

La chimie à Paris VII dans le cadre de la Formation permanente des Maîtres *

par S. Gaspard
(Université Paris VII)

Mon propos consistera à vous présenter ce que nous avons essayé de faire dans le cadre de la formation permanente des maîtres du second degré, à l'Université Paris VII. Il s'agit de l'expérience d'une année, aussi je n'aurai pas la prétention de vous dire ce qu'il y a lieu de faire ou de ne pas faire dans ce domaine. Je pense d'ailleurs que l'on peut faire des choses très différentes, sans qu'elles soient pour autant contradictoires mais complémentaires.

Tout d'abord, je préciserai qu'à l'Université Paris VII existe un service Formation des Maîtres en sciences physiques qui regroupe trois types d'enseignement :

- un C4 appelé «Didactique des sciences physiques et chimiques»,
- une préparation au C.A.P.E.S.,
- différents modules de recyclage pour les maîtres en exercice.

1. Le but du certificat C4 est de permettre aux futurs maîtres de l'enseignement du second degré de terminer la maîtrise es sciences physiques

- en complétant leurs connaissances générales dans les disciplines physiques ou chimiques et dans des domaines annexes (comme l'informatique),
- en abordant les problèmes de pédagogie théorique de la discipline.

2. En ce qui concerne le CAPES, je n'insisterai pas car tout le monde connaît le problème : il s'agit de préparer des gens à un concours national qui nous échappe totalement puisqu'il dépend uniquement du Ministère de l'Éducation.

3. Il existe un certain nombre de modules de recyclage notamment en physique. C'est à la demande des maîtres du second degré que nous avons mis sur pied un module de chimie que nous avons appelé «expériences de chimie». C'est ce troisième type d'enseignement qui fera l'objet de mon exposé.

Je peux signaler que dès maintenant, les inscriptions sont déjà closes pour la rentrée prochaine. Ceci montre qu'il y a une demande importante dans ce domaine, et de ce fait il faudrait que l'Université puisse y répondre.

* Conférence présentée aux Journées de la Division Enseignement de la chimie, Montpellier, juillet 1977.

Je me bornerai à vous exposer la façon dont nous avons voulu aborder ce problème et comment nous avons essayé de répondre aux besoins des maîtres venus nous trouver.

Quel était notre objectif ?

Je signale tout d'abord que nous n'avons pas voulu faire ce que l'on appelle des «cours de recyclage» comme il en existe en de nombreux endroits. Ceux-ci sont très intéressants et ont certainement leur raison d'être, mais très souvent n'intéressent malheureusement que les maîtres ayant le moins besoin d'un «recyclage». Aussi, nous avons voulu faire en sorte que les maîtres ayant le plus besoin d'aide, c'est-à-dire ceux qui rencontrent un certain nombre de difficultés dans leur travail de tous les jours, puissent venir à l'Université en discuter librement. A partir de là, il n'était pas question pour nous, de définir un programme avec un contenu précis, que l'on pourrait reconduire d'année en année sans savoir quels seraient les maîtres qui viendraient nous voir, et quels seraient leurs problèmes.

Nous avons donc commencé par nous réunir en insistant bien sur le fait qu'il n'était pas question pour nous d'imposer tel ou tel contenu mais tout simplement de mettre à leur disposition un certain nombre de moyens pour répondre à leurs préoccupations en essayant de les aider au niveau de nos possibilités.

Quels sont les maîtres qui se sont inscrits ?

Les maîtres que nous avons reçus peuvent se classer en trois groupes :

1. Ceux qui suivaient de près les travaux de la Commission Lagarrigue et qui voulaient de leur côté réfléchir à ces nouveaux programmes en essayant de mettre au point des nouveaux T.P. ou des expériences de cours correspondant à l'introduction de nouvelles notions.

2. Des professeurs de l'enseignement technique qui cherchent des expériences susceptibles d'accrocher leurs élèves très sensibles à des problèmes concrets bien particuliers.

3. Des professeurs qui rencontrent un certain nombre de difficultés à réaliser des expériences de cours, soit par manque de moyens (hotte, matériel, ...) soit tout simplement par manque de formation initiale dans ce domaine.

Il est heureux de constater que le point commun à tous ces maîtres est que leurs préoccupations sont d'ordre expérimental.

Nous voyons à partir de là que si nous voulons être vraiment efficaces, il faudrait mettre sur pied «un enseignement à la carte». Je n'aime d'ailleurs pas ce terme d'enseignement, il s'agit beaucoup plus, pour nous, d'un dialogue. Mais cela implique évidemment un certain nombre de moyens et notamment un laboratoire que l'on pourrait appeler par exemple «laboratoire de recherche pédagogique» où les enseignants, aussi bien du supérieur que du secondaire puissent se rencontrer, réfléchir, dialoguer et mettre au point des expériences de tout ordre.

Qu'avons-nous fait pour essayer de répondre à ces exigences ?

Je ne rentrerai pas dans le détail des manipulations que nous avons réalisées, mais je présenterai l'ensemble des différents points que nous avons abordés en essayant de dire pourquoi nous avons choisi telle ou telle expérience.

1. Pour répondre à la préoccupation des premiers, c'est-à-dire en se plaçant dans le cadre des avants-projets de programme de chimie en classe de première et terminales scientifiques, nous avons réalisé quelques expériences sur les équilibres chimiques (c'est-à-dire solubilité et produit de solubilité, équilibres acidobasiques et équilibres d'oxydoréduction) et sur la cinétique des réactions.

Tout d'abord, avant de parler de ces manipulations, nous avons distribué à la demande de certains stagiaires sous forme dactylographiée, des rappels théoriques, afin de permettre aux collègues de faire le lien entre la théorie et les expériences qui ont été retenues :

Nous avons rappelé l'essentiel de la théorie de Bronsted, puis clarifié ce qui est un système chimique, comme une solution d'acide par exemple. A un tel système chimique, correspond un système d'équations mathématiques qui résolu, permet d'accéder aux concentrations de toutes les espèces chimiques présentes. Ces équations peuvent être simplifiées par des approximations judicieuses. Nous avons pour cela, utilisé le diagramme logarithmique qui est une méthode très simple et puissante.

En ce qui concerne les équilibres d'oxydoréduction, nous avons montré l'analogie formelle du pH et du pE. Nous avons rappelé les différents types d'électrodes et les conventions concernant les potentiels d'électrode, et nous avons fait la théorie des diagrammes potentiels -pH.

● Expérimentalement, nous avons étudié la solubilité en tant qu'exemple d'équilibre. Le but n'a pas été de déterminer avec

précision un produit de solubilité, mais d'en faire une approche expérimentale en déterminant la solubilité d'un sel. On a pu montrer ensuite que celle-ci dépend : de la nature du sel, d'un ion commun, de la température, de la formation de complexe, du solvant.

Ce qui est important, c'est de faire ressortir, dans toutes ces expériences, la différence entre «solubilité» et «produit de solubilité» car je crains que les élèves aient tendance à les identifier.

● Une autre manipulation a consisté à déterminer une constante d'équilibre. Nous avons choisi l'exemple $\text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$. Ce mélange est ensuite dosé par une solution de KBr. Nous voyons que, par simple mesure de volume, il est possible de déterminer la constante de l'équilibre à condition toutefois de prendre certaines précautions expérimentales. C'est précisément ce qui nous est apparu intéressant pour bien comprendre le phénomène chimique. En effet, on utilise une solution d'ammoniaque 200 fois plus concentrée que celle d' AgNO_3 pour déplacer complètement l'équilibre dans le sens de la formation du complexe puis une solution «antagoniste» (KBr) dont le produit de solubilité du précipité obtenu est très petit ($K_{\text{AgBr}} = 4.10^{-13}$).

Cette manipulation peut paraître difficile, c'est pourquoi il est important d'avoir une confrontation avec les maîtres du second degré qui sont les mieux placés pour savoir si ceci est susceptible de passer auprès des élèves du lycée. En ce qui nous concerne, nous en avons discuté et les avis étaient partagés.

● En ce qui concerne l'oxydoréduction, nous avons réalisé un certain nombre d'expériences simples relatives au fonctionnement des piles électrochimiques et aux équilibres redox.

Nous avons étudié différents couples redox, et l'influence des facteurs qui modifie l'équilibre électrochimique comme la concentration, la formation de complexe, la formation de précipité, le pH, nous avons à cette occasion construit le diagramme $\text{pE} = f(\text{pH})$ du fer.

Nous avons ensuite montré qu'il était possible d'inverser le sens des réactions d'oxydoréduction en imposant une différence de potentiel aux bornes de la cellule qui n'est plus dans ce cas une pile, mais un électrolyseur.

Au travers de ces expériences, il est important de faire ressortir que l'énergie libre des réactions chimiques peut être utilisée sous forme d'énergie électrique et que l'énergie électrique peut être à son tour utilisée pour forcer certaines réactions chimiques à se réaliser.

● Un autre aspect a été abordé, c'est l'étude des courbes de titrage, aussi bien acide base que redox. Ceci nous a amené à discuter et à compa-

rer les courbes de neutralisation suivant que l'on a un acide fort ou un acide faible à voir qu'elle est l'influence de la dilution sur ces différentes courbes, le choix des indicateurs colorés en fonction de leur pK, etc...

● Comme manipulation permettant d'étudier la cinétique d'une réaction ; nous avons retenu l'hydrolyse du chlorure de t.butyle par colorimétrie (car elle figurait dans les avants-projets de programmes de la commission). Cette manipulation est simple, je n'en donnerai que le principe. Une solution aqueuse de chlorure de t.butyle s'hydrolyse suivant une réaction du premier ordre en donnant tBu^+ et Cl^- (réaction lente).

Si on introduit des concentrations connues de soude, on aura la réaction rapide $\text{tBu}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{alcool correspondant}$. A l'aide d'un indicateur coloré (bleu de bromothymol) on pourra suivre la variation de pH donc l'avancement de la réaction. Si on a le temps, il est possible ensuite d'étudier l'influence de différents facteurs comme la température, le solvant, l'effet d'ion commun (NaCl).

II. Les maîtres du deuxième groupe enseignent généralement dans des classes où la chimie n'est intéressante pour les élèves que dans la mesure où elle débouche sur des problèmes concrets qui les concernent plus ou moins directement.

Par exemple, un professeur d'un établissement technique était intéressé par le problème des dépôts métalliques (dorure, argenture, ...) car ses élèves le pratiquaient en atelier. Il avait essayé et ou bien il obtenait un dégagement gazeux ou bien il obtenait un dépôt noir spongieux mais rarement il obtenait un dépôt métallique bien adhérent.

● Ceci nous a amené à étudier le cas de la réduction cathodique d'un cation donnant un dépôt métallique adhérent sur la cathode. Le but de cette manipulation était d'éliminer la principale difficulté qui est le codégagement d'hydrogène. On a choisi un cas simple qui est le dépôt de nickel sur le cuivre et on a étudié la concurrence possible entre la réaction de dégagement d'hydrogène et celle de dépôt de nickel. Pour cela, nous avons déterminé les surtensions de dégagement d'hydrogène sur le métal support (Cu) et sur le dépôt (Ni) en traçant les courbes de polarisation cathodique à différents pH et pour différentes compositions de l'électrolyte. On a pu ainsi déterminer les conditions expérimentales nécessaires à l'obtention d'un dépôt métallique brillant et parfaitement adhérent.

● Nous avons également réalisé des argentures par électrolyse du complexe ($\text{Ag}^+ + \text{I}^-$ excès) et montré que le résultat est fonction de la surface à argenter et de la densité de courant.

● Autre problème soulevé, celui de l'aluminium anodisé, en raison de son importance industrielle notamment en architecture, dans le bâtiment, ... Nous avons donc traité anodiquement l'aluminium. Celui-ci est polarisé anodiquement dans un électrolyte qui n'attaque pas son oxyde (H_2SO_4 Cé). Il se forme ainsi un film d'alumine. Cette couche d'oxyde ayant des propriétés adsorbantes, il est possible de colorer le « métal ». Je passe sur les traitements intermédiaires, et on a pu ainsi colorer de l'aluminium avec de l'alizarine. Des nuances dans les couleurs ont été obtenues en jouant sur la durée de l'électrolyse et sur la densité de courant.

● Nous avons abordé également une série d'expériences qui a intéressé l'ensemble des professeurs mais qui ont été demandés surtout par les professeurs du technique, ce sont les polymères et les colorants. En ce qui concerne les polymères, un choix s'est présenté : soit réaliser une manipulation propre, mais relativement longue permettant d'obtenir une poudre à mouler par exemple, soit faire ces résines sous forme d'expériences de cours sans chercher à obtenir des produits directement utilisables : c'est cette deuxième façon de faire qui a été retenue de façon à réaliser les différents types de résines possibles.

Nous avons ainsi préparé des phénoplastes (bakélites), aminoplastes (urée formol), polyester (glycérophtalique), polyamide (nylon), polystyrène radicalaire (anionique et cationique), résine méthacrylique (plexiglass), polyuréthane (isocyanate + alcool).

Nous avons terminé ce cycle d'expériences sur les polymères en faisant venir un représentant d'une maison qui fabrique ces différentes résines qui nous a fait des démonstrations sur le choix et l'utilisation de ces résines en fonction des différents problèmes à résoudre (inclusions, empreintes, ou autres).

En ce qui concerne les colorants, nous nous sommes intéressés à un groupe important que sont les colorants azoïques. Ceci nous a conduit à faire une diazotation. Le diazo obtenu a ensuite été copulé avec différentes anilines ou phénols de façon à obtenir toute une série de matières colorantes.

Nous nous sommes intéressés plus particulièrement au sel de diazonium de l'acide sulfanilique, car copulé avec β -naphthol

il donne l'orangé II (rouge congo) et copulé avec la diméthylaniline il donne l'héliantine.

Le rouge congo est intéressant car l'on peut avec ce colorant teindre directement certaines fibres comme le coton. A cette occasion, un professeur a d'ailleurs teint un short, et il paraît que ça a très bien tenu au lavage.

L'héliantine est intéressante également car c'est un colorant que les élèves connaissent bien en tant qu'indicateur coloré. On a pu ainsi montrer que la forme basique jaune obtenue devient rouge par addition d'acide et donc que le produit obtenu correspond bien à l'indicateur de pH qu'ils ont l'habitude d'utiliser.

De façon à rester dans le cadre des colorants que les élèves connaissent bien, nous avons également préparé la fluorescéine et la phénolphthaléine par condensation des phénols correspondant avec l'anhydride phtalique.

Là encore, toutes ces expériences ont été faites sous forme d'expériences de cours, c'est-à-dire sans se soucier ni du rendement, ni de la pureté du produit obtenu. Nous avons ensuite abordé la technique du mordantage.

En effet, si certains colorants peuvent se fixer directement sur certaines fibres (comme le rouge congo sur le coton) il est très souvent nécessaire de réaliser une combinaison triple fibre - mordant - colorant.

Le mordant est en général un sel métallique que l'on fixe sur la fibre par hydrolyse. Nous avons donc réalisé cette opération sur la laine avec différents ions métalliques et mis en évidence l'influence du mordant sur la teinte obtenue.

Nous avons préparé un certain nombre d'échantillons, obtenus avec le vert d'Alsace (colorant que nous avons également préparé). La teinte évolue du beige clair (avec Al^{3+}) au vert presque gris (avec Fe^{2+}), en passant par le beige foncé (Mn^{2+}), le gris (Hg^{2+}), le jaune (Cr^{3+}), le marron (Co^{2+}), le vert clair (Cu^{1+}).

III. Parallèlement à ces expériences, les professeurs ont pu réaliser toutes les expériences qui leur semblaient utiles de faire pour des raisons personnelles et nous avons en plus, proposé toute une série d'expériences de cours qui nous semblaient présenter un intérêt à titre divers : ● soit parce qu'elles illustrent une préparation industrielle comme la préparation de

l'acide sulfurique par le procédé des chambres de plomb (action de HNO_3 sur SO_2) ou la préparation du chlore par électrolyse du chlorure de sodium avec une cathode de mercure.

● soit parce que le dispositif expérimental utilisé peut présenter un certain intérêt : comme la réduction de l'eau par le carbone, en faisant jaillir un arc sous l'eau. En effet, ce montage nécessite aucun matériel particulier comme un four que les collègues n'ont pas toujours dans leur établissement.

● soit parce que sur le plan de la sécurité elle peut présenter un certain intérêt : par exemple, comment réaliser telle ou telle expérience qui dégage du monoxyde de carbone quand on n'a pas de hotte, etc...

Pour terminer, j'ajouterai qu'à chaque fois, nous nous sommes efforcés de faire une évaluation sur la portée de l'expérience. Il importe en effet de bien choisir l'expérience en fonction de ce que l'on veut mettre en évidence et de s'assurer qu'il n'y a pas d'ambiguïté quant à l'interprétation du phénomène.

Pour conclure, je reviendrai sur ce que j'ai dit précédemment, à savoir que si l'on veut qu'existe à l'Université une véritable Formation permanente des Maîtres, il faut pouvoir répondre à leurs préoccupations qui peuvent être de nature très différente suivant le type d'enseignement et l'établissement dans lesquels ils enseignent. A titre d'exemple, je dirai qu'à notre Université dans le cadre du CAPES, c'est souvent que nos anciens étudiants, maintenant professeurs certifiés, viennent nous poser des questions du type : j'ai essayé telle manip' dans ma classe et ça ne marche pas, ou bien, j'ai fait telle expérience il se passe ceci, je ne comprend pas pourquoi ?

Il faudrait, à mon avis, que tous les maîtres du secondaire puissent venir à l'Université pour poser ce type de problème, chaque fois qu'il se présente.

Pour cela, je crois que si l'on arrivait à créer à l'Université une structure d'accueil où les maîtres du secondaire ne se sentent pas étrangers, mais où ils puissent venir librement et à tout moment poser leurs problèmes, dialoguer avec différents collègues, on aura beaucoup progressé dans le domaine de la Formation permanente des Maîtres.