

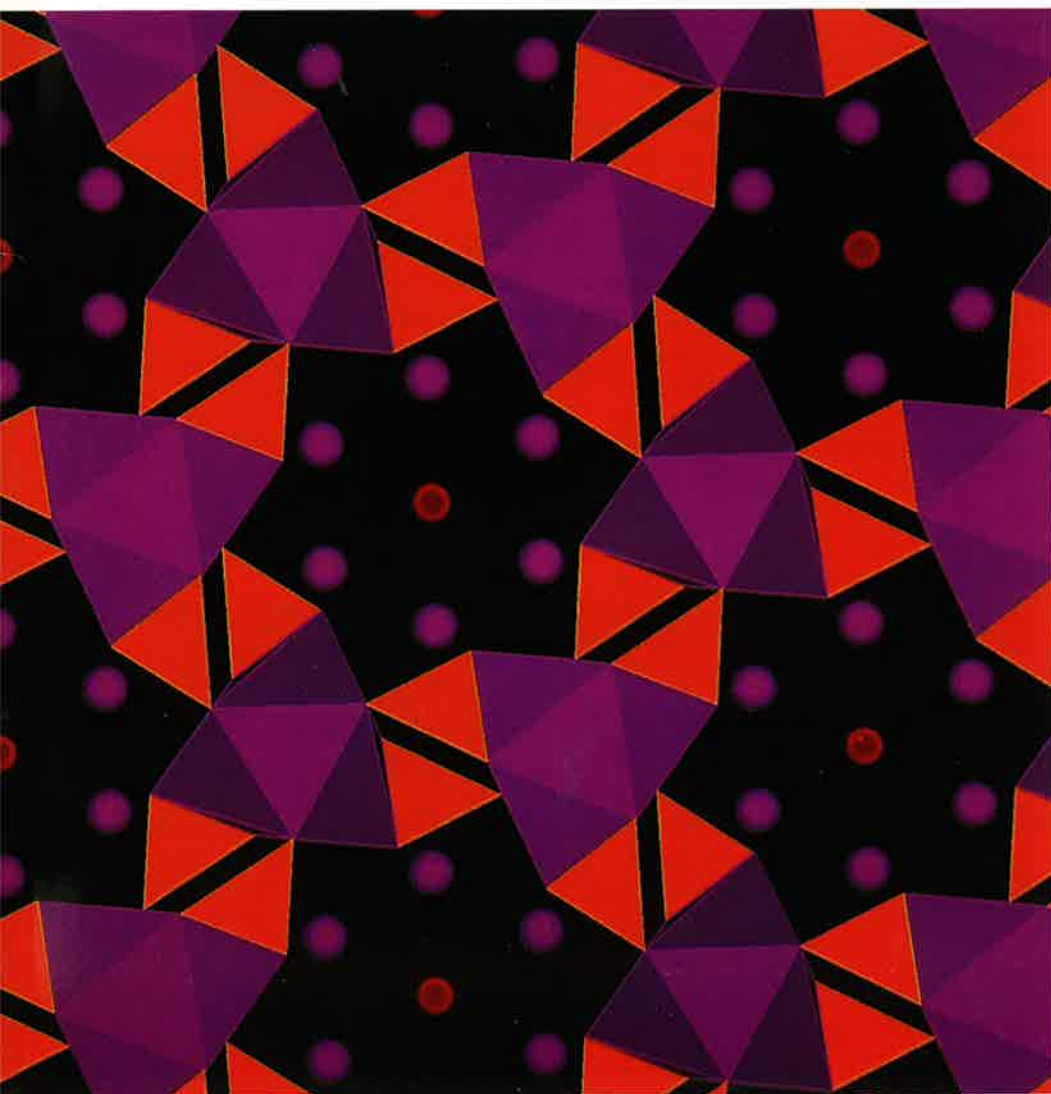
l'actualité chimique

enseignement - industrie - recherche

**Janvier
Février
1996**

N°1

ISSN 01519093



- **Valorisation de la recherche publique**
- **Epreuves sélectionnées des Olympiades (III)**
- **Internet : le serveur S.F.C.**

DUNOD



S O M M A I R E

É D I T O R I A L	■ Enseignement. Industrie. Recherche, par G. Montel	3
R E C H E R C H E	■ La recherche française doit être au rendez-vous du troisième millénaire, par J. Jousot-Dubien	5
	■ La recherche publique : sa rentabilité	8
	- La valorisation : une volonté de la recherche publique, par G. Montel	9
	- Comment améliorer la rentabilité de la recherche publique. Réunion du club des Directeurs scientifiques de la SCI. Paris, 20 novembre 1995, Compte rendu de Miren Helou	13
	- Sur une expérience de transfert industriel dans le domaine des biomatériaux à usage orthopédique, par G. Bonel	16
	- Au carrefour de la recherche, de l'innovation et de la production. Sitef 95, le 8e Salon international des technologies du futur, Toulouse, 24-28 octobre 1995	23
	- Vingt ans du SPI (département des Sciences pour l'ingénieur du CNRS) et l'émergence du génie des procédés, par V. Sanchez, H. Brunet, Y. Segui	26
I N D U S T R I E	■ Les grandes installations chimiques. Évolution progressive ou sauts technologiques ? par J.-P. Euzen, P. Trambouze	33
	■ Une silice de nouvelle génération pour pneumatiques, par Y. Bomal, P. Cochet, B. Dejean, P. Fourré, D. Labarre	42
E N S E I G N E M E N T	■ Épreuves sélectionnées des Olympiades nationales de la chimie. Chapitre 3 : Environnement : l'eau, l'air et leurs constituants.	49
	■ La sécurité dans les laboratoires : adéquation des personnels aux risques. Demi-Journée d'étude organisée par <i>L'Actualité Chimique</i> dans le cadre du Salon Pollutec, compte rendu de M. David et R. Hamelin	58
L A S F C E T I N T E R N E T	■ Internet. Pratiques d'accès, par R. Levet, Th. Ortega	61
H I S T O I R E D E L A C H I M I E	■ Il y a cent ans	65
E N B R E F	■	67
L I V R E S	■	71
S F C I N F O		I - VIII
	■ Activités de la SFC ■ Nouvelles d'ailleurs	



Représentation schématique de la structure des apatites, matière de base de nombreux biomatériaux fabriqués chez Bioland (cf. l'article de G. Bonel, p. 16-22).

Index des annonceurs

Dunod	II ^e couv.
Masson	III ^e couv.
Pollutec	IV ^e couv.
Université de Lausanne	p. 8
CNRS formation	p. 25
JCR	p. 32
Centre scientifique d'Orsay	p. 60
Erratum	encart libre

Rédaction

Rédacteur en chef
Gérard Montel

Rédacteur en chef adjoint
Thérèse Chaudron

Rédacteur
Miren Helou

Secrétaire de rédaction, coordination, réalisation, mise en page
Evelyne Girard

Comité de rédaction

G. Bram (GHDSO, Orsay)
J. Buendia (Roussel Uclaf)
P. Caro (Cité des Sciences)
M. Carréga (div. Matér. polym.)
A. Chauvel (IFP)
J.-C. Depezay (com. inter. Ens.)
J.-B. Donnet (SIM et ancien président de la SFC)
D. Duprez (div. Catalyse)
J.-P. Foulon (UDP)
J.-P. Guetté (CNAM)
B. Jacquet (SFC)
C. Jeanmart (SFC)
J.-M. Lefour (Polytechnique)
J.-C. Mendelsohn (Elf Atochem)
P. Millié (div. Chimie physique)
Th. Ortega (clubs de jeunes)
R. Ouliac (Rhône-Poulenc)
G. Ourisson (ULP, Strasbourg)
M. Pereyre (div. Chim. orga.)
A. Picot (Prévention des risques chimiques, Gif-sur-Yvette)
M. Quarton (div. Chim. solide)
E. Samuel (div. Chim. coord.)

Publication analysée ou indexée par
Chemical abstracts
la base de données PASCAL.

Édition

DUNOD Gauthier-Villars
SPES - Service des Périodiques
5, rue Laromiguière
75005 Paris
Tél. : 40 46 62 23
Fax : 40 46 62 21

Coordination éditoriale et fabrication
J.-F. Timmel

Maquette
Andreas Streiff

Imprimerie
AGP - 28240 La Loupe

ISSN 0151 9093
Commission paritaire en cours

Publicité
Groupe Media Communication
23bis bd de la Varenne
94100 St Maur-des-Fossés
Tél. : (33-1) 41.81.01.12
Fax : (33-1) 41.81.01.50

Abonnements
SPES
BP 22
41354 Vineuil Cedex
Tél. : (33-1) 54 50 46 12
Fax : (33-1) 54 50 46 11

Prix de vente au numéro : 200 FF

La revue *Actualité Chimique* est une publication de Gauthier-Villars, société anonyme, constituée pour 99 ans au capital de 3 089 600 F. Siège social, 17 rue Rémy-Dumoncel, 75014 Paris. P.D.G.: J. Lissarrague. Actionnaire : Bordas S.A. (99,8 % des parts). **Direction de la publication** : J. Lissarrague.



L'Actualité Chimique

Revue de la Société Française de Chimie

250, rue St Jacques, 75005 Paris,
Tel. : (33-1) 43 25 20 78,
Fax : (33-1) 43 25 87 63,

éditée par Dunod.

Tarifs

L'Actualité Chimique
(6 numéros par an)
1996

Particuliers/Institutions

France 1050 FF
Export 1260 FF

Etudiants*

France 400 FF
Export 630 FF

* Sur présentation de la carte d'étudiant

Membres de la SFC

Tarif préférentiel
pour tous renseignements
contacter la SFC

© DUNOD, 1996

Tous droits réservés
Dépôt légal : janvier 1996

Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants droit, ou ayants cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal. La loi du 11 mars 1957 n'autorise, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, que les copies et les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective d'une part, et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration.

Lors de sa dernière réunion de janvier 1996, le comité de rédaction de *L'Actualité Chimique*, qui comprend maintenant, outre ses anciens membres, notamment industriels, un représentant de chaque division de la SFC, a adopté ce sous-titre en confirmant ainsi la vocation de notre périodique récemment évoquée.

Ce sous-titre n'introduit aucune hiérarchie dans nos préoccupations : les trois activités sont classées dans l'ordre alphabétique.

Il souligne, par contre, le "recentrage" annoncé de *L'Actualité Chimique* qui vise à devenir, de plus en plus, un outil de travail apportant des informations immédiatement utilisables, et un moyen d'échanges entre les trois partenaires désignés dans le sous-titre.

Cet outil de travail s'articule, dès maintenant, avec un serveur Internet que la

SFC lance actuellement à l'initiative de sa commission interdivisions Enseignement : les modalités pratiques d'accès à ce serveur, la description des rubriques qui y seront progressivement mises en service se trouvent dans ce numéro de *L'Actualité Chimique* et dans le numéro de *SFC Info* qui lui est associé. Bien entendu, les rubriques les plus utiles ne seront accessibles, à très court terme, qu'aux membres de la Société, après une phase destinée à les faire connaître au plus grand nombre possible d'utilisateurs potentiels.

Ce numéro de *L'Actualité Chimique* est consacré, en grande partie, à un problème qui préoccupe depuis longtemps les chercheurs des universités et des grands organismes de recherche : il s'agit de la rentabilité à court terme de la recherche publique, son rôle déterminant dans l'évolution à moyen et long terme des pays industrialisés étant très généralement reconnu.

Le développement industriel de produits ou de procédés découverts hors des recherches poursuivies dans le cadre de contrats avec des partenaires industriels, leur exploitation se heurtent, en France, à de multiples obstacles. Cette situation handicape notre pays dans les domaines qui deviendront si importants de l'innovation, de la création et du développement de PME innovantes et, par conséquent, de la création d'emplois et de la prospérité économique.

Les pouvoirs publics s'y intéressent, comme en témoigne le texte de Jacques Jousot-Dubien, vice-président du Conseil Supérieur de la Recherche et de la Technologie, reproduit dans ce numéro.

Mais l'industrie chimique en fait également un thème important de réflexion, en se rapprochant pour cela de représentants de la recherche publique et, par conséquent, de notre Société : la Société de Chimie Industrielle a consacré une réunion de son club des Directeurs scientifiques à ce sujet, réunion

Enseignement. Industrie. Recherche

programmée en commun, dont nous rendons compte dans ce numéro. L'Union des Industries Chimiques organise également, dans le courant de ce mois de février, un carrefour intitulé "Recherche et stratégie d'entreprise", dont nous avons informé, par Internet, nos présidents de divisions et de sections régionales. Enfin, un projet plus ambitieux de rencontre, s'appuyant sur le très intéressant rapport de l'UIC "Science et technologie pour l'industrie chimique", est en cours d'élaboration avec la participation conjointe de cette Union, de notre Société et de la Société de Chimie Industrielle. Le Sitef, qui s'est tenu à Toulouse cet automne, et que nous évoquons dans ce numéro, s'inscrit dans la même démarche. Comme on le voit, la communauté des chimistes se rassemble progressivement autour de sujets fondamentaux d'intérêt commun. L'attention soutenue que porte l'industrie chimique à l'enseignement de la chimie constitue aussi un thème de rapprochement, qui est traité notamment dans la Commission EIP (Enseignement-Industrie-Partenariat) à laquelle la SFC est étroitement associée. Cette démarche prend d'ailleurs une dimension européenne, puisque la Commission EIP (voir *SFC Info*, p. VI) travaille en liaison avec des commissions identiques créées dans de nombreux autres pays d'Europe au sein du Cefic (Conseil Européen des Industries Chimiques). Il est donc aujourd'hui essentiel, pour que notre pays conserve toute sa place dans ce monde nouveau, que tous les chimistes, relevant de l'enseignement, de l'industrie ou de la recherche, répondent à l'appel "pour travailler ensemble" que lance le Président Julia dans le numéro de janvier-février 1996 de *SFC Info*.

G. Montel

Rédacteur en chef

Nous présentons à nos lecteurs toutes nos excuses pour la publication tardive de ce numéro de *L'Actualité Chimique - SFC Info*.

La cause en est essentiellement les mouvements sociaux de décembre 1995.

Nous faisons tout notre possible pour que ce retard soit comblé dès le prochain numéro.

La recherche française doit être au rendez-vous du troisième millénaire

Jacques Jousset-Dubien* *vice-président du Conseil Supérieur de la Recherche et de la Technologie*

The French policy for research must meet with the third millenary

This paper is the Foreword to the 1995 Annual Report of the Conseil Supérieur de la Recherche et de la Technologie, written by its vice-président who is professor of chemistry at the university of Bordeaux.

This council, chaired by the Minister of Education and Research, discusses the issues that concern research and technological development and makes recommendations to Parliament.

The paper introduces a reflexion on the new attitudes that scientists must adopt to take into consideration the increasing public concern about scientific achievements. It praises the merit of research, basic and applied, to keep the living standards of our Western countries and warns against those who advocate decreasing the financial support of research ignoring the rising efficiency in technologies of Eastern Asian countries. The role of supertechnologies in future developments is emphasized.

Rôle social du chercheur, politique scientifique nationale, développement de l'information.

Social part of research worker, national scientific policy, information development.

Alors que le monde entier guette les signes avant-coureurs d'une reprise de la croissance, croit les voir ici ou là, celle-ci laisse perplexes ceux qui n'en perçoivent pas de manière significative et immédiate les effets qui les intéressent au premier chef : l'emploi. On comprend mal que les belles performances industrielles françaises de ces dernières années n'entraînent pas une résorption plus rapide du chômage que les effets observés à ce jour. Notre héritage socio-culturel ou notre système politico-administratif freinent-ils notre

adaptation au monde moderne, en particulier à l'émergence et au succès de ces nouvelles entreprises dites de technologie qui participent activement au développement de l'économie et de l'emploi chez nos voisins et aux États-Unis¹.

Au plan social, les retombées de la croissance, durant les années de l'après-guerre, ont été incontestablement bénéfiques. Même si certains en ont profité plus que d'autres, tous en ont recueilli une part. Alors, que signifie cette pause, notamment en France, qui laisse sur le bord du chemin tant de nos compatriotes et donne du vague à l'âme à notre jeunesse ? Est-ce une étape normale de cycles économiques prévisibles ou sommes-nous à la veille d'une réorientation majeure de l'évolution de nos sociétés, notamment en ce qui concerne l'emploi ? Dans ce contexte incertain, mais riche de possibilités, nous devons réfléchir au rôle de la science et de la technologie pour accompagner et

participer à ces changements qui modifient les rapports humains dans ses relations, en particulier avec le monde du travail.

Il ressort, alors, que la communauté des chercheurs serait avisée, selon nous, de se doter d'une nouvelle vision d'avenir au sein de structures résolument flexibles et ouvertes à des collaborations étendues, sans nostalgie d'un passé qui, certes, durant plus de quarante ans, lui a été profitable. Elle doit être consciente que les certitudes d'hier, quelquefois remises en question ou déformées par une information incomplète, voire une « désinformation »², sont désormais des sources de désarroi dans nos sociétés occidentales. C'est une démarche difficile, car le chercheur qui, par nature et par profession, est attentif à tout ce qui est nouveau, a tendance à réagir quelquefois de manière conservatrice dès qu'il s'agit de revoir les structures qui le concernent.

Dans cette nouvelle vision du chercheur, doit apparaître clairement son appartenance à une communauté scientifique, certes internationale, mais aussi

* Conseil Supérieur de la Recherche et de la Technologie, 1, rue Descartes, 75231 Paris Cedex 05.

Le rapport complet est disponible au ministère de l'Éducation nationale de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, secrétariat d'État à la Recherche, bureau du CSRT (adresse ci-dessus). Tél. : (1) 46.34.35.35.

européenne qui se superpose à son ancrage national et ne nuit en rien à ses attaches régionales. En outre, le chercheur, aujourd'hui, doit être pleinement conscient des problèmes sociétaux et des prolongements éthiques de ses travaux. Il doit être ouvert aux développements et aux stratégies industriels, non pour se placer sur le terrain propre de l'entreprise, mais pour être averti des grands défis scientifiques relevant de la recherche fondamentale qui sont en même temps des verrous pour des innovations industrielles porteuses d'enjeux économiques et d'emploi.

Il est à noter que les fondements sur lesquels repose le rôle de la science et de la technologie, dans notre pays, ne semblent pas remis en cause : approfondir notre connaissance du monde, promouvoir les activités industrielles de toutes natures, sans oublier celles associées à la défense, développer les technologies agro-alimentaires, améliorer la santé publique, contribuer à la qualité de vie de chacun... Ce qui est en train de changer, c'est le poids respectif de ces activités dans le contrat légal ou moral qui lie les instances gouvernementales, le monde industriel et économique en général et la société civile avec les chercheurs. Aujourd'hui, l'exercice de ces activités est profondément modifié. D'une part, la progression dans les connaissances réclame des équipements scientifiques³ de plus en plus complexes bénéficiant de technologies avancées de plus en plus coûteuses. Ainsi, la programmation de ce qu'il est convenu d'appeler la «science lourde», par exemple les grands observatoires au sol comme celui qui est en cours d'installation au Chili, nécessite une concertation avisée entre les scientifiques qui proposent et les dirigeants politiques qui ont les prérogatives des choix stratégiques et des priorités à dégager. D'autre part, il faut savoir quelle place accorder à un ensemble d'activités scientifiques ayant pour base la biologie mais qui font appel à de nombreuses disciplines, la chimie en particulier, qui opèrent des percées spectaculaires dont on ne prévoit aucun ralentissement à l'horizon mais dont on perçoit déjà qu'elles auront d'énormes retentissements dans nos vies.

Regard vers l'extérieur

Les politiques des pays occidentaux ont pratiquement toutes pour objectif de valoriser la recherche de base et le développement technologique. Mais, dans une période de restriction budgétaire et de nécessité d'arbitrages, la tentation est grande de recentrer les efforts en matière de recherche. Doit-on aller vers plus de recherches fondamentales ou vers plus de valorisation et de transfert vers le monde socio-économique ? Doit-on optimiser les deux et afficher des priorités thématiques ?

Aux États-Unis, la nouvelle majorité au Congrès s'oriente, à contre-pied des affirmations précédentes, vers une plus grande attention à la recherche fondamentale de haut niveau, celle qui ouvre de nouveaux horizons. C'est celle-là que doivent financer les fonds publics. Il faut «la protéger» car elle est la base de l'essor économique qui, lui, est du ressort des professionnels, donc des entreprises, petites ou grandes, qui constituent le tissu industriel d'un pays. Selon ce point de vue, l'État ne doit pas être le pourvoyeur de la recherche industrielle ni s'immiscer, par exemple, dans les problèmes environnementaux dont on ne connaît pas vraiment l'impact réel.

Par contre, en Grande-Bretagne, à la suite d'une enquête très largement ouverte auprès de plus de dix mille personnes couvrant quinze secteurs de l'industrie britannique, le gouvernement prévoit de mettre en place un programme ambitieux d'aménagement de la science et de la technologie en vue d'accroître la compétitivité de l'industrie et du monde des affaires⁴. Ainsi, vingt-sept priorités de base dans les domaines des sciences et de la technologie seraient retenues «pour être développées par les communautés scientifiques et industrielles, en partenariat». Le projet britannique a également des visées sur les programmes de recherches européennes.

On note, enfin, que l'orientation de la Commission européenne est plus tournée que par le passé vers la bonne interaction recherche fondamentale-industrie.

Notre réflexion sur l'avenir des développements scientifiques et techniques en France doit évidemment tenir compte de la politique de soutien à la recherche industrielle de l'Union européenne⁵ mais aussi de l'évolution de la situation géopolitique mondiale et, en particulier, être

attentive aux déplacements «géotechnologiques» vers l'Extrême-Orient qui semblent fragiliser, voire menacer, l'économie occidentale et, par voie de conséquence, l'emploi.

Dans ce regard vers l'extérieur, on doit évaluer les effets de la nouvelle révolution culturelle chinoise qui aura des prolongements économiques autrement plus redoutables pour l'Occident que la précédente. Mesure-t-on toutes les implications de la croissance économique spectaculaire de ce pays qui a atteint le rythme inimaginable de sept à dix pour cent durant les quatorze dernières années et qui devrait se maintenir jusqu'à la fin du siècle ? C'est un record toutes catégories qui bat celui détenu précédemment par le Japon. Ce dernier, déjà pris de court dans certains domaines par l'étonnante réussite de la Corée du Sud, a des raisons d'être méfiant à l'égard d'un voisin dont la population est dix fois supérieure à la sienne et qui accède aussi rapidement à une économie de type industriel avancé : la majorité des exportations chinoises sont des produits manufacturés. Devant cette montée en puissance de la Chine et des pays de l'Asie de l'Est, la France ne peut maintenir le niveau de vie de sa population qu'en misant sur l'habileté, en permanence renouvelée, de ses cadres, de ses chercheurs, de ses ingénieurs et de ses techniciens supérieurs.

Les technologies de l'information

Un autre point à prendre en compte dans une réflexion sur l'avenir de la science et de la technologie concerne l'explosion dans le domaine de la création, de la diffusion et de la réception de l'information. Le réseau Internet, dont personne ne sait vraiment à qui il appartient, est probablement l'une des seules choses qui croît plus vite que l'économie chinoise. Il couvre déjà 150 pays et la société Internet prévoit plus de trois cent millions d'utilisateurs, mondialement répartis, pour l'an 2000. Quelle sera la place des chercheurs, des ingénieurs et, d'une façon générale, de tous ceux qui, en France, vivront de l'économie de l'information ?

La puissance quasi magique, et apparemment sans limite de l'électronique qui exploite à merveille le langage binaire (0

et 1), apparaît sous des formes les plus variées. Elle révolutionne, notamment, la manière dont l'information est véhiculée et est reçue, mais aussi la façon dont elle est générée, utilisée, mémorisée, présentée, publiée, analysée, arrangée, protégée, classée, récupérée. Étant en première ligne dans la production, la réception et l'interprétation d'informations nouvelles, les scientifiques seront des partenaires de poids dans la mise en œuvre, la lecture et l'exploitation à l'usage des industriels, de ces nouveaux outils qui semblent sortir de romans de science fiction.

