

(1980). Ce livre propose 43 problèmes, tirés uniquement de la littérature anglo-saxonne, et recouvre pratiquement toute la cinétique actuelle, sans aborder cependant le calcul des réacteurs.

● Problèmes de cinétique chimique par J. C. Dechaux, L. Delfosse, A. Perche et J. P. Sawerysyn (1980); 48 problèmes d'origine variée sont exposés. Un chapitre d'initiation au calcul des réacteurs existe. Le niveau des problèmes est dans l'ensemble un peu supérieur à celui de l'ouvrage de Campbell.

Existence de « Cours-TD »

C'est un procédé assez peu répandu (Toulouse, Poitiers, Nancy) en raison sans doute d'une tradition de répartition hiérarchique des enseignements.

Expérience de création du problème par les étudiants eux-mêmes

Expérience originale à l'Institut du Génie Chimique de Toulouse : création du problème par les étudiants eux-mêmes. Il s'agit d'un travail fortement apprécié des étudiants, qui dure une quinzaine d'heures, et qui est structuré ainsi : par groupe de deux, les étudiants recherchent dans la littérature un ou plusieurs articles traitant d'une cinétique de réaction, les « décortiquent » et en tirent un problème avec énoncé, solution et commentaire. Le procédé paraît très séduisant. Il a malheureusement l'inconvénient de nécessiter beaucoup de temps, car 15 h représentent parfois la durée totale annuelle des TD (responsables MM. Gillot et Guiraud).

Utilisation de moyens informatiques

● A Montpellier (M. Bonnet), un travail en cours de réalisation, effectué par groupes, fait appel à l'utilisation d'un ordinateur, le point particulier étant que certains étudiants motivés élaborent eux-mêmes les programmes.

● A Strasbourg (M. Jost), les problèmes de cinétique sont traités à l'aide des moyens d'analyse numériques actuels. En relation avec l'enseignement d'informatique, certains problèmes sont résolus à l'aide d'un ordinateur (surface d'énergie potentielle, chemin réactionnel, cinétique différentielle, simulation). Des travaux analogues de simulation sont effectués à Brest (MM. Le Saint, Le Gall, Laurausan).

● Nice est le pôle où cette intervention de l'informatique est pour l'instant la plus forte (MM. Cachet et Cabrol) sous la forme de libre service en autoformation, et de mise à disposition dans une « salle de ressources ». Il s'agit des programmes PGSCC et ESSOR. Le premier sert à introduire la cinétique chimique en évitant les habituelles difficultés d'ordre mathématique, permet d'illustrer les principaux mécanismes cinétiques et de simuler l'évolution de systèmes obéissant aux principaux modèles cinétiques classiques. Il est adapté pour traiter tout système dont les lois de vitesse et la stoechiométrie sont connues. Le programme ESSOR est une expérimentation fictive et comprend plusieurs programmes destinés à favoriser la formation à la méthode expérimentale ; à la suite de tâtonnements l'étudiant choisi lui-même les conditions « expérimentales » les plus adéquates, calcule les paramètres cinétiques et cherche un mécanisme compatible avec les résultats.

● A Lille (MM. Perche et Carlier), deux expériences d'utilisation de micro-ordinateurs sont faites. D'une part, on fait découvrir aux étudiants la méthode d'intégration numérique de Euler, qu'on applique à des réactions simples ou complexes, de thermicité variable. D'autre part, il y a exploitation d'un programme permettant le traitement d'un schéma à 10 équations, l'accent étant mis sur la compréhension de la méthode statistique utilisée (méthode de Monte-Carlo) et sur l'approche de problèmes généraux tels que le principe de l'étape la plus lente, l'approximation de l'état stationnaire, etc.

Conclusion

L'existence de travaux dirigés paraît maintenant une nécessité, bien qu'en quelques endroits rarissimes existe seul un cours magistral. Ceci semble impliquer que les étudiants se « débrouillent » eux-mêmes. S'il s'agit-là, en principe, d'un procédé autoformateur et sélectif, cela entraîne *ipso facto* l'inutilité d'un enseignement. Il ne subsiste plus alors qu'un enseignement magistral et chacun sait que dans ce cas le dialogue, s'il existe, est assez difficile. L'évolution indéniable à laquelle nous assistons est la conséquence du développement croissant de l'informatique. Il paraît souhaitable de réserver une certaine part de l'enseignement à l'emploi de ces nouveaux outils. Sans aller, bien sûr, jusqu'à vouloir tout traiter de cette façon, une certaine pondération entre les méthodes « classiques » et « modernes » semble judicieuse.

L'enseignement de la cinétique dans les classes terminales C, D et E

par Alain Perche

(Maître-assistant à l'Université des Sciences et Techniques de Lille.)

Depuis la rentrée scolaire 1980, la cinétique chimique est enseignée dans les classes terminales C et figure au programme du baccalauréat. Il semble important que tout enseignant au niveau supérieur soit informé, non seulement du programme, mais du contenu réel et de l'esprit de cet enseignement.

Le programme

Celui qui figure dans tous les manuels est assez peu explicite ; tout au plus précise-t-on les titres de chapitres et de quelques paragraphes :

- vitesse de formation d'un corps,
- facteurs cinétiques : influence des molarités, influence de la température, catalyseurs : exemples et définitions de la catalyse, catalyse homogène et hétérogène,
- mécanisme : complexité des mécanismes réactionnels.

Les commentaires officiels

C'est dans les commentaires officiels(1) que sont fournis les instructions détaillées et les exemples qui vont permettre à l'enseignant d'aborder ce programme. C'est également là que sont fixées les limites des connaissances à transmettre. Bref, c'est à travers les

commentaires officiels que transparait l'esprit d'un « bon » enseignement.

Examinons à présent les diverses approches de cet enseignement à travers les livres de chimie de terminale C.

La cinétique dans les livres

La liste des ouvrages analysés figure à la fin de cet article (2). Abordons les principaux chapitres du programme :

Vitesse de formation d'un corps

Contrairement à la façon dont le problème est souvent traité dans l'enseignement supérieur, l'approche expérimentale précède la définition. Dans l'ensemble, très satisfaisante, la description du protocole expérimental est pourtant parfois incomplète (par exemple on oublie de préciser que l'on « trempe » la réaction pour permettre un dosage calorimétrique) ou au contraire semblent largement dépasser les bornes du programme (2 pages de lecture consacrées aux méthodes d'étude des réactions très rapides apparaîtraient sans doute fort instructives à de nombreux collègues même cinétiens...).

Si la définition de la vitesse de réaction est beaucoup moins élaborée que celle proposée à cette même réunion (communication

de M. Niclause), on peut apprécier la distinction entre vitesse moyenne et instantanée qui figure dans plusieurs livres.

Programme	Commentaires officiels	Remarques
Vitesse et formation d'un corps	L'approche expérimentale précèdera la définition de v	Description du processus expérimental parfois sommaire Niveau parfois trop élevé.
	Pour $X \rightarrow A$, si $V = \text{constante}$, $v = d(A)/dt$	Distinction vitesse moyenne $\Delta A/\Delta t$ et dérivée $d(A)/dt$ Souvent introduction de dN/dt avant $d(A)/dt$
	Classification en réactions rapides et lentes	Parfois classification en réactions : <ul style="list-style-type: none"> ● explosives ● rapides ● lentes ● à vitesse nulle

Le classement en réactions rapides et lentes, recommandé officiellement, nécessite le recours à une référence et il est de ce fait assez délicat. En introduisant une hiérarchie, plusieurs ouvrages vont pourtant au-delà : la distinction réaction explosive – réaction rapide est loin d'être évidente surtout lorsque la réaction explosive est définie comme une « réaction excessivement rapide ». Plus grave semble être l'introduction des « réactions à vitesse nulle », puisque rien ne se produit c'est qu'il n'y a pas de réaction...

Facteurs cinétiques

Le tableau suivant résume, d'une part, ce qui est officiellement souhaité, d'autre part, quelques remarques sur ce qui est effectivement présenté dans les livres examinés.

La règle générale des commentaires officiels est de se placer sur le seul plan qualitatif. C'est effectivement sur ce plan que se situe la présentation du cours dans les différents ouvrages. Cette restriction semble pourtant avoir gêné plusieurs auteurs puisque de nombreux exercices d'application correspondent à des recherches d'ordres de réaction, quand il ne s'agit pas d'intégrer l'équation différentielle.

Programme	Commentaires officiels	Remarques
Facteurs cinétiques Influence des molarités	En général, v augmente si l'on fait croître la molarité des espèces réagissantes	Pas de nuance restrictive dans les divers ouvrages examinés
	La définition de l'ordre d'une réaction est absolument hors programme	Si l'étude reste qualitative dans le « cours », le niveau des exercices est souvent bien supérieur
Influence de la température	Dans la majorité des cas, v augmente avec la température	Quand $T \rightarrow T + 10$, $\Rightarrow v \rightarrow 2.v$ v varie comme $10^{-A/T}$ Nombreuses ébauches d'explication : <ul style="list-style-type: none"> ● chemins réactionnels ● barrières d'énergie ● théorie des collisions

En ce qui concerne l'influence de la température, on présente trop souvent sans précaution la règle empirique qui voudrait que la vitesse double quand la température augmente de 10 degrés. Les élèves risquent donc de croire que cela est vrai quel que soit le domaine de température et quelle que soit la réaction. En revan-

che, plusieurs ébauches d'explication améliorent la compréhension du phénomène. Enfin, il nous semble que le mot concentration moins « savant » que le mot molarité aurait pu être employé.

Catalyseurs

Les exemples doivent, là encore, précéder la définition du catalyseur, « substance qui augmente la vitesse de formation d'un corps sans entrer dans le bilan de la réaction ». S'il est en général aisé de mettre en évidence l'effet accélérateur, on oublie parfois de montrer la non-participation du catalyseur au bilan. L'un des ouvrages met un accent particulièrement bienvenu sur les risques de confusion entre une réaction catalysée par un certain milieu et une réaction favorisée par le même milieu. C'est le cas, par exemple, d'un processus d'oxydo-réduction qui ne se fera qu'en milieu acide et qui ne devra pas être assimilé à une catalyse acide.

La notion d'autocatalyse est introduite dans les commentaires officiels. Cette introduction semble assez malvenue, non seulement du fait de la complexité de ce type de cinétique mais, surtout, parce que dans ce cas particulier où le catalyseur apparaît dans les produits de réaction, il intervient bien dans le bilan réactionnel et ne correspond plus, par conséquent, à la définition de la catalyse donnée plus haut...

Il semble donc que l'introduction de la notion d'autocatalyse ne soit pas souhaitable. En revanche, faire remarquer l'absence de rôle thermodynamique, l'importance de la surface du catalyseur et constater que suivant la nature du catalyseur les mêmes réactifs vont donner des produits de réaction différents, apparaît nettement plus profitable. Les deux derniers points font prendre conscience, en particulier, de la complexité d'une réaction chimique et ils débouchent naturellement sur la notion de mécanisme.

Mécanisme

Les commentaires officiels demandent de préciser que le bilan réactionnel n'est qu'une vue globale. A titre d'exemple, ils proposent la réaction $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2 HCl$ pour laquelle le mécanisme ne correspond pas à la simple rencontre de deux molécules. Pour aller plus avant, il faut introduire la notion d'acte élémentaire ce qui donne lieu à diverses définitions dont plusieurs assimilent la réaction élémentaire à une réaction simple. Peut-être serait-il préférable de ne pas tenter de fournir une définition mais de se contenter de signaler, comme on le trouve dans un des livres, que « la plupart des réactions comportent plusieurs étapes » (ou actes élémentaires).

L'exemple proposé, le plus souvent, est la réaction $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2 HCl$ qui permet de définir centre actif, initiation, propagation et rupture. Plusieurs exercices, dans différents ouvrages, fournissent des exemples variés (mécanisme de la catalyse de processus redox ou d'une électrolyse) qui permettent d'élargir la notion de centre actif. Tous les exercices proposés ne sont malheureusement pas aussi riches et on peut déplorer plusieurs inexactitudes : si l'on demande à un élève d'identifier initiation, propagation et rupture dans un schéma, il serait préférable d'éviter la présence de processus de ramification dans le mécanisme...

Enfin, le rôle des radiations sur les processus d'initiation devant également être abordé, on peut regretter que la plupart des manuels se contentent de dire que l'énergie du photon reçu doit être « suffisante » et qu'un seul explique pourquoi, lors de la réaction entre H_2 et Cl_2 c'est le chlore qui s'est dissocié et non l'hydrogène.

Conclusion

L'enseignement de la cinétique en classes terminales C apparaît comme un survol qualitatif d'une partie importante des connaissances dans ce domaine. On peut estimer que la majorité des élèves sera désormais consciente de la non-instantanéité de nombreux processus chimiques et qu'elle se souviendra de l'influence de la température sur la vitesse d'une réaction. Il semble prématuré de chercher à évaluer les autres apports mais nous aurons bientôt

la possibilité de tester la solidité des acquis auprès du contingent de nombreux bacheliers 1981.

(1) Sciences physiques, Classes des Lycées d'enseignement général et technique, horaires, objectifs, programmes, instruction; Ministère de l'Éducation.

(2) H. Bernard, A. Saison, G. Avond, H. Le Bail, Chimie, Terminales C, D, E; Éd. Nathan.

C. Moreau, B. et L. Praud, Initiation à la chimie moderne, Terminales C, D et E; Éd. Belin.

F. Blain, J. Y. Magna, F. Martin, Chimie, Terminales C, D, E; Éd. Hachette.

A. Cunnington, P. Lebrun, C. Mesnil, R. Vogel, Chimie, Terminales C, D, E; Éd. Hatier.

R. Didier, R. Vento, Chimie, Terminales C, D, E; Éd. Armand Colin.

Résultats de l'enquête sur l'enseignement de la cinétique chimique

par Michel Lucquin

(Professeur à l'Université des Sciences et Techniques de Lille.)

Un questionnaire a été diffusé dans les Universités et la plupart des Écoles. Les réponses à ce questionnaire sont suffisamment nombreuses pour que l'ensemble des résultats que nous présentons soit significatif. Malheureusement, nous avons observé une très grande hétérogénéité dans ces réponses, notamment en ce qui concerne les programmes. Ceci nous limite évidemment dans nos interprétations. Nous allons présenter les résultats surtout sous forme de tableaux, comme cela a été fait au Colloque, et nous ajouterons quelques commentaires.

Les enseignements concernés sont : la Licence et la Maîtrise de chimie, la Licence et la Maîtrise de chimie physique, l'enseignement de la cinétique dans les Écoles de chimie.

Liste des établissements ayant répondu au questionnaire :

- Universités : Bordeaux, Brest, Bruxelles, Clermont-Ferrand, Dijon, Lille, Louvain-la-Neuve, Marseille, Montpellier, Nancy, Nice, Orléans, Orsay, Paris VI, Paris VII, Poitiers, Strasbourg, Toulouse.
- Écoles : Bordeaux, Lille, Lyon, Montpellier, Nancy, Paris E.N.S.C.P., Strasbourg.

Chaque colonne correspond à un des rapports durée du cours/durée des TD. Le rapport le plus fréquent est égal à un (souligné dans le tableau). Ce rapport paraît raisonnable. En Licence de chimie on observe deux rapports limite 4 et 1/3. Dans un cas il y a très peu de TD et dans l'autre il y en a une très grande quantité par rapport au cours.

3. Importance des travaux pratiques

Tableau 3. Heures totales.

Licence de chimie	10 à 25
Maîtrise de chimie	15 à 34
Licence de chimie physique	8 à 32
Maîtrise de chimie physique	12 à 40
Écoles	10 à 20 et 66

En indiquant le nombre total d'heures, nous pouvons ainsi ne pas tenir compte du nombre de séances et de la durée de ces séances. On observe, là aussi, une grande variété de réponses. Le nombre 34 pour la Maîtrise de chimie comprend 18 h passées dans un laboratoire de recherche. Les 66 heures dans une École sont réparties sur les trois années et quelques séances sont « intégrées dans la chimie préparative ».

4. Programmes des cours

Tableau 4. % d'existence des chapitres

Mesure des vitesses ..	75 %	Réactions hétérogènes	50 %
Cinétique formelle ...	75 %	Catalyse hétérogène ..	100 %
Réactions élémentaires	100 %	Catalyse homogène ..	75 %
Réactions complexes .	100 %	Photochimie	50 %
Réactions en solution	50 %	Chimie appliquée et calcul des réacteurs ..	20 %

1. Durée du cours

Tableau 1. Durée du cours en heures annuelles.

Licence de chimie	0	1/3	1/2	<u>1</u>	1 1/2	2
Maîtrise de chimie				<u>1</u>	1 1/2	2
Licence de chimie physique			3/4	<u>1</u>	1 1/2	
Maîtrise de chimie physique		1/2	3/4			2
Écoles de chimie		1/2	3/4	<u>1</u>	1 1/2	2

Chaque colonne correspond à une possibilité de durée que nous avons relevée un certain nombre de fois. La durée la plus fréquente est une heure annuelle (soulignée dans le tableau). Les deux heures d'une École de chimie sont réparties sur deux années : première année cinétique fondamentale, deuxième année cinétique appliquée. Cette manière de faire semble particulièrement intéressante. Notons que l'enseignement dans les maîtrises est, soit un enseignement de base (rien en Licence), soit un enseignement complémentaire.

2. Importance des travaux dirigés par rapport au cours

Tableau 2. Rapport durée du cours/durée des TD.

Licence de chimie	4	2	<u>1</u>		1/3 (12 et 36)
Maîtrise de chimie		2	<u>1</u>		
Maîtrise de chimie physique		2	<u>1</u>	2/3	
Écoles		2	<u>1</u>		

L'importance des différents chapitres est très variable d'un cours à un autre et il nous est difficile d'en juger. Notons un chapitre extrêmement « élastique » : celui des réactions complexes qui concerne l'essentiel des relations entre la cinétique et les mécanismes. Les cours approfondis reprennent certains chapitres des cours de base en les développant. Exemple : les réactions élémentaires.

Sur le tableau 4, nous avons représenté le pourcentage d'existence des chapitres dans les programmes qui nous ont été envoyés. La photochimie, les réactions en solution et les réactions hétérogènes sont souvent passées sous silence, probablement faute de temps. Certains enseignants préfèrent s'en tenir à la cinétique homogène, quitte à s'occuper de la cinétique hétérogène dans un enseignement complémentaire. Les réactions en chaînes font partie du chapitre des réactions complexes.