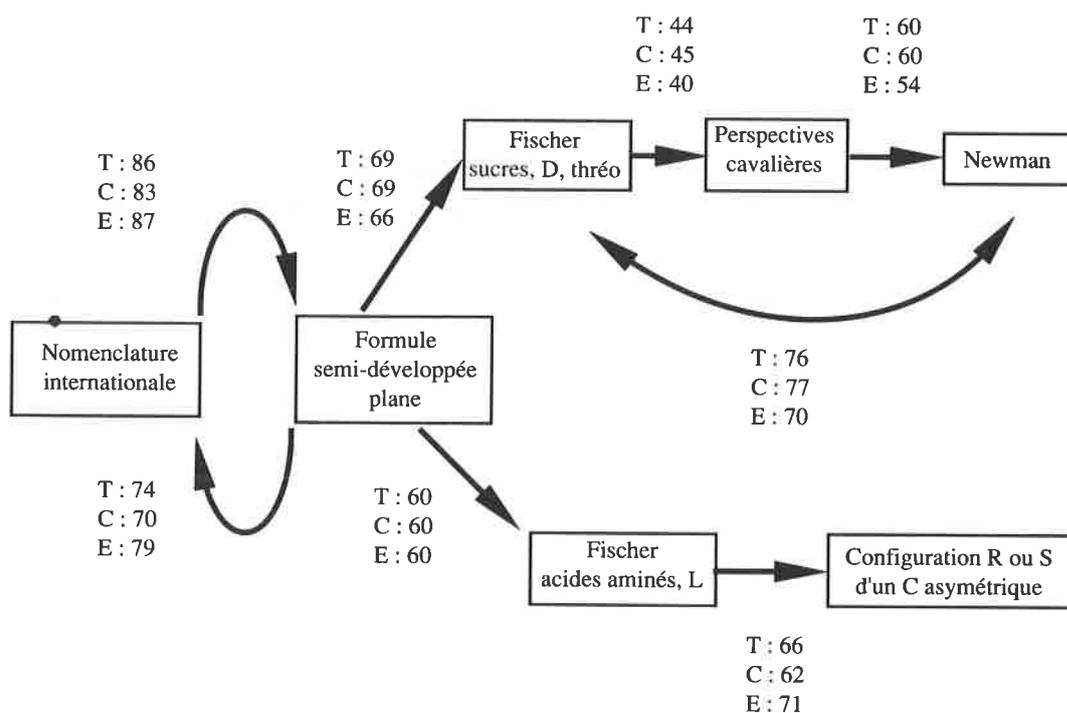
- La démarche des étudiants consistait, pour l'essentiel, à passer de la formule brute d'une molécule à sa formule semi-développée plane, puis à en donner la projection de Fischer et les représentations en perspective et en projection de Newman. Les résultats, sous forme condensée, sont rassemblés dans le tableau 1. Les nombres indiquent le taux de réussite des étudiants à chaque étape de cette démarche, pour chacun des groupes : classique (C) et expérimental (E), ainsi que pour l'ensemble des étudiants (T).

- On constate une bonne réussite globale de l'épreuve (que, toutefois, nous n'avons pas voulu très difficile, compte tenu des conditions d'expérimentation), peu de différences dans les acquisitions entre les deux groupes (la carte obtenue par l'analyse factorielle des correspondances le manifeste très clairement pour l'ensemble du test). On peut se demander si une épreuve plus discriminante aurait conduit à mettre en évidence des différences d'acquisition plus nettes entre les deux groupes.

Ce test conçu pour être en partie normatif au sens où nous proposons de classer les individus, en l'occurrence discriminer les deux groupes :

*Les documents relatifs à l'expérimentation ainsi qu'à l'évaluation, les résultats complets et les cartes d'analyses de données correspondantes peuvent être communiqués aux lecteurs intéressés.

TABLEAU I. - Taux de réussite (en %) des étudiants au test d'évaluation des connaissances (résultats partiels).



Légende : C : groupe classique, E : groupe expérimental, T : ensemble des étudiants.

classique et expérimental, s'est révélé être un bon test diagnostique, au sens de Landsheere, c'est-à-dire «servant à localiser des difficultés d'apprentissage».

Ainsi, l'analyse des erreurs montre que la difficulté majeure concerne la représentation perspective d'une molécule. Presque la moitié des étudiants ne savent pas l'utiliser (comme le montre le tableau 1).

Ces conclusions qui peuvent paraître attendues, dans le domaine de la stéréoisométrie, ont, nous semble-t-il toutefois, pour mérite d'apporter une preuve établie, par presque 400 étudiants.

b) Résultats concernant l'évaluation des opinions

Les principales conclusions issues des réponses des étudiants à ce test, font apparaître :

- dans le groupe expérimental, les étudiants considèrent les contenus comme pertinents ; une large majorité de ces étudiants considèrent que cette présentation les a aidés pour comprendre le cours ; ils ont été très intéressés par l'introduction du sujet par un médecin ;

- dans le groupe classique, la population s'est montrée particulièrement ouverte au changement, les étudiants se déclarant favorables au principe d'un enseignement associant la chimie à une réalité médicale ; ils pensent que ce doit être très motivant.

Ceci est très clairement confirmé par l'analyse discriminante.

Ayant cherché à savoir comment intervenait dans les réponses au test le fait d'avoir aimé ou non la chimie dans le secondaire, nous constatons que :

- dans le groupe classique, on se dit favorable dans le principe à une telle expérience pédagogique, si on a aimé la chimie dans le secondaire, et défavorable si on ne l'aimait pas ;

- dans le groupe expérimental, on se prononce sur l'événement récent sans faire intervenir le passé. Et cette dernière observation pourrait constituer une preuve expérimentale supplémentaire des effets, positifs et très divers, de l'innovation pédagogique [17].

Cependant, bien qu'une expérimentation pédagogique incluse dans un enseignement débouchant sur un concours ne soit probablement pas un facteur d'attrait, on ne peut exclure que les étudiants aient été favorable-

ment influencés par le seul effet de nouveauté : l'influence positive de l'effet Hawthorne s'avérerait ici prédominante. Si tel était le cas, l'innovation pédagogique apparaîtrait comme une stratégie positive, en soi (17).

B - Présentation de l'outil d'enseignement* ayant permis l'expérimentation

1 - Présentation du document

Nous avons sélectionné les examens biologiques de laboratoires, en nous limitant aux 43 examens statistiquement les plus fréquents (93% des actes effectués). Nous avons opéré un second choix en ne retenant que ceux qui font appel à des concepts, méthodes ou techniques de chimie**. Dans ce cadre, nous en avons retenu 22***.

Nous avons alors constitué une fiche par analyse médicale, comportant chacune 8 rubriques : nom de l'analyse, fréquence, constituant dosé, milieu de prélèvement, valeur diagnostique, thèmes chimiques.

Nous n'avons pas abordé les aspects physiologiques et les valeurs pathologiques, liés à chaque analyse, qui ne rentraient pas dans les objectifs de notre travail. Toutefois, il nous a paru intéressant de donner

* Cf document : «Analyses médicales et thèmes chimiques (document pour l'enseignant)», disponible auprès de D. Davous.

** Recouvrant les chapitres (dans la nomenclature officielle des actes médicaux) : explorations fonctionnelles, hormonologie, enzymologie, chimie biologique.

*** 22 examens (60% des actes) : glycémie, cholestérol, urée, triglycérides, acide urique, potassium-sodium-chlore, protéines urinaires, sucre urinaire (glycosurie), créatinine, transaminase glutamo-oxaloacétique (TGO), transaminase glutamo-pyruvique (TGP), calcium, réserve alcaline, protéines sériques, gamma glutamyl transférase (γ GT), phosphatases alcalines, magnésium, fer sérique, protéinogramme, phosphore minéral, fibrinogène, bilirubine totale.

quelques indications sur la valeur diagnostique de ces analyses. L'inventaire des aspects chimiques mentionnés dans les différentes fiches nous a permis un regroupement en huit chapitres :

- 1 - Techniques de dosage employées dans les examens de laboratoires.
- 2 - Expression des résultats : formules et unités.
- 3 - Equilibres acido-basiques : pH, tampon.
- 4 - Equilibres d'oxydo-réduction (et la notion de couplage).
- 5 - Complexes et produit de solubilité.
- 6 - Notions de cinétique.
- 7 - Stéréochimie.
- 8 - Quelques fonctions de la chimie organique ; étude de plusieurs réactions ; applications à la biochimie : reconnaissance de sites actifs sur des grosses molécules biologiques.

Hormis les techniques de dosage et l'expression des résultats concernant chacun des examens, on note que les autres aspects chimiques impliqués dans ces analyses, et rassemblés dans le tableau 2, sont actuellement abordés en première année du premier cycle des études médicales.

2 - Objectifs du document et utilisations possibles

Ce document est conçu à l'intention des enseignants de chimie s'adressant à des étudiants de PCEM 1, en priorité, mais aussi plus largement à des étudiants de premier cycle engagés dans des filières biologiques. Il est susceptible de montrer à l'étudiant que les analyses de laboratoires, comme bien d'autres domaines du secteur médical, font appel à la chimie.

L'outil peut être utilisé par l'enseignant pour sa propre documentation, ou pour en communiquer des extraits de son choix à des étudiants concernés.

Ces analyses, exploitées en cours magistral, peuvent servir de support pour introduire un thème chimique, ainsi que nous l'avons développé dans le cas de l'analyse retenue, celle de la glycémie.

Elles peuvent aussi être utilisées en travaux dirigés, à titre d'exemples d'applications.

C - Quelques remarques sur les procédures d'enseignement thématique

Sur la base de ce travail, il paraît possible de présenter quelques réflexions sur les avantages et les inconvénients d'un enseignement thématique.

Les principaux avantages d'un enseignement thématique semblent être :

- La possibilité de développer la motivation profonde des étudiants à apprendre (au-delà de la motivation première «réussir», naturelle, dans le cas d'un concours tel celui de fin de première année des études médicales).

- La possibilité de conduire les étudiants à acquérir une vue d'ensemble sur un sujet scientifique bien défini, en dépassant le morcellement disciplinaire.

Mais les inconvénients semblent importants aussi lorsqu'on s'adresse à des étudiants de premier cycle, donc ne disposant pas encore d'un ensemble suffisant de connaissances de base. Le risque existe alors de disperser, voire «dissoudre» les notions chimiques introduites, du fait de l'abandon de la cohérence interne (didactique) de la discipline chimie ; de négliger certains aspects de la chimie que le thème ne permet pas d'introduire et, de ce fait, risquer de marginaliser des notions de base ; de

Tableau II. - Les thèmes chimiques abordés dans les examens de laboratoires médicaux (les 22 analyses les plus courantes)

Nom de l'analyse	Acidité	Oxydo-Réduction	Complexes Produits de solubilité	Cinétique	Stéréochimie	Chimie organique	Autres
Glycémie Glycosurie	+	+		+	+	+	
Cholestérol	+	+		+	+	+	
Urée	+	+		+	+	+	
Triglycérides	+	+		+		+	
Acide urique	+	+		+		+	
Na, K, Cl	+		+				Osmose
Protéines, Protéinogramme Fibrinogène	+		+		+	+	Électrophorèse
Créatinine						+	
TGO-TGP	+	+		+	+	+	
Ca	+	+	+				
Réserve alcaline	+	+			+	+	Pression partielle des gaz
γ-GT	+			+	+	+	
Phosphatases alcalines	+			+		+	
Mg	+		+				
Fe sérique	+	+	+			+	
P minéral			+	+			
Bilirubine			+				

Le signe + indique que le thème chimique est sous-jacent à l'analyse concernée.

voir apparaître des difficultés chez les étudiants au moment du transfert de leurs acquisitions à d'autres situations (équivalentes, mais différentes, car liées à d'autres thèmes).

Conclusions

Le test d'évaluation construit pour cette expérimentation, ayant pour objet la stéréochimie et comme support biologique l'analyse de la glycémie, s'est révélé un bon test diagnostique pour l'enseignement de la stéréoisométrie ; la difficulté majeure pour tous les étudiants, tient à la représentation en perspective des molécules.

Nous pouvons, sur cette base, donner l'assurance que l'intégration de la finalité biomédicale à l'enseignement de chimie ne semble pas «payée» par une réduction corrélative des acquisitions en chimie proprement dite. Cependant, il faut en parallèle prévoir une consommation accrue du temps d'enseignement, restant toutefois dans des limites acceptables.

L'expérience, ponctuelle, menée en temps limité et présentée ici, révèle une réelle ouverture, tant du côté enseignants qu'étudiants, à de nouvelles approches d'enseignement. Une telle ouverture permet d'espérer une extension de ce type de démarche et d'expérimentation.

Dans cet esprit, nous avons défini et développé une procédure de création d'un outil thématique destiné à l'enseignement de la chimie à finalité biomédicale. «La chimie des examens de laboratoires médicaux» s'est révélée relativement riche, faisant apparaître la possibilité d'aborder d'assez nombreux thèmes fondamentaux de la chimie actuellement enseignée en première année du premier cycle des études médicales.

Nous pensons ainsi avoir ouvert quelques perspectives concrètes, susceptibles de retenir l'attention des chimistes enseignant en PCEM 1.

Parallèlement à ce travail, nous avons mis en place* des séminaires d'enseignement aux frontières de la chimie, de la médecine et de la biologie, qui sont en fait un lieu d'élaboration et de réflexion de ce type de démarche [18 à 20].

A travers ces différentes approches, il ressort que donner une finalité biomédicale à l'enseignement de chimie pour futurs médecins doit et peut aller plus loin que la simple illustration d'un cours classique par des exemples biologiques ou applications médicales [21]. Des enseignements thématiques ponctuels, frontières entre plusieurs domaines : chimie, biologie, médecine, pharmacie, pourraient être développés en faveur d'une meilleure collaboration interdisciplinaire. Les dialogues sont à établir, ou amplifier avec les biochimistes, mais aussi les physiologistes, également avec des spécialistes médecins situés en aval dans le cursus médical, les spécialités concernées étant notamment la pharmacologie, l'anesthésie-réanimation, l'endocrinologie, la néphrologie, l'hématologie et la cancérologie.

* Réseau inter-universitaire francophone ReCoDiC, puis centre documentaire coopératif CEMP (chimie-enseignement médical et pharmaceutique)

Bibliographie

- [1] J. Eberlé, D. Davous, M. Ché et Z. Wolkowski, Un exemple de sélection en médecine, *P.M.*, **1979**, 8, 2027-2030.
- [2] J. Eberlé, D. Davous, M. Ché, Évolution des conditions de réussite ou d'échec au concours d'entrée en médecine, *Rev. Fr. Pédag.*, **1981**, 54, 39-52.
- [3] D. Davous, M. Gomel, J. Thibault et A. Vasseur, Chimie et études médicales, *L'Actualité Chimique*, **1984**, 8, 59-65.
- [4] Analyse d'un système d'enseignement, préalable à sa réforme. Première partie : les étudiants, les enseignants, *Rev. Educ. Méd.*, **1984-1985**, VII, 7, 242-251.
- [5] Deuxième partie : les enseignements, *Rev. Educ. Méd.*, **1985**, VIII, I, 4-13.
- [6] D. Davous, Thèse de doctorat d'Etat : Analyse d'un système d'enseignement supérieur : le premier cycle d'études médicales (première année et concours), recherche et expérimentation sur l'enseignement de la chimie à finalité biomédicale, Université de Poitiers, **1987**.
- [7] D. Davous, M. Gomel, J. Thibault et A. Vasseur, Étude chimie - médecine, *Rev. Educ. Méd.*, **1986**, IX, 5, 7-22.
- [8] L'enseignement de la chimie dans la formation médicale (journées organisées par la division Enseignement de la Société Chimique de France), *L'Actualité Chimique*, **1977**, 2, 35-38.
- [9] *Id.*, *L'Actualité Chimique*, **1977**, 3, 34-37.
- [10] *Journées d'avril, **1981**.
- [11] *Chimie-Médecine : Objectifs pour l'enseignement de la chimie en PCEM-1; document collectif rédigé sous forme d'objectifs, et concernant les notions fondamentales de chimie jugées nécessaires pour les études médicales et en général enseignées en PCEM-1, novembre **1982**.
- [12] M. Frechette et J. Farina, Introductory chemical education of health professions (an integrated chemical approach), *J. Chem. Educ.*, **1979**, 56, 587-593.
- [13] J. Genya et D. Callewaert, Chemistry for health science students, *J. Chem. Educ.*, **1983**, 60, 471.
- [14] G.M. Pickral, Analytical Chemistry for premedical students, *J. Chem. Educ.*, **1976**, 53, 182-184.
- [15] C.L. Staniiski et C.I. Sears, Aspects of chemistry of health related sciences, *J. Chem. Educ.*, **1975**, 52, 226-227.
- [16] Making chemistry activities meaningful to nursing students, *J. of College Science Teaching*, **1974**, 4.
- [17] M. Gomel, La rénovation pédagogique des Enseignements Supérieurs par l'effet Hawthorne : étude de synthèse d'une stratégie générale et de quelques résultats. Rédaction en cours.
- [18] Séminaires ReCoDiC : séminaires d'enseignement aux frontières de la chimie, de la biologie et de la médecine :
*La glycolyse, 28 septembre 1984, Paris, bref compte rendu dans *L'Actualité Chimique*, **1985**, 1-2, 109.
- [19] **Id.*, Le Médicament I : structure et réactivité, 5 novembre 1985, Paris, bref compte rendu dans *L'Actualité Chimique*, **1986**, 5, XIII.
- [20] **Id.*, Le Médicament II : modes d'action et biotransformations, 20 avril 1987, Paris, bref compte rendu dans *L'Actualité Chimique*, **1986**, 10, CI.
- [21] G. Fourez, Pour une éthique de l'enseignement des Sciences, Chronique sociale - Vie ouvrière, **1985**.

* Ces documents sont disponibles auprès du CEMP (adresse du GREDIC de l'Université Pierre et Marie Curie).