On notera que cet âge de l'ingénierie informatique va dans le sens de plus de décentralisation, de plus de liberté individuelle et, peut-être, de plus de participation active des individus à la vie publique. Ne parle-t-on pas de techno-utopie, voire d'agora électronique susceptible d'ouvrir de nouveaux champs d'expériences référendaires et redonner le goût du politique à nos concitoyens ? Il y a là un message important à méditer à tous les niveaux de nos structures sociales et politiques car il faudra mesurer, à l'avenir, le poids de l'opinion publique, non seulement française mais aussi internationale. Toute opération technique d'envergure devra être expliquée pour éviter des mésaventures comme celle du projet d'immersion du réservoir de stockage Brent-Spar, par la société Shell.

Une politique scientifique pour notre pays

Dans un monde où les ressources naturelles jouent un rôle minoré par rapport aux produits manufacturés et aux biens immatériels qui circulent librement d'un point à l'autre de notre planète, la production, à la base, de connaissances scientifiques devient un atout majeur de progrès et de compétitivité. Cette connaissance se développe à travers les métiers de la recherche et doit avoir, comme corollaire, une vision claire de ses implications socio-économiques et un dialogue de nature stratégique entre la recherche fondamentale et le monde industriel. La créativité et l'innovation technologique doivent être encouragées⁶. Toutes les entreprises, notamment celles qui se nourrissent de haute technologie, de l'électronique au

développement de nouveaux médicaments, savent ce qu'elles doivent à la recherche fondamentale innovante, à l'esprit d'initiative et à la découverte. Ces constats militent, non seulement pour le maintien de la recherche de base de qualité et le renforcement de la compétitivité scientifique de notre pays, mais aussi pour une véritable alliance entre les chercheurs du secteur public et ceux du monde industriel lorsque l'opportunité se présente ou la nécessité l'exige. Notre effort national en matière de recherche et de transfert rapide vers les applications doit être accru, rendu plus efficace et mieux déployé, notamment en faveur des PME et PMI. Ce sont les recommandations les plus vives et les plus insistantes de notre Conseil. Or, que constate-t-on ? Selon les statistiques publiées récemment par l'OCDE, il apparaît, que non seulement les crédits alloués à la recherche n'augmentent plus depuis la fin des années quatre-vingts, mais diminuent à partir de 1990 dans pratiquement tous les pays industrialisés, dont la France.

Les «supertecnologies» et la formation

Un autre facteur significatif dans l'évolution des sciences et des technologies concerne l'exploitation conjointe de plusieurs technologies de base associées à un ensemble de disciplines traditionnelles qui convergent pour constituer des supertecnologies. Un exemple est donné par le problème que pose la traduction automatique d'un langage en d'autres langages qui rapproche les sciences conventionnelles de celles qui s'occupent de la grammaire, de la linguistique, des sciences cognitives... La mise en œuvre de ces supertecnologies exige des compétences multiples. Elle pose le problème de la formation dans les domaines interdisciplinaires et celui de la formation permanente. Doit-on remettre en cause les structures des enseignements universitaires, des grandes écoles et, d'une manière générale, tout l'enseignement post-baccalauréat ?

Ces dernières années ont vu un effort considérable en faveur de la formation par la recherche⁷. Cet effort, qui a peut-être été mené trop rapidement pour en assurer le plein succès, doit être, cependant, poursuivi dans plusieurs directions : – renforcement de coopérations indus-

trie-université-écoles d'ingénieurs-IUT et BTS ;

- encouragement à la création de sociétés filiales dans les universités ou de centres de ressources technologiques ainsi qu'une plus grande attention aux activités des parcs technologiques, ou technopoles⁸ afin d'assurer une bonne interface entre recherche publique et milieux économiques, en particulier les PME ;
- reconnaissance de la nécessité de mobilité des chercheurs, en particulier la remise à l'honneur et en vigueur de l'exigence de stages en entreprise pour concourir à des postes de professeur des universités.

Notre pays ayant décidé⁹ de créer de nouvelles universités, dites thématiques, c'est peut-être l'occasion de revoir notre enseignement universitaire de manière à promouvoir la créativité, l'esprit d'observation et une meilleure intégration dans le milieu socio-économique français, voire européen.

Notes

1 - Cf. chapitre 8 du rapport du CSRT : les PME de technologie.

2 - Cf. le chapitre 7 : Information scientifique et désinformation.

3 - Cf. le chapitre 4 : Les grands équipements scientifiques.

4 - Programme intitulé «Technology Foresight» issu des recommandations du livre blanc «White Paper on Science, Engineering and Technology - Realising our Potential», mai 1993. La diffusion des résultats, secteur par secteur, sera coordonnée par l'Office of Science and Technology (OST).

5 - Cf. chapitre 5 : Le soutien à la recherche industrielle de l'Union européenne.

6 - Cf. Les 100 technologies clés pour l'industrie française à l'horizon 2000», juillet 1995, ministère de l'Industrie (DGSI). Il s'agit d'une «étude des technologies dont les enjeux (leur impact sur l'économie ou sur la société) sont aujourd'hui discernables et pour lesquels l'action des industriels ou des pouvoirs publics devrait donner des résultats à court ou moyen terme». J.-J. Duby, président du Comité de pilotage.

7 - Cf. chapitre 9 : Formations doctorales et devenir des docteurs.

8 - En annexe du rapport du CSRT : compte rendu de la mission «technopoles» du CSRT en Grande Bretagne, 13-15 sept. 1995.

9 - Prévues à l'art. 12 de la loi n°95-115 du 4 fév. 1995 pour l'aménagement et le développement du territoire ; seront ainsi créées, avant la fin de 1996, deux universités, conformément aux dispositions de l'Art. 1 de la loi n°94-639 du 25 juillet 1994.

La recherche publique : sa rentabilité

Depuis de nombreuses années, les responsables de laboratoires de recherche publique, les présidents d'université et les directeurs d'école d'ingénieurs, les responsables des organismes de recherche scientifique publique, la Direction de la recherche du ministère de l'Éducation nationale et, depuis quelques années, l'industrie chimique sont préoccupés par l'insuffisante exploitation par l'industrie française des résultats valorisables de la recherche publique.

Il ne s'agit pas, bien entendu, des travaux entrepris par les laboratoires publics, à la demande de l'industrie, et à la faveur de contrats de recherche : dans ce sens, la collaboration fonctionne bien depuis plusieurs décennies. Il s'agit, par contre, de l'utilisation, par l'industrie (grandes entreprises, PME), des résultats de la recherche publique, fruits le plus souvent de la démarche fondamentale, qui débouchent plus aisément, dans l'état actuel des choses, à l'étranger qu'en France.

Les articles qui suivent s'inscrivent, sous des formes variées, dans le cadre de cette préoccupation.

Université de Lausanne

Faculté des sciences

Poste de maître assistant

L'institut de chimie organique de l'Université de Lausanne cherche à repourvoir un poste de maître assistant vacant dès le 1er septembre 1996. L'engagement est prévu pour une période minimale de deux ans et peut être prolongé à six ans au maximum.

Le maître assistant secondé par des assistants, assume la responsabilité des travaux de laboratoire et d'autres enseignements pratiques. Il participe aux examens et assure un certain nombre de tâches administratives ou techniques. De plus, il aura l'occasion de développer des activités de recherche personnelle, ceci dans le cadre d'un groupe de recherche de l'Institut de chimie organique ou de façon indépendante.

Tout candidat, étant en possession d'un doctorat en chimie et ayant effectué un postdoctorat, est invité à envoyer son dossier (diplômes et photo compris) jusqu'au 30 avril 1996 au **Prof. Manfred Mutter, Institut de chimie organique de l'Université, BCH, CH-1015 Lausanne-Dorigny, Switzerland.**

La valorisation : une volonté de la recherche publique

Gérard Montel

The industrial achievement : a public research will

In this paper, the author underlines the French difficulties met when industrial achievement of fundamental research results is wanted. He gives some cultural and structural origins of this situation, and recalls some actions of the French government to reduce these difficulties.

Recherche publique, valorisation.

Fundamental research, industrial achievement.

La recherche fondamentale, consacrée à l'acquisition de nouvelles connaissances, constitue une part importante et obligatoire de la recherche publique. Elle est, en général, non rentable à court terme, mais elle permet d'accumuler les données qui seront indispensables, à moyen ou long terme, aux progrès de la technologie, de l'économie et de la civilisation.

Toutefois, comme le soulignait le rapport annuel de septembre 1994 du Conseil Supérieur de la Recherche et de la Technologie (CSRT) sur l'Évaluation de la politique nationale de recherche et de développement technologique, «*la recherche, sous certains de ses aspects, semble, en cette fin de siècle, à la croisée des chemins*».

Une question et une affirmation s'en dégagent :

- *La part consacrée à la recherche fondamentale, libre de toute contrainte, à l'exception de la qualité, doit-elle progresser au même rythme que précédemment ?*
- *La recherche finalisée doit montrer qu'elle garde un certain caractère fondamental comme c'est le cas dans le*

domaine biomédical, technique ou de développement, ou qu'elle est appliquée à l'essor économique, à la santé des populations, à la sécurité nationale ou à la protection de l'environnement.

Il est remarquable que, dans ce contexte, la recherche publique française, notamment en chimie, se préoccupe de plus en plus de la valorisation de ses résultats. Le ministère de l'Éducation nationale a fortement soutenu et financé cette tendance (voir *annexe et encadrés*).

Or, si des progrès très importants ont été accomplis, à ce sujet, pendant ces 30 dernières années, à la faveur des contrats passés entre l'industrie chimique et les laboratoires de recherche publique (en faisant parfois courir des risques à la recherche «fondamentale»), il existe de plus en plus d'exemples de résultats valorisables (souvent brevetés) obtenus hors de tout contrat industriel, qui restent inexploités, ou mal exploités en France, alors qu'ils débouchent parfois plus aisément sur une production à l'étranger (Japon, États-Unis).

On peut expliquer de différentes manières cette situation très regrettable.

- L'une est d'origine culturelle. Suivant Cl. Allègre, «*Scientifiquement, nous faisons, nous Européens, jeu égal avec les États-Unis, mais nos innovations scienti-*

fiques ne se transfèrent pas technologiquement, parce que la culture scientifique de nos élites leur interdit d'anticiper l'innovation. Combien de découvertes françaises n'ont été reconnues ici qu'après l'avoir été aux États-Unis ? La France, comme l'Allemagne, manque d'une culture tournée vers l'innovation» [1] (cf. annexe).

- Une autre explication est liée à notre système de formation. Toujours d'après Cl. Allègre : «*La France a pris des retards dans les enseignements scientifiques modernes à cause de sa volonté d'avoir des programmes nationaux identiques [...]. Aujourd'hui, nous sommes à un stade où la biologie et la chimie sont essentielles, et les mathématiques ont toujours la référence [...]. Aux États-Unis [la force de l'université américaine], c'est la diversité. Les critères de sélection des étudiants sont totalement différents d'une université à l'autre [...]. Dans tous les domaines, la diversité est la base de la réussite*» [1].

La récente et profonde réforme des programmes des enseignements scientifiques dans les lycées et les classes préparatoires va dans le sens d'une plus grande diversité des formations de nos élites.

Il reste toutefois à entraîner les universités et les grandes écoles dans cette évolution dont les effets ne sauraient être ressentis à court terme.

L'autre est d'origine structurelle. Un troisième facteur, lié sans doute aux précédents, doit être en effet également pris en compte : celui de la structure du système financier français.

L'amélioration de la rentabilité de la recherche publique en France peut donc aussi être examinée dans le cadre d'une réflexion sur l'investissement innovation.

Cette importante question a été étudiée dans un rapport récent de Robert Chabbal au ministre des Entreprises et du Développement économique, intitulé : *Le système financier français face à l'investissement innovation* [2].

Ce rapport montre que le «système français de financement de l'innovation est sérieusement coincé». Il en dégage les raisons et propose des remèdes.

L'ensemble de ces problèmes retient, en ce moment, particulièrement l'attention de l'industrie chimique en France.

La Société de Chimie Industrielle a ainsi centré la dernière réunion de son «club des Directeurs scientifiques» (Paris, le 20 novembre 1995) sur le thème : «Comment améliorer la rentabilité de la recherche publique».

Cette réunion présidée par P. Avenas, directeur scientifique d'Elf Atochem, et organisée en étroite coopération entre la

Société de Chimie Industrielle et la Société Française de Chimie qui avait sollicité les conférenciers, s'est articulée autour de trois exposés présentés respectivement par :

- Robert Chabbal, ancien directeur général du CNRS, ancien directeur pour la Science, la Technologie et l'Industrie de l'OCDE, actuellement conseiller du directeur général de la Recherche et de la Technologie au ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

- Jean Claverie, directeur du Bureau des relations avec les entreprises et de valorisation économique (BREVE) à l'université de Bordeaux I, président du Réseau Curie qui regroupe de nombreux «services de valorisation» mis en place depuis une dizaine d'années dans les universités et les grandes écoles.

- Gilbert Bonel, professeur émérite à l'Institut National Polytechnique de Toulouse, qui a lancé et dirigé avec succès une PME engagée dans la valorisation des produits d'une recherche fondamentale, et qui vient d'être nommé, par le Conseil régional de Midi-Pyrénées, directeur d'un centre de développement industriel de produits de la recherche publique.

Nous avons pensé qu'un compte rendu de cette manifestation, qui illustre bien le texte précédent de Jacques Jousot-Dubien, est de nature à intéresser tout autant les chercheurs des laboratoires publics que les responsables des entreprises de l'industrie chimique.

Ce compte rendu, qu'on pourra lire ci-après [3] sera complété par un témoignage de Gilbert Bonel sur l'expérience de valorisation d'un produit de la recherche publique qu'il a conduite [4].

Références

- [1] Allègre Cl., Passer de l'ascenseur social à la civilisation de l'escalier, propos recueillis par Jean-Paul Mulot, *Le Figaro*, 26 décembre 1995, p. 10.
- [2] Chabbal R., *Le système financier français face à l'investissement innovation*, La Documentation française, Collection des rapports officiels, 1995.
- [3] Helou M., Comment améliorer la rentabilité de la recherche publique, *L'Actualité Chimique*, 1996, 1, p. 13.
- [4] Bonel G., Sur une expérience de transfert industriel dans le domaine des biomatériaux à usage orthopédique, *L'Actualité Chimique*, 1996, 1, p. 16.

Pôle Firtech : Élaboration, transformation et comportement des matériaux : Nancy

Responsable : C. G'Sell, Prof. à l'École Nationale Supérieure des Mines de Nancy, INP de Lorraine, Parc de Saurupt, 54042 Nancy Cedex. Tél. : 83.57.41.54.

• Établissement de rattachement

Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL).

• Autres établissements participants

- Université Nancy I.
- Université de Metz.
- Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).

• Formations doctorales associées (DEA et doctorats)

- Sciences et génie des matériaux, université Nancy I, INPL (responsable : Prof. Protas).
- Mécanique et énergétique, université Nancy I, INPL (responsable : Prof. Ducauquis).
- Sciences du bois, université Nancy I, INPL, université de Metz (responsable : Prof. Zoulalian et Pluvinage).
- Génie physique et mécanique, université de Metz (responsable : Prof. Stebe).

• Axes de recherche technologique

- Élaboration de matériaux en vue de réaliser :
 - des matériaux hétérogènes ou à gradient de propriété ;
 - des matériaux à hautes performances mécaniques ;
 - des matériaux pour l'optique et l'optoélectronique ;
 - des composés d'insertion du graphite et des polymères électroactifs ;
 - des matériaux métalliques amorphes ou

microcristallins.

– La transformation de ces matériaux par l'étude :

- des traitements thermiques et thermomécaniques ;
- des traitements de surface.
- La mise en œuvre de ces matériaux par déformations plastiques et usinage.
- Comportement des matériaux.

• Principaux laboratoires de recherche rattachés

- Laboratoire de métallurgie physique et sciences des matériaux, URA 155, Nancy I, INPL (M. Gerl).
- Laboratoire de sciences et génie des matériaux métalliques (LSG2M), URA 159, INPL (G. Beck).
- Laboratoire de chimie du solide minéral (LCSM), URA 158, Nancy I (D. Guérard).
- Laboratoire d'énergétique et de mécanique théorique et appliquée (LEMETA), URA 875, Nancy I, INPL (M. Lebouche).
- Laboratoire de physique et mécanique des matériaux (LP2M), université de Metz (M. Berweiler).
- Laboratoire de métallurgie physique et chimique (LPMC), université de Metz (J.-J. Heizmann).
- Laboratoire de fiabilité mécanique (LFM), université de Metz (G. Pluvinage).
- Centre Lorrain d'Optique et d'Électronique du Solide (CLOES), université de Metz, (M. Certier).

• Industries et organismes partenaires

Cerpam, Peugeot, Cégédur (Pechiney), Framatome, Fragma, Orkem, Ugine, Cerlor (Groupe TDF), Irsid, Vieille Montagne, Air-Forge, Sodétal, Inel, Socabim.

Flux d'ingénieurs et d'universitaires formés à la recherche technologique

- Porté de 20 par an actuellement à 40 à terme.

Annexe

Différentes mesures ont été prises, depuis une dizaine d'années, par la direction de la Recherche du ministère de l'Éducation nationale, pour développer le transfert des résultats valorisables de la recherche publique vers les secteurs de production. On peut citer :

- les pôles Firtech
- les services de valorisation créés dans de nombreuses universités et grandes écoles d'ingénieurs, ainsi qu'au CNRS. Le CNRS, de son côté, a créé les unités mixtes de recherche et les groupements de recherche.

1) Les pôles Firtech

Créés entre 1984 et 1990 par le ministère de l'Éducation nationale en collaboration avec les milieux industriels, les pôles Firtech (Pôles de Formation des Ingénieurs à la Recherche Technologique) sont destinés à resserrer les liens entre grandes écoles et universités au plan de la recherche, de telle sorte que les futurs dirigeants de nos entreprises industrielles soient, davantage que par le passé, familiarisés avec les méthodes et les ressources de la recherche.

Chaque pôle Firtech (*cf. encadrés*) fait intervenir, autour d'un thème donné :

- Un ou plusieurs diplômes d'études approfondies (DEA) localisés dans des universités ou dans des écoles, associés à des groupes de formation doctorale de grande qualité.
- Des coopérations étroites entre l'ensemble précédent et des centres industriels, des centres techniques, des PME : ces derniers peuvent localiser temporairement des équipes dans les laboratoires du pôle Firtech ou accueillir, à temps partiel, des chercheurs de ces laboratoires.
- Un responsable scientifique désigné conjointement par les établissements d'enseignement supérieur participants.
- Un conseil de perfectionnement composé, pour la moitié au moins de ses membres, de représentants des entreprises concernées.

Un soutien financier important du ministère, de durée limitée, devait permettre le lancement du pôle. Il devait être relayé par un autofinancement assuré à la faveur de la collaboration avec l'industrie.

Dans toute la mesure du possible, une coopération avec les collectivités territoriales devait être recherchée, notamment avec les autorités de la Région où le pôle est implanté.

Les pôles Firtech associent recherche scientifique et technique et formation par la recherche des ingénieurs et des étudiants spécialisés dans les disciplines techniques. Ils ont pour objectifs :

- d'augmenter sensiblement le nombre des ingénieurs formés par la recherche capables

Pôle Firtech : Matériaux avancés Bordeaux

Responsable : H. Gasparoux, directeur de l'École Nationale Supérieure de Chimie et de Physique de Bordeaux, 351, cours de la Libération, 33405 Talence Cedex. Tél. : 56.80.78.93.

Établissement de rattachement

- ENSCPB, université Bordeaux I.

Autres établissements participants

- Université de Pau et des Pays de l'Adour.
- École Nationale Supérieure de Chimie et de Physique.

Formations doctorales associées (DEA et doctorats)

- Science des matériaux (univ. Bordeaux I) (responsable Prof. Clavier).
- Chimie-physique de la matière et de l'environnement (univ. Bordeaux I) (responsable Prof. Vidal).
- Molécules et matériaux organiques (univ. Bordeaux I) (responsable Prof. Pereyre).
- Mécanique (univ. Bordeaux I) (responsable Prof. Morlier).
- Chimie-physique (univ. Pau et Pays de l'Adour) (responsable Prof. Chaillat).

Axes de recherche technologique

- Procédés de synthèse, d'élaboration et de mise en forme des matériaux composites et céramiques, des poudres ultrafines, des verres, des polymères, des cristaux liquides, des métaux synthétiques, des colloïdes, des cristaux.
- Caractérisation des matériaux, des surfaces et interfaces, des morphologies, des structures moléculaires et cristallines.
- Étude des propriétés rhéologiques et mécaniques, thermiques, électriques, optiques et magnétiques.
- Physique des milieux hétérogènes.
- Transferts de masse et de chaleur.
- Cinétiques d'évolution.

Principaux laboratoires de recherche rattachés

- Université de Bordeaux I :

- Laboratoire de chimie du solide, LP CNRS 8661 (Prof. J. Étourneau).

- Centre de Recherche de Chimie Structurale Paul Pascal, LP CNRS 8641 (Prof. P. Bothorel).

- Laboratoire de chimie organique et organo-métallique, URA CNRS 35 (Prof. M. Pereyre).

- Équipe de recherche de physico-chimie théorique, URA CNRS 503 (Prof. J. Rayez).

- Laboratoire de photophysique et photochimie moléculaire, URA CNRS 348 (Prof. R. Lesclaux).

- Laboratoire de spectroscopie moléculaire et cristalline, URA CNRS 124 (Prof. C. Sourisseau).

- Laboratoire de cristallographie et physique cristalline, URA CNRS 144 (Prof. M. Hospital).

- Laboratoire de chimie des polymères organiques, URA CNRS 1192 (Prof. M. Fontanille).

- Centre d'Étude Nucléaire de Bordeaux-Gradignan, IN₂P₃ (Prof. A. Fleury).

- Laboratoire d'énergétique et des phénomènes de transfert, URA CNRS 1026 (Prof. M. Combarous).

- Institut du Pin (Prof. C. Filliatre).

- Laboratoire des composites thermostructuraux, laboratoire mixte (Prof. R. Naslain).

• Université de Pau et des Pays de l'Adour :
- Laboratoire de chimie organique physique, URA CNRS 474 (Prof. M.-F. Grenier-Loustalot).

- Laboratoire de physique des matériaux industriels (Prof. M. Monge).

- Laboratoire Marcel Mathieu, URA CNRS 1205 (Prof. A. Oberlin).

• Structures de transfert technologique :
- Institut des Matériaux Composites.
- Centre de Recherches et de Technologie des Matériaux.

• Industries et organismes partenaires :
Aérospatiale, Elf Aquitaine, Rhône-Poulenc, SEP.

Flux d'ingénieurs et d'universitaires formés à la recherche technologique

30 à 40 par an.

de s'insérer rapidement dans des centres de recherches industriels et d'accéder à des fonctions de responsabilité dans les entreprises ;

- de promouvoir la recherche technologique à la faveur d'une collaboration accrue entre les laboratoires de la recherche publique et les laboratoires des entreprises, particulièrement dans les domaines les plus sensibles du développement industriel.

Le succès remporté par ces pôles est très variable, le relais financier n'ayant été que trop rarement assuré. Il serait toutefois judicieux, à une époque où le développement des relations entre recherche publique et entreprises est à l'ordre du jour, de faire un bilan des résultats acquis par les 30 pôles Firtech qui ont été créés, en considérant ceux qui relèvent des domaines de la chimie et des matériaux. Une amélioration de leur concep-

tion et de leur fonctionnement, jointe à l'intervention de cadres supérieurs d'entreprises qui y auraient complété leur formation, serait peut-être de nature à accroître la place de l'innovation dans notre culture industrielle.

2) Les services de valorisation des universités, des grandes écoles d'ingénieurs et du CNRS

Créés dans la même période que les pôles Firtech, les services de valorisation installés au sein des universités et des écoles, et dans les délégations régionales du CNRS, ont en principe pour objet de rechercher, au sein des établissements dont ils dépendent, les découvertes de la recherche publique susceptibles de donner lieu à une production industrielle, et de conduire les démarches jusqu'à la réalisation de l'atelier de fabrication et à la commercialisation.

La plupart des universités scientifiques et des écoles d'ingénieurs disposent aujourd'hui de tels services, dont le lancement a été assuré par un financement de l'État, et qui doivent, en quelques années, atteindre une situation d'autofinancement.

Ces derniers services fonctionnent dans la plupart des établissements où ils ont été créés, et se sont même constitués en réseau de manière à faciliter le cheminement des innovations vers les entreprises. Le professeur Jean Claverie, président du réseau Curie, a témoigné sur le fonctionnement et les difficultés rencontrées par ces services*.

3) Les unités mixtes de recherche CNRS-industrie et le groupement de recherche CNRS-université-industrie

Les unités mixtes de recherche, créées par le CNRS en liaison étroite avec l'industrie, sont destinées à la fois à la formation des chercheurs du CNRS en matière de prise en compte des préoccupations industrielles et au développement des interactions entre la recherche publique et un industriel. Souvent installées sur des sites industriels, elles sont engagées

Pôle Firtech : Physico-chimie des matériaux surfaces et interfaces : Strasbourg

Responsable : G. Weill, professeur à l'université Strasbourg I, Centre de recherche sur les macromolécules (CNRS), 6, rue Boussingault, 67083 Strasbourg Cedex. Tél. : 88.41.40.00.

Établissement de rattachement

Université Strasbourg I-Louis-Pasteur (ULP).

Autres établissements participants

- Université de Haute Alsace Mulhouse (UHA)
- École Européenne des Hautes Industries Chimiques de Strasbourg (EEHICS)
- École Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg (ENSAIS)
- École d'Application des Hauts Polymères (EAHP)
- École Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse (ENSCM)
- École Nationale Supérieure des Industries Textiles de Mulhouse (ENSITM).

Formations doctorales associées

- (DEA et doctorat)
- Physico-chimie des matériaux macromoléculaires (ULP) (responsable : Prof. G. Weill).
- Physique de la matière condensée et des matériaux (ULP et UHA) (responsable : Prof. F. Gautier).
- Chimie physique (ULP) (responsable : Prof. P. Granger).
- Chimie : option chimie physique (UHA et ENSCM) (responsable : Prof. J. Schultz).

- Génie des processus et des matériaux textiles et paratextiles (ENSITM) (responsable : Prof. C. Wolff).

Axes de recherche technologique

- Matériaux polymères.
- Verrres et céramiques.
- Surfaces et Interfaces.

Principaux laboratoires de recherche rattachés

- Institut C. Sadron (CRM-EAHP), Strasbourg LP 022.
- Institut de Physique et Chimie des Matériaux, UMR 46 (CNRS-ULP-EEHICS).
- Centre de recherches sur la physico-chimie des surfaces solides, Mulhouse LP 6601.
- Laboratoire Phase, Centre de recherches nucléaires, Strasbourg LP 200011.
- Laboratoire de catalyse et de chimie des surfaces, Strasbourg URA 385.
- Laboratoires des matériaux minéraux ENSCM, Mulhouse URA 07.
- Laboratoire de physique et mécanique textile, ENSITM, Mulhouse URA 722.
- Laboratoire de photochimie générale ENSC, Mulhouse URA 386.
- Laboratoire de physique et spectroscopie électronique, Mulhouse.
- Laboratoire des matériaux ENSAIS, Strasbourg.

Industries et organismes partenaires

IBM, Pechiney, Rhône-Poulenc, De Dietrich, Peugeot, Elf.

Flux d'ingénieurs et d'universitaires formés à la recherche technologique

- Environ 25 par an.

dans des recherches à objectifs partagés entre le CNRS et l'entreprise concernée. Il existe actuellement une dizaine d'unités mixtes de recherche en chimie. Par ailleurs, d'autres structures, les groupements de recherche,

réunissent autour d'une thématique scientifique plusieurs équipes de recherche et un ou plusieurs industriels.

* voir article M. Helou, *L'Actualité Chimique*, 1996, 1, p. 13.

Comment améliorer la rentabilité de la recherche publique

Réunion du club des Directeurs scientifiques de la SCI

Paris, 20 novembre 1995

Compte rendu de Miren Helou

How to improve the profitability of public research

French research in public laboratories is more and more interested in the transfer of its scientific results to industrial production, peculiarly in the chemical field. Strong progress has been made on this subject, all over last 30 years, when research contracts occurred between firms and laboratories, but great progress may be hoped when comparison is made with US and Japanese situations.

The « club des Directeurs scientifiques » of the French Société de Chimie Industrielle had a workshop meeting on this subject of great economical incidence, the meeting being organised in close connection with the Société Française de Chimie.

During the meeting, papers have been given by Prof. R. Chabbal, past-director for Science, Technology and Industry at OCDE, Prof. J. Claverie, head of the « Service de valorisation » at Bordeaux I University, Prof. G. Bonel, who founded a firm at Toulouse, from results of a public research laboratory.

Valorisation, recherche publique.

Valorisation, fundamental research.

Il existe deux manières de valoriser la recherche publique, c'est-à-dire de faire passer certains de ses résultats du laboratoire au stade de la fabrication industrielle et de la commercialisation, quand la recherche a été conduite, généralement au plan fondamental, en dehors de tout contrat entre le laboratoire et une entreprise industrielle :

- le placement d'une licence,
- la création d'une entreprise par le chercheur qui veut faire fructifier ses résultats.

Cet « essaimage » de la recherche publique est, selon R. Chabbal, un phénomène nouveau et frappant : le rapport Mustar sur la recherche publique* révèle, par exemple, que, sur 100

sociétés « high tech » qui se créent par an en France, 30 sont issues de la recherche publique.

Si ces sociétés sont souvent issues de la recherche en informatique et visent à la production de logiciels, il en est également qui, issues de recherches en chimie, se consacrent à la fabrication de produits et de matériaux. C'est le cas, par exemple, de la société Bioland (biomatériaux non métalliques), créée en 1988 à Toulouse par Gilbert Bonel, professeur émérite à l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT), ancien directeur du « Laboratoire de physico-chimie des solides (INPT-CNRS) créé par le professeur Gérard Montel, et dont les recherches portent, depuis plus de 30 ans sur les phosphates de calcium à structure d'apatite, leurs dérivés et leurs applications.

Après s'être battu, en vain, pour obtenir la création à Toulouse d'un laboratoire multidisciplinaire des biomatériaux, G. Bonel a été amené à saisir une opportunité qui devait lui permettre d'avancer son projet dans le cadre d'une PME. On trouvera, à la suite de cet article, le témoi-

gnage de G. Bonel sur cette intéressante expérience, qui lui a permis de conquérir 40 % d'un marché mondial.

Comment valoriser la recherche publique ?

Cet exemple de valorisation, dû à un heureux concours de circonstance, n'est certainement pas unique. Mais comment peut-on faire pour dépasser le stade des initiatives individuelles et favoriser un « essaimage » à plus grande échelle ? C'est le fond du débat.

Jean Claverie, président du réseau Curie qui fédère les services valorisation de plusieurs universités et écoles, directeur du Breve (Bureau des Relations avec les Entreprises et de Valorisation économique de l'université de Bordeaux I), a présenté les objectifs de ces services créés avec l'appui du ministère de l'Éducation nationale, et les difficultés qu'ils rencontrent.

L'objectif principal de ces services est de « développer, animer et gérer les transactions entre la recherche et l'industrie ».

Leur mission s'effectue par trois approches distinctes :

* Science et innovation, Annuaire raisonné de la création d'entreprises par les chercheurs, par Philippe Mustar, maître de conférences à l'École des Mines de Paris et chercheur au Centre de Sociologie de l'Innovation.

1) Répondre aux sollicitations des entreprises.

2) Faciliter l'accès des PMI aux outils et aux compétences des laboratoires.

3) Valoriser et transférer les résultats de la recherche.

Les services disposent d'un inventaire constamment actualisé des compétences et des outils dont disposent les laboratoires, ainsi que de leurs ressources exploitables. Ils interviennent en vue de détecter les activités innovantes, valoriser leurs résultats, assurer la maîtrise de la propriété industrielle et la gestion stratégique des opportunités.

En vue de sensibiliser la communauté des chercheurs à cet état d'esprit, un concours a été lancé en région Aquitaine : le «visa Valoris». Il s'agit d'un appel à propositions de projets de valorisation. Sur 900 chercheurs sollicités, 40 réponses sont parvenues. La Région a estimé que ces 40 réponses méritaient d'être prises en compte, et les 40 dossiers concourent donc actuellement jusqu'à la qualification.

La difficulté à surmonter est alors celle du *financement de la valorisation*, et plus précisément celui du *développement*. Les collectivités peuvent apporter une aide, mais celle-ci ne peut être que provisoire. *Les services de valorisation ne savent pas financer cette phase de qualification* : ils ne font pas de courtage de l'innovation et ne disposent pas non plus des «experts pointus» nécessaires en la matière. Les cabinets de brevets ne sont pas toujours efficaces.

Le CNRS, de son côté, s'adresse à une société de professionnels d'exploitation de licences (FIST), qui peuvent travailler au niveau européen ou international.

Mais les universités, comme le CNRS, doivent s'adresser à des professionnels pour trouver les PME susceptibles d'être intéressées et organiser le suivi des dossiers. La mise en service du réseau Internet pourrait favoriser cette recherche, mais son efficacité reste à démontrer.

Pour Paul Rigny, directeur du département des Sciences chimiques du CNRS, la valorisation de la recherche publique passe d'abord par la mise au point d'une stratégie.

Si les couplages PME/laboratoires du CNRS fonctionnent correctement, il est beaucoup plus compliqué de consolider la valorisation : il faudrait élaborer une

véritable politique thématique de valorisation au CNRS.

On pourrait envisager, comme le suggère R. Chabbal, de s'inspirer de ce qui se fait à l'Inria, au CEA, à l'Armin, qui constituent autant de «contre-exemples».

Comment financer l'innovation ?

L'exposé que Robert Chabbal a présenté sur ce sujet est inspiré du rapport qu'il a établi à la suite des travaux du groupe interministériel Recherche-Industrie créé par le ministère de l'Éducation nationale, relatif à l'innovation dans les PME.

Le problème des PME innovantes a 3 composantes :

- Le financement.
- Les «capital-risqueurs».
- Les entrepreneurs.

1. Le financement

L'innovation implique un risque qui subsiste pendant une période de maturation de quelques années : elle nécessite donc la mise à disposition d'un capital patient, dont on n'attend pas de revenus à court terme. Il ne s'agit pas d'un placement d'argent ordinaire : ce type de placement soulève divers problèmes en France.

Il faut disposer de sources de capital patient

Aux **États-Unis**, ce capital est constitué, d'un part, par les fonds de pension alimentés par les salariés en prévision de leur retraite qu'ils préparent par capitalisation.

Ces fonds, disponibles pendant au moins 25 ans, atteignent des chiffres astronomiques (3 à 4 fois le PIB). De tels fonds ne sont pas disponibles en France, où les retraites fonctionnent essentiellement sur le principe de la répartition.

Il est constitué, aux États-Unis, d'autre part, par les capitaux de l'assurance-vie, qui sont aussi disponibles sur le long terme. On en est pratiquement privé en France, où l'assurance-vie est souscrite, en général, à moyen ou court terme.

Enfin, il existe de nombreux «business angels» très riches, aux États-Unis, qui sont très rares en France.

Toutefois, en France, le *capital investissement* augmente, mais il se dirige

vers la transmission d'entreprise et l'exportation. Il représente 95 % du capital disponible. Par contre, le *capital innovation* diminue : il n'a représenté, au départ, que 5 % du capital disponible, et il décroît pour ne représenter actuellement que 150 millions.

Les sociétés de capital risque ont pratiquement disparu : il en reste quelques unes, de petite taille, comme Sofinova, où 1 personne suit 10 dossiers. Leur en cours total est de l'ordre du milliard.

Reste le *capital risque international*. Les sociétés de capital risque internationales sont le plus souvent associées au capital risque américain. Très professionnelles, hypersélectives, elles lancent en France 100 affaires par an : elles disposent d'une implantation régionale et s'engagent essentiellement en fonction de la qualité des équipes, à hauteur, au départ, de 150 à 200 kF, pour engager l'étude du dossier.

Les problèmes interviennent alors au moment du développement de l'entreprise.

Dans les grands pays innovants étrangers, autres que les États-Unis, le problème du financement de l'innovation dans les PME ne se pose pas.

En **Allemagne**, les petites sociétés de 50 personnes constituées après la dernière guerre, comptent aujourd'hui au moins 500 personnes.

Leur capacité de recherche, souvent en liaison avec les universités, est à l'origine du renouvellement de leurs produits. Dans ces conditions, l'appel à un capital extérieur est moins nécessaire : *l'innovation se fait au sein des sociétés existantes*.

En toute état de cause, le capitalisme rhénan a peu d'actionnaires.

Au **Japon**, il n'existe pas de PME. Comme en Allemagne, les grandes entreprises innoveront en leur sein, en collaboration avec les laboratoires universitaires, et assurent le financement de l'innovation.

Il faut donc rechercher, pour les PME françaises dont on s'accorde à reconnaître le rôle essentiel dans l'innovation, des solutions spécifiques. Il existe actuellement les FCPR (fonds communs de placement à risque), d'une durée de 10 ans. La création de *fonds de pension*, disposant de capitaux en actions, est actuellement envisagée.

Les «capital-risqueurs»

Le métier de «capital-risqueur» est un métier jeune, environ 15 ans. Le profil du «capital-risqueur» est celui d'une personne dont le premier souci est le développement des sociétés innovantes créées. Ce sont, en général, des ingénieurs, anciens chercheurs, et des financiers. Une nouvelle génération peut être constituée de patrons de PME qui ont pris leur retraite et assurent un parrainage.

Ce sont des professionnels, dont le rôle ne peut pas être rempli par les banques, qui canalisent les sources de capital patient vers les PME innovantes.

Leur métier consiste à «entrer» et à «sortir» : ils ne canalisent l'argent vers une entreprise que s'ils estiment avoir de grandes chances de «sortir». Or, lorsque l'entreprise et les capitaux risques se rencontrent, la montée en puissance de l'entreprise s'effectue par étapes successives. On peut illustrer cette montée en puissance par l'image de la cheminée à fort tirage, bien aspirée par le haut par le marché, bien alimentée par le bas par le capital risque de proximité. Entre ces deux niveaux interviennent différents types de «capital-risqueurs», dont les métiers sont, en fait, très diversifiés.

On rencontre ici aussi des difficultés en France, car nous ne disposons pas de ces centaines ou milliers de capital-risqueurs qui interviennent aux États-Unis aux différents niveaux. En fait, ce métier y est même en voie de disparition.

Les entrepreneurs et l'«essaimage»

Les pays où les entreprises et le capital risque font bon ménage sont ceux où les entreprises font confiance à leur «capital-risqueur».

Au sein du Nasdaq¹, aux États-Unis, les entreprises exposent sans réticences ce qu'elles veulent faire : elles sont totalement transparentes. Cette attitude ne s'inscrit pas dans notre culture.

Par ailleurs, un important problème psychologique résulte de l'attitude, en France, face à l'échec ou au succès.

Il existe, en effet, un taux d'échec dans les investissements du capital risque : à hauteur d'un tiers d'échecs, cela correspondrait à une bonne utilisation du capital risque.

Il ne faudrait donc pas comme l'a souligné Madame Baumeige (Rhône-

Club des Directeurs scientifiques

Le club des Directeurs scientifiques de la SCI a été créé en 1991 pour répondre aux besoins d'animation de la vie associative dans le domaine des relations des industriels responsables de l'innovation avec la recherche publique, d'une part, et le contexte européen d'autre part.

La mise en commun d'informations en provenance des administrations européennes et françaises et le partage d'expériences réalisées dans des domaines comme la propriété industrielle, les systèmes documentaires, la gestion des carrières dans nos laboratoires ont constitué les premiers chantiers de travail du club sous la présidence du professeur Raymond, directeur scientifique de L'Oréal.

Il y a quelques années, à la suite de la relance de la commission recherche de l'UIC, dans le but de tirer le meilleur de la synergie entre les travaux de cette commission et ceux du club, la présidence des deux organismes a été confiée à Jean Henri Blanc (Elf Atochem) qui a pris en charge la définition d'objectifs de recherche proposés par les industriels à la recherche publique française.

Depuis peu, Pierre Avenas (Elf Atochem) a pris la présidence de ce club et a poursuivi le montage de tables rondes autour des questions portant sur le titre d'ingénieur chimiste européen et sur le financement de l'innovation d'origine universitaire.

Ce club est ouvert aux membres du conseil de la SFC et invite régulièrement des personnalités extérieures susceptibles d'enrichir les débats. On note actuellement une bonne participation : 20 à 25 membres qui participent activement et simultanément aux travaux de la commission Recherche de l'UIC.

G. Mattioda

Poulenc), considérer ceux qui ont essuyé un échec comme des pestiférés, suivant une attitude trop fréquente en France.

D'autre part, face au succès, il n'est pas bon que l'entrepreneur s'attache à l'entreprise : il est souhaitable, au contraire, que, comme aux États-Unis, il quitte l'entreprise qui a réussi pour en créer une autre.

Ceci étant, il n'existe que deux manières de valoriser la recherche, publique ou non :

- 1) Le dépôt d'un brevet et la vente de licences.
- 2) Le transfert du projet vers l'industrie

par les hommes, le chercheur créant sa société.

Lorsqu'il part de l'industrie, l'essai est assuré par les gens qui ont travaillé dans la recherche et la gestion.

Dans les deux cas, la recherche ayant été effectuée dans un laboratoire public ou dans l'industrie, l'innovation passe par la création d'une PME ; l'appel à des capitaux extérieurs et toutes les questions traitées précédemment se présentent. Les problèmes ne sont toutefois pas insolubles, comme en témoignent les entreprises innovantes qui se créent chaque année, avec toutefois davantage de difficultés qu'à l'étranger.

Conclusions

Si la recherche publique française produit, en dehors des contrats passés avec l'industrie, de nombreux résultats susceptibles de conduire à des productions industrielles à haute valeur ajoutée, il existe de nombreux obstacles, culturels, financiers, qui freinent considérablement l'exploitation, en France, de ces résultats et favorisent leur exploitation à l'étranger.

L'expérience montre, toutefois, que ces obstacles ne sont pas insurmontables : l'exemple présenté par Gilbert Bonel, dans ce numéro, en témoigne. Il s'agit alors du fruit d'un heureux concours de circonstances, beaucoup plus que de l'effet d'un dispositif national qui reste à créer.

L'obstacle majeure se présente, comme l'ont souligné Paul Rigny et Jean Claverie, au moment où il faut financer la phase très coûteuse du développement : hors des grandes entreprises, seul le capital risque peut l'assumer. Certaines régions prennent des initiatives à ce sujet. Il reste encore beaucoup à faire dans ce domaine.

Note

- 1 Le Nasdaq (National Association for Security Dealers on Automated Quotations), qui fonctionne aux États-Unis, est un marché de capitaux spécialisé dans le financement de petites et moyennes entreprises jeunes, innovantes, en croissance. C'est le 2^e plus grand marché du monde, il s'y ajoute de nombreux marchés secondaires.

Le Rapport de R. Chabbal propose de créer son équivalent européen qu'il dénomme Mesec (marché européen pour les sociétés entrepreneuriales de croissance).

Sur une expérience de transfert industriel dans le domaine des biomatériaux à usage orthopédique

Gilbert Bonel* *professeur émérite à l'Institut National Polytechnique de Toulouse, directeur de la société Bioland*

An industrial transfer experience in biomaterials for orthopaedic uses

During the last fifty years a spectacular progress has been realized in orthopaedy. Surgeons have learnt how to rebuild hip joints in an efficient way. At the present time, surgical interventions on knees and shoulders are being developed. They know how to reconstitute the bone capital, as well.

So, more and more sophisticated materials are needed, presenting mechanical well adapted properties, positively reacting with the bone environment. Research workers are trying to perfect some materials presenting biodegradable or osteoconductive, if not osteoinductive properties. The author surveys some research ways, in this field.

Research activities in biomaterials are most certainly eminent, especially in France ; but the industrial transfer is done rather badly. The author evokes a successful industrial transfer experience, realized by a team coming from the public research. This experience shows that it is beneficial for a small company to invest in research, in an important way.

Biomatériaux, transfert industriel, orthopédie.

Biomaterials, industrial transfer, orthopaedics.

Lorsque, voici une vingtaine d'années, le Laboratoire de physico-chimie des solides de l'INP (Institut National Polytechnique) de Toulouse commença à s'intéresser aux tissus calcifiés et aux matériaux susceptibles de les remplacer, les besoins étaient déjà exprimés de manière précise : les utilisateurs ne se contentaient plus de produits aux propriétés mécaniques adaptées, ne provoquant ni inflammation ni rejet. Ils réclamaient des matériaux interagissant avec l'organisme, tout au moins ostéoconducteurs, c'est-à-dire bons supports de la cellule osseuse, sinon ostéoinducteurs, c'est-à-dire capables d'induire une recalcification là où le tissu osseux a perdu,

tout au moins partiellement, la capacité de se renouveler. Aujourd'hui encore, on cherche à optimiser les propriétés mécaniques des biomatériaux, mais on s'intéresse surtout à leur comportement biologique ; biodégradabilité, ostéoconduction sont les propriétés que l'on considère.

Tant que le choix des matériaux destinés à fabriquer des pièces prothétiques reposait essentiellement sur la valeur de paramètres mécaniques, il n'était pas nécessaire que les industriels fournissent un très gros effort d'innovation en ce qui concerne les matières premières qui leur étaient nécessaires. Il leur suffisait de choisir parmi les matériaux mis au point pour d'autres usages - l'aéronautique par exemple - ceux qui étaient les mieux adaptés. Il n'en est plus du tout de même actuellement et l'industrie des biomatériaux est bien forcée de concevoir et de mettre au point les produits à comporte-

ment biologique précis que personne n'a encore éprouvé le besoin d'élaborer. Une nécessaire collaboration doit donc s'établir entre chercheurs et industriels.

Les chercheurs s'intéressent depuis longtemps aux biomatériaux ; il existe, en particulier en France, des équipes de renommée internationale, spécialistes des polymères, des céramiques, des verres, des métaux et alliages qui ont fait avancer les connaissances en ce qui concerne leur usage en tant que biomatériaux. Par contre se pose peut-être, parfois, un problème de transfert de savoir et de savoir-faire au secteur industriel.

Depuis de nombreuses années, le laboratoire auquel nous appartenions avait pris l'habitude, sous l'impulsion de son directeur, le professeur Montel, de développer des recherches appliquées à côté de recherches à caractère plus spéculatif. Ce laboratoire, spécialisé dans la physico-chimie des phosphates de calcium s'intéressait aux relations structures-propriétés de ces matériaux. Il examinait en particulier les substitutions

* 3, rue des Vosges, 31 100 Toulouse.
Tél. : 61.40.14.19.

possibles dans le réseau de l'apatite, réseau particulièrement hospitalier, admettant toutes sortes d'ions et aussi des lacunes dont la présence peut conduire à de très larges écarts à la stoechiométrie (voir C. Rey, *L'Actualité Chimique*, 1995, 7, p. 41). Les recherches appliquées dans divers domaines, minéralurgie (J.-C. Trombe), optique (J.-L. Lacout), biologie osseuse (R. Legros, C. Rey)... que nous avons conduites nous ont amené à établir de nombreuses relations avec les industriels. Ceci nous a mis à même d'imaginer la difficulté de transférer un savoir-faire et de réaliser un produit commercialisable. Particulièrement attiré par ces problèmes, nous avons voulu nous y impliquer. Pour cela, nous avons créé la société Bioland.

Dans cet article, nous présenterons les produits que la société Bioland a mis au point en tenant compte des nouvelles préoccupations concernant les interactions avec l'environnement dans l'organisme. Nous évoquerons également les développements possibles dans le domaine. Cependant, nous souhaitons tout d'abord présenter la société essayant de montrer comment la participation d'une équipe de chercheurs à la fondation d'une PMI peut être une expérience fructueuse pour l'entreprise et passionnante pour les participants.

Bioland : hier et aujourd'hui

La société Bioland est née en 1988 parce que la société Landanger et nous-mêmes nourrissions des ambitions convergentes. Landanger, la maison mère, souhaitait diversifier son activité en élaborant certains produits qui accompagnent les prothèses articulaires, celles-ci restant le principal objet de son négoce. Depuis quelque temps, nous cherchions à rassembler sur un même site les divers spécialistes nécessaires pour la mise au point de biomatériaux de type nouveau. Ceci, difficile au CNRS et à l'université, a pu être réalisé plus aisément dans une entreprise où seuls les impératifs économiques limitaient notre action. L'équipe créée, constituée de jeunes débutants, qu'il s'agisse des chercheurs, des techniciens et des personnels de fabrication, a commis beaucoup d'erreurs : manque d'organisation, gestion

peu rigoureuse, choix des productions en fonction de la nouveauté et de l'efficacité et non sur le résultat d'une étude de marché... Elle a rapidement pris conscience de ses erreurs, s'est adjoint des personnels expérimentés dans les domaines qu'elle ne maîtrisait pas, production, qualité, et a progressé. Bioland n'est pas encore arrivée à maturité ; c'est une entreprise à très fort potentiel de croissance. Elle fait maintenant preuve de professionnalisme dans tous les domaines. Elle est certifiée Iso 9001 et tous ses produits bénéficient du label CE.

La situation actuelle de Bioland peut être précisée à l'aide de quelques chiffres. L'entreprise emploie environ soixante-dix personnes. Il s'y trouve un encadrement anormalement important pour une modeste PMI (14 cadres dont un ingénieur et 8 docteurs ès sciences), l'essentiel étant affecté au groupe de recherches et développement. Le nombre d'employés a augmenté au fil des années en même temps que le chiffre d'affaires. En 1991-92, celui-ci était de 13 millions de francs ; il est de 28 millions en 1994-95.

Bioland a commencé par une activité unique. Il s'agit de l'élaboration de revêtements de prothèses constitués d'une couche mince de céramique d'apatite. Bioland a ensuite diversifié ses productions tout en cherchant à multiplier sa clientèle. La société vit toujours essentiellement de la sous-traitance de pièces métalliques qu'elle revêt d'hydroxyapatite (environ 65 % de son chiffre d'affaires). Cependant, Bioland se trouve actuellement à la veille d'une phase d'expansion rapide due au succès de ses nouveaux produits :

- les obturateurs fémoraux, qui se vendent bien, viennent de recevoir un agrément américain ; un très grand marché s'ouvre pour eux ;
- les ventes d'os bovin déprotéiné, mis sur le marché en septembre 1994, se développent rapidement ;
- Bioland enregistre d'importantes commandes de ciment acrylique, produit optimisé depuis seulement trois ou quatre mois ;
- Bioland propose une nouvelle technique de traitement des surfaces métalliques par des "sprays" de même nature que le substrat, réalisés en atmosphère contrôlée.

Les produits élaborés par Bioland

L'essentiel de l'activité économique dans le domaine de l'orthopédie ne relève pas, tout au moins pour le moment, du savoir-faire d'entreprises telles que Bioland. On vend surtout du matériel réalisé avec des matériaux métalliques : titane allié, chrome-cobalt, aciers. Une étude du marché européen estime que, en 1998, on distribuera pour :

- 2 805 millions de francs de prothèses de la hanche,
- 1 930 millions de francs de systèmes de fixation internes,
- 1 585 millions de francs de prothèses diverses (cheville, coude, poignet, doigt).
- 280 millions de francs de systèmes de fixation externes.

Rappelons que Bioland sous-traite le revêtement de ces matériels. Sinon, il propose des produits de complément dont le chiffre d'affaires est négligeable en comparaison des chiffres ci-dessus ; le seul marché important qu'il aborde est celui du ciment dont 540 000 doses, d'une valeur de l'ordre de 150 millions de francs sont mises annuellement sur le marché mondial.

Les ciments acryliques

Les ciments acryliques sont constitués d'un mélange de monomères méthyl-métacrylate et butyl-métacrylate et d'un prépolymère sous forme de grains associé à un produit de contraste qui permet le contrôle de la mise en place de la prothèse. L'ampoule de liquide contient de plus un inhibiteur de polymérisation, l'hydroquinone, et un activateur de polymérisation, la N, N-diméthyl paratoluidine (figure 1).

Ces produits semblent aisés à fabriquer. Il n'en est rien et leur mise au point



Figure 1 - Composants du ciment acrylique (Biolos 1 et Biolos 3 diffèrent par la consistance du mélange avant la prise en masse).

exige un réel savoir-faire pour éviter tous les écueils qui concernent la pollution bactérienne primaire, la stabilisation des constituants, la maîtrise de la reproductibilité du temps de prise.

L'équipe a dû surmonter beaucoup d'embûches mais, depuis peu, elle distribue des produits de qualité parfaite. Sa part de marché est encore très modeste, de l'ordre de 30 000 doses/an.

Obturateurs fémoraux

Quel que soit le mode de mise en place du ciment dans le fût fémoral, il est nécessaire d'exercer sur lui une pression pour qu'il épouse toutes les aspérités de l'os. Aussi est-il indiqué de mettre en œuvre un obturateur fémoral qui protège la zone médullaire basse du fémur (figure 2) ; il est intéressant qu'il soit biodégradable. La société propose depuis trois ans un obturateur en gélatine associé à du glycérol (figure 3), la présence de glycérol préservant l'élasti-

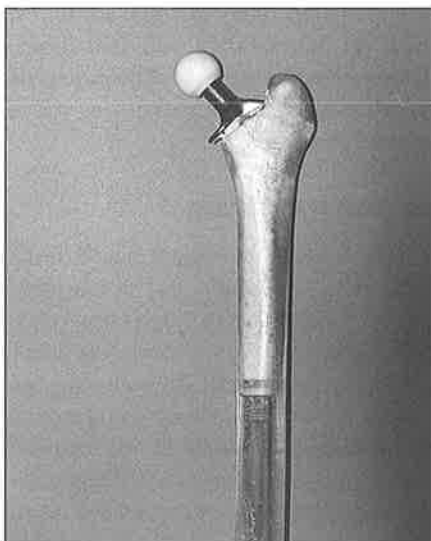


Figure 2 - Modélisation de la mise en place d'une prothèse cimentée dans le fût fémoral humain. On distingue l'obturateur fémoral dans la partie inférieure de la figure.



Figure 3 - Quelques obturateurs fabriqués par Bioland.

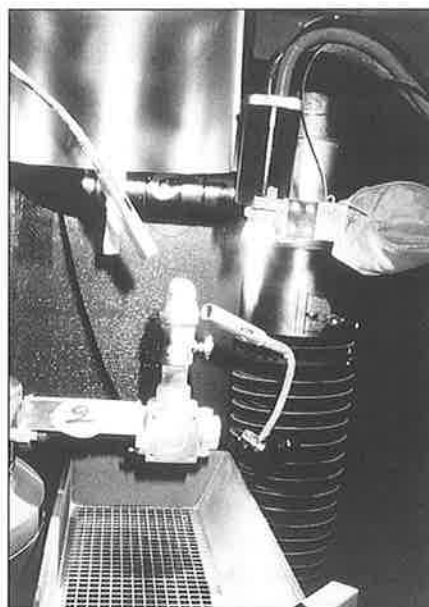


Figure 4 - Torche à plasma en "standby".

cité du dispositif durant son stockage. Le marché mondial de ces articles est de l'ordre de grandeur de celui du ciment ; Bioland vend beaucoup plus d'obturateurs que de ciment.

Revêtements

Le principal risque lors de l'utilisation des ciments découle de leur comportement en fatigue. A la longue, ils se fissurent et les prothèses se descellent. Ce phénomène intervient en moyenne une quinzaine d'années après l'implantation. Aussi, a-t-on cherché à éviter cette



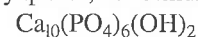
Figure 5 - Quelques modèles de prothèses de la hanche, tige et cotyle ; de nombreux exemplaires sont revêtus d'une céramique en hydroxyapatite.



Figure 6 - Revêtement de l'hydroxyapatite : détail montrant l'état de surface conçu pour optimiser la fixation de l'os.

méthode de fixation. On peut assurer la stabilité primaire de la prothèse par ajustement et tabler sur la repousse osseuse pour renforcer et pérenniser cette fixation. Afin d'améliorer cette dernière, on optimise l'état de surface de la prothèse à l'aide de treillages ou bien en frittant soit des billes soit des mousses métalliques. Ces techniques n'ont néanmoins pas connu les développements importants dont a bénéficié la technique de céramisation par plasma (figure 4) des prothèses avec de l'hydroxyapatite (figures 5 et 6).

L'hydroxyapatite, de formule :



est un sel de calcium de l'acide orthophosphorique dont la structure cristallographique et la composition sont très proches de celles de la phase minérale du

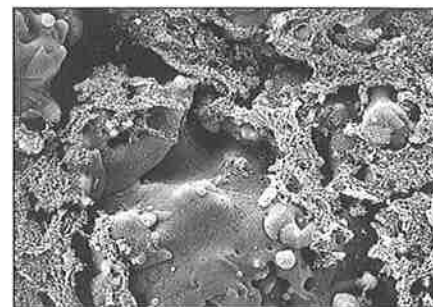


Figure 7 - Premières étapes de l'apparition d'un tissu néoformé immature. Microscopie à balayage de la surface d'une prothèse implantée chez l'homme (2 mois). La matière organique a été oxydée par NaOCl. On voit qu'une formation osseuse (gris clair) s'est développée à partir du dépôt d'apatite (gris sombre).

tissu calcifié. Aussi, une céramique d'apatite joue-t-elle le rôle de leurre pour les ostéoblastes responsables de la construction de l'os. Des lignées ostéoblastiques se disposent sur sa surface et la reconstitution du tissu se fait sur deux fronts qui convergent l'un vers l'autre (figure 7). D'où la formation rapide de tissu cicatriciel assurant la fixation secondaire de la prothèse (figures 8 et 9). Notons qu'en l'absence de ce phosphate, il se forme toujours, à l'interface implant-tissu, une couche de tissu fibreux ne garantissant pas des micromouvements responsables du descellement (figure 10).



Figure 8 - formation d'un tissu osseux mature, chez l'homme (6 mois). Microscopie optique par réflexion. Gris clair : zone médullaire, gris foncé : tissu nouvellement formé, zone parsemée de points : revêtements ($e \sim 130 \mu$), zone blanche : métal. On distingue les lamelles du tissu osseux.

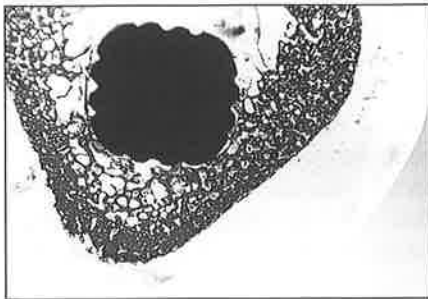


Figure 9 - Coupe transversale d'un fémur humain implanté par une prothèse revêtue d'hydroxyapatite. On distingue les trabécules osseuses "pontant" la prothèse au cortex osseux.

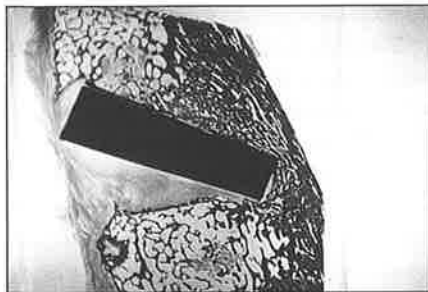


Figure 10 - Une partie de l'implant a été revêtue par l'hydroxyapatite : l'os se forme jusqu'à la surface de l'implant. Une partie n'a pas été revêtue, il s'est formé du tissu fibreux (gris clair).

Poudres d'apatite

Pour pouvoir céramiser, il faut disposer de poudres de composition, structure, texture adéquates. Bioland est l'un des principaux producteurs mondiaux de poudre d'hydroxyapatite : l'activité est néanmoins modeste puisqu'elle conduit à la préparation de 6 tonnes/an de produit essentiellement destiné à la consommation interne. La fabrication comporte une étape de précipitation-maturation (figure 11), une étape de broyage sélection et, enfin, une rectification par tamisage de la tranche granulométrique désirée. On produit ainsi des poudres dites "biorock". Bioland a mis au point la "bioroll", matériau granulé et fritté qui est en cours d'essai à la torche.

Céramiques

A partir de cette poudre, il est possible de diversifier les productions. On a vu que les céramiques de phosphate de calcium sont de bons supports de la cellule osseuse (figure 12). Elles constituent donc un environnement favorable à la multiplication de cette cellule et

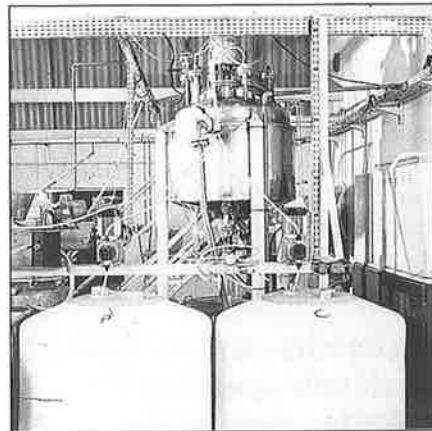


Figure 11 - Réacteur de préparation de l'hydroxyapatite et son environnement.

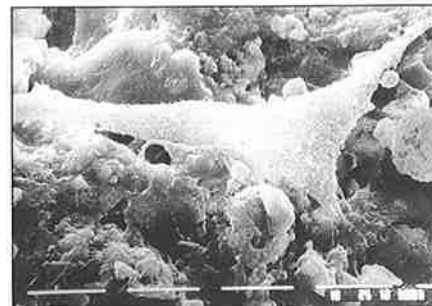


Figure 12 - Ostéoblaste développé sur un revêtement d'hydroxyapatite. Dans un milieu défavorable, celui-ci se rétracte en forme de boule (grossissement : barre = 10μ).

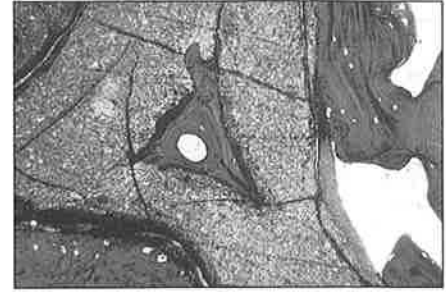


Figure 13 - Repousse osseuse à l'intérieur d'une céramique poreuse. Les zones recalciées sont en gris sombre.

secondairement à la reconstruction (figure 13).

Comme, par ailleurs, ces phosphates de calcium, apatite, phosphates tricalciques sont lentement solubles, on a imaginé de fabriquer des céramiques plus ou moins massives susceptibles d'être lysées et remplacées par de l'os (figure 14).

Les céramiques denses que nous proposons à nos clients ont diverses applications (figure 15). Certaines ont été utilisées pour réaliser des fusions vertébrales, d'autres constituent des coins d'ostéotomie. Beaucoup d'applications nouvelles sont envisageables mais elles ne s'imposeront que très lentement.

Les céramiques poreuses (figure 16) sont beaucoup plus facilement réhabilitables. Malheureusement, leurs propri-

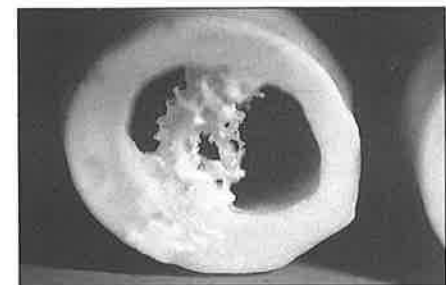


Figure 14 - Coupe d'un os de mouton après 2 mois d'implantation d'une céramique poreuse en phosphate de calcium. Celle-ci a été complètement réhabilitée dans la zone corticale.

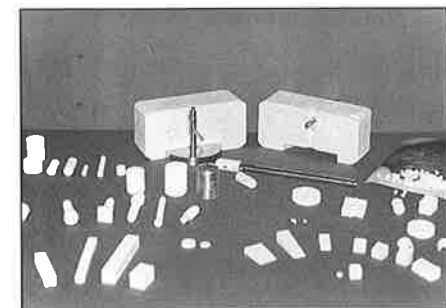


Figure 15 - Diverses formes de céramiques denses en apatite proposées à la vente. Au fond, moule de coulage en plâtre.



Figure 16 - Quelques échantillons de céramiques de porosité variable.

étés mécaniques deviennent rapidement médiocres lorsque le pourcentage de porosité augmente. Elles sont utilisables pour des comblements osseux dans des zones non contraintes. Les céramiques poreuses constituent une tentative d'imiter des textures de l'os spongieux. Cependant, les propriétés mécaniques de celui-ci sont incomparablement meilleures que celles des céramiques. Aussi, parallèlement, a-t-on essayé d'utiliser de l'os spongieux comme matériau de comblement.

Oxbone

Les pores de l'os spongieux contiennent des graisses et des matériaux antigéniques, membranes cellulaires par exemple, qu'il faut éliminer. On les dissout, on les oxyde avec divers réactifs. On peut aussi les détruire par calcination. Malheureusement, les réactifs chimiques pénètrent mal à l'intérieur d'un échantillon

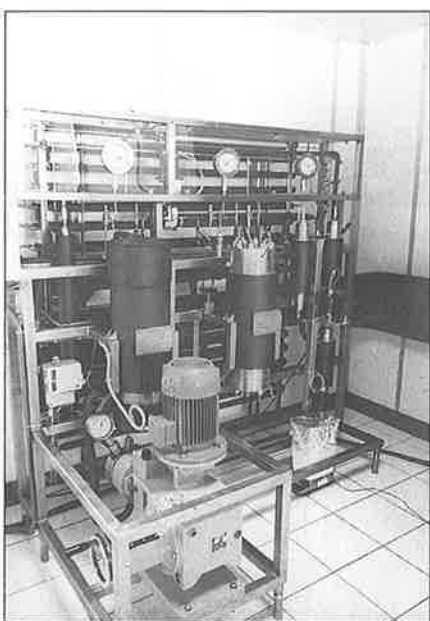


Figure 17 - Vue partielle de l'installation destinée à traiter les échantillons osseux sous atmosphère de CO₂ supercritique ; le réacteur est partie blanc, partie gris.

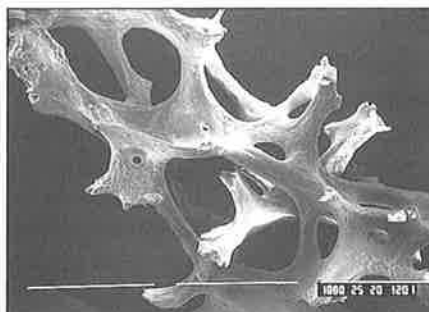


Figure 18 - Texture osseuse prête à l'emploi.

de trop grande taille et la calcination effondre les propriétés mécaniques. Bioland a mis au point une technique qui met en œuvre du gaz carbonique supercritique (figure 17). La société prépare ainsi l'"oxbone" (figure 18) qu'elle peut présenter sous la forme d'échantillons de grande taille recherchés par les chirurgiens, non pollués par les solvants chlorés usuellement mis en œuvre, dont les propriétés mécaniques et le comportement biologique sont remarquables.

Par ailleurs, nos chercheurs viennent de montrer que, de plus, le traitement est virucide, ce qui les a conduits à déposer un brevet et à proposer de traiter les os de banque humains. On améliore ainsi leur comportement biologique en supprimant tout produit antigénique et on assure surtout de manière quasi absolue la stérilité des échantillons. On peut espérer que le principal marché de matériau de comblement (on utilise des greffons d'origine naturelle dans 95 % des 250 000 interventions faites en Europe par an) est ainsi ouvert à la société.

Recherche-perspectives de développement des activités dans le domaine des biomatériaux

Pour mener à bien les recherches qui lui paraissent intéressantes, Bioland dispose, malgré son engagement financier sérieux (92-93, 45 % du chiffre d'affaires ; 94-95, 25 % du chiffre d'affaires), de ressources trop modestes à mettre à la disposition de son laboratoire. Dans une certaine mesure, elle pallie cette difficulté en collaborant avec les laboratoires de recherche du secteur public. Bioland n'a actuellement les moyens de s'intéresser qu'aux céramiques et couches minces bioréactives, aux polymères, aux matériaux d'origine naturelle.

Les grandes tendances dans le domaine sont, d'une part, l'amélioration des propriétés mécaniques des matériels ou, plutôt, leur adaptation aux usages prévus et, d'autre part, l'amélioration du comportement biologique du matériel : biodégradabilité, mais surtout ostéo-induction.

Amélioration des propriétés mécaniques

Envisageons succinctement les améliorations des propriétés mécaniques susceptibles d'être recherchées pour chacun des types de matériaux actuellement mis en œuvre ou potentiellement utilisables, que Bioland s'y intéresse ou non. La liste des études évoquées ici est loin d'être exhaustive.

Métaux

On continuera longtemps d'utiliser les métaux pour fabriquer des prothèses articulaires : diverses nuances d'aciers pour les dispositifs temporaires, le titane pour les prothèses de la hanche, le chrome-cobalt pour les prothèses du genou. Le titane de relativement faible densité est le matériau noble du moment. Comme ses propriétés tribologiques sont médiocres, on a préconisé l'implantation ionique d'azote.

Polymères structuraux

On recherche un module de Young voisin de celui de l'os pour améliorer la transmission des efforts et éviter que le tissu ne soit irrégulièrement contraint, les zones non soumises à l'effort se résorbant. Des tentatives ont été réalisées à grands frais, mais les études théoriques préalables ont été négligées, ce qui est parfaitement inconséquent. On a proposé comme matériau le polyéthyl-aryl-cétone chargé ou non chargé en carbone ; on a fabriqué des prothèses en carbone-carbone dont on sait que, tout au plus, elles ne se comportent pas plus mal que les prothèses métalliques.

S'il apparaissait évident, ce qui n'est certainement pas aujourd'hui le cas, qu'il y ait avantage à remplacer le métal par tout autre matériau, les freins au changement seraient moins puissants. Il n'est pas aisé de bouleverser les habitudes et, de plus, les chirurgiens sont très prudents lorsqu'il s'agit d'innover. Donc, pas de révolution, mais une évolution des formes, une utilisation de matériaux d'appoint, tels que les polymères biodégradables, pour réaliser les parties de

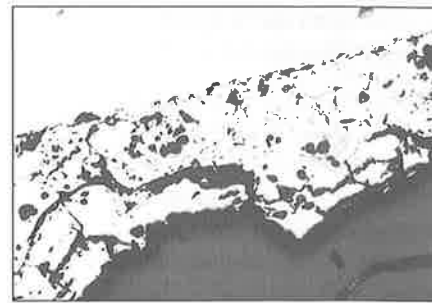
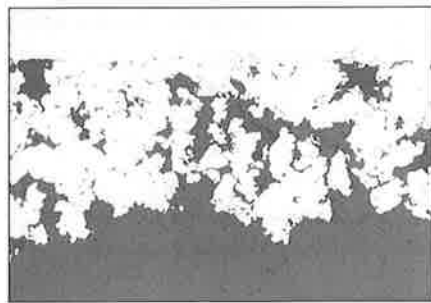
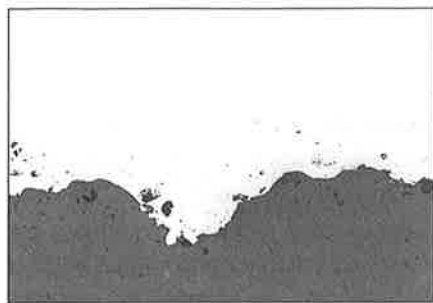


Figure 19 - Revêtements de titane sur des pièces massives de titane :

a : en atmosphère contrôlée.

b : sous vide.

c : à l'air.

prothèses uniquement utiles au moment de leur mise en place.

Revêtements

L'amélioration de l'état de surface des prothèses à revêtir a paru nécessaire car le phosphate de calcium participe au "turn-over" et le tissu calcifié vient à la longue au contact du titane. Or, les surfaces actuellement sablées ne participent pas idéalement à la constitution de l'interface tissu prothèse. Bