

L'enseignement de la catalyse en France

Gérald Djéga-Mariadassou et Christine Travers

Summary

Catalysis teaching in France

Catalysis is not only a matter of barren mathematical equations; at its best, it introduces to the very life of molecules, both at the microscopic and at the macroscopic level. As such, it calls on many different and complementary domains of the chemical sciences. This article briefly presents the main study programs giving access to a specialization in the field of catalysis in France.

Mots-clés

Catalyse, cinétique, enseignement, formation doctorale.

Key-words

Catalysis, kinetics, teaching, graduate studies.

L'enseignement de la catalyse

L'enseignement de la catalyse ? C'est exposer les concepts de ces 40 dernières années, assurer la mémoire et la transmission de nos acquis, ne pas laisser les jeunes tout redécouvrir, donner un sens aux équations, regarder « vivre » les molécules et les intermédiaires réactionnels, aller de la réaction à la construction du site catalytique.

Depuis les années 60, les « écoles internationales de catalyse » se sont développées et ont permis de dresser le tableau des nombreux concepts souvent introduits par le biais du développement et des interactions entre de nombreuses disciplines.

On enseigne souvent la catalyse en présentant des matériaux à caractère métallique, acido-basique, redox..., puis en recherchant leur réactivité. Actuellement, l'enseignement de la catalyse doit conduire, par la définition d'une stratégie raisonnée, à l'élaboration du catalyseur optimal. Les défis environnementaux actuels, les grandes réactions industrielles... et même la synthèse organique, offrent de beaux exemples sur la démarche conceptuelle à suivre.

La cinétique a parfois une réputation d'aridité, mais son enseignement sera très attractif si, pour une réaction globale donnée, on présente d'abord à l'échelle moléculaire (c'est-à-dire pour une ou plusieurs séquences d'étapes élémentaires), les différentes fonctions catalytiques requises pour réaliser la réaction globale. Cet exercice fait appel aux « mécanismes » et règles de la chimie organique ou inorganique, à la chimie physique, à la chimie théorique...

Les fonctions nécessaires du catalyseur étant définies, on se retourne vers la synthèse du site catalytique, puis vers le design du matériau qui associera les fonctions nécessaires à la réaction. Le dialogue constant entre les niveaux macroscopique et moléculaire, caractéristique de la chimie moderne, est ici particulièrement systématique, ce qui confère à l'enseignement de la catalyse une valeur didactique allant au-delà de la formation spécialisée.

Quelles sont les perspectives ? Il faut continuer à développer une modélisation intelligente des séquences d'étapes élémentaires, ce qui permet à partir de quelques données expérimentales de déterminer le jeu de constantes de vitesse et les concentrations d'intermédiaires réactionnels. Il faut

montrer que cette modélisation n'est pas une « boîte noire », mais qu'elle repose sur des concepts bien définis en catalyse. Elle permet souvent de suppléer à l'expérimentation, ou de lever l'indétermination à laquelle aboutit parfois l'étude cinétique. Il faut montrer que la détermination des constantes de vitesse des étapes élémentaires – force motrice des cycles catalytiques – permet de comprendre comment on peut modifier l'architecture du site actif, tout en régulant la concentration des espèces intermédiaires, donc la vitesse de réaction.

La catalyse est donc une science pluridisciplinaire : traitant d'interfaces, elle est elle-même à l'interface de nombreuses disciplines, génie chimique, cinétique, chimie de coordination, chimie organique et organométallique, etc. Le lecteur a pu trouver dans ce numéro l'illustration de nombreuses facettes de la recherche en catalyse. Et pour ceux qui, étudiants en chimie, voudraient se spécialiser dans cette discipline, le paragraphe qui suit fait le point sur les principales formations dispensées en France.

Les DEA à « orientation catalyse »

Au niveau de l'enseignement de 3^e cycle, on retrouve la catalyse sous forme de modules plus ou moins importants dans de nombreux DEA, nouvelle preuve de son interdisciplinarité. A titre d'exemple, à l'université de Strasbourg, l'enseignement de la catalyse intervient de façon significative dans plusieurs DEA :

- le DEA de chimie-physique, option « physique des matériaux », où 15 heures sont consacrées à la catalyse,
- le DEA de « chimie analytique et chimie des matériaux » (ECPM), qui propose une option matériaux traitant du matériau catalytique à hauteur de 48 heures,
- le DEA « chimie des métaux de transition et supramoléculaire » qui consacre 24 heures à l'enseignement de la cinétique en catalyse ainsi qu'aux techniques de caractérisation des surfaces.

A l'université de Lille, la catalyse est abordée dans deux DEA. Le DEA « chimie organique et macromoléculaire » consacre 18 heures à la synthèse organo-métallique et 18 heures à la catalyse par les métaux de transition. Le DEA « structure et dynamique des systèmes réactifs » propose

30 heures de tronc commun (cinétiques homogène et hétérogène, méthodes spectroscopiques, etc.) et 5 modules optionnels (15 h chaque) ayant trait plus ou moins à la catalyse hétérogène (catalyse hétérogène, spectroscopie de surface, réactivité des solides divisés, combustion et environnement, de la solution au solide). Par ailleurs, il y a 25 heures de catalyse homogène et 25 heures de catalyse hétérogène en 2^e année à l'ENS Chimie Lille.

A Montpellier, les étudiants se voient proposer trois modules de 20 heures communs aux DEA de « matière condensée » et au DEA de « chimie moléculaire et élaboration du solide ». Trois DEA sont résolument tournés vers la catalyse et y consacrent plus de 75 % de leurs enseignements :

- le DEA de « catalyse et chimie-physique des interfaces » de l'université Claude Bernard de Lyon qui, aussi bien dans son tronc commun que dans ses options, ne propose que des modules directement liés à la catalyse,
- le DEA de « chimie appliquée » de l'université de Poitiers qui comprend, outre un tronc commun, deux options dont une traite de catalyse et environnement,
- le DEA de « cinétique chimique » de l'université Pierre et Marie Curie à Paris qui comprend un tronc commun et 3 options, dont une complètement dédiée à la catalyse et à ses applications (raffinage, dépollution, chimie).

Ces DEA comptent suivant les années de 15 à 30 étudiants. C'est donc plus d'une cinquantaine de futurs chercheurs spécialisés en catalyse qui est formée par les universités françaises, et cinq à dix étudiants de chacune de ces différentes filières poursuivent leurs études par une thèse dans un des laboratoires français spécialisés en catalyse. Une liste mise à jour de ces laboratoires est disponible sur le site Internet de la Société Française de Chimie (<http://www.sfc.fr/>, disciplines scientifiques : catalyse, annuaire des laboratoires de catalyse).

Le *tableau I* présente le placement des docteurs issus des laboratoires de catalyse des universités précitées et rattachés aux précédents DEA.

On constate que sur l'ensemble des doctorants, pratiquement la moitié se place dans l'industrie (chimie : Rhodia, Degussa... ; raffinage : TotalfinaElf, IFP, Exxon-Mobil... ; automobile : Renault, PSA ; pharmacie), et un petit tiers s'oriente vers la recherche académique à l'université ou

Tableau I - Placement des docteurs issus des laboratoires de catalyse.

(*) Recherche d'emploi, retour au pays, situation inconnue.

(**) Situation un an après la thèse.

Université	Industrie (%)	Enseignement + CNRS (%)	Post-doc (%)	Divers (%) (*)
Strasbourg	46	31	11,5	11,5
Poitiers	57	29,5	4,5	9
Lyon (**)	35,5	21,5	25	18
Paris	50	36	5,5	8,5
Moyenne	47	29,5	11,5	12

au CNRS, ou dans les universités étrangères. La plupart de ces derniers étudiants ont effectué un post-doctorat. Souhaitons que la conjoncture reste favorable, car dans le domaine de la catalyse, un pourcentage relativement faible de docteurs est en recherche d'emploi.

Cet article a été élaboré grâce aux informations fournies par MM. Bigot, Fajula, Guisnet, Kiennemann, Mortreux, que nous remercions vivement.



G. Djéga-Mariadassou

Gérald Djéga-Mariadassou

est professeur à l'Université Pierre et Marie Curie*.

Christine Travers

est professeur à l'École du Pétrole et des Moteurs de l'Institut français du Pétrole**.



C. Travers

* Laboratoire Réactivité de Surface, CNRS-UMR 7609, 4 place Jussieu, tour 54, case 178, 75230 Paris Cedex 05.

Tél. : 01 44 27 36 26. Fax : 01 44 27 60 33.

E-mail : djega@ccr.jussieu.fr

** IFP, 1 & 4 avenue de Bois Préau, 92506 Rueil-Malmaison Cedex.

E-mail : christine.travers@ifp.fr

« *Qu'est-ce que la catalyse ? C'est la synthèse par laquelle deux corps n'ayant pas spontanément l'un pour l'autre une très grande affinité consentent à s'unir lorsqu'un métal préside à leur mariage. Que certains métaux exercent cette curieuse magistrature, on le savait avant M. Sabatier. Mais on n'avait guère assisté à la cérémonie que dans le cas où l'un des époux était de l'oxygène. Puisque le nickel, par exemple, est indispensable à la combinaison de l'acétylène et de l'hydrogène, il faut supposer que le nickel commence par attirer l'hydrogène, mais que l'hydrogène capricieux rompt bientôt avec le métal pour s'unir à l'acétylène. Les yeux n'aperçoivent, sous la présidence d'un métal passif, qu'une combinaison ; l'esprit ne peut expliquer les faits que par deux mariages séparés par un divorce.* »

P. Lapie, Discours en l'honneur de P. Sabatier, Université de Toulouse, 17 sept. **1913**, cité dans B. Wojkowiak, *Paul Sabatier, un Chimiste indépendant, 1989*.

« *Un catalyseur est une substance qui augmente la vitesse d'une transformation chimique sans en modifier le rendement, et qui se retrouve intacte dans les produits finaux de la réaction, quelle que soit la quantité formée de ces produits...*

Le terme de catalyse ne sert plus à masquer une ignorance de phénomènes inaccessibles à l'investigation. Les efforts des chercheurs ont permis d'établir et de coordonner un vaste ensemble de conceptions et de résultats... sur la base duquel s'établit une véritable discipline scientifique capable de décrire les modifications d'édifices moléculaires que constituent les réactions chimiques, et de définir avec précision le rôle de chaque catalyseur dans ces évolutions... Du stylographe à l'avion, du matériau de construction au bas de soie synthétique, des carburants aux projectiles, les usines chimiques sont capables d'en fabriquer au moins en partie les matières premières. Il ne lui faut guère pour cela que des ressources énergétiques suffisantes, de l'air, de l'eau, des gisements de houille ou de pétrole, quelques minéraux.

Notre vie de chaque jour et plus encore notre pain quotidien sont donc aujourd'hui étroitement liés à cette catalyse dont les chercheurs ont fait une science, et les techniciens un outil assez puissant pour peser aux heures décisives sur le destin des hommes. »

M. Prettre, *Catalyse et Catalyseurs, 1946*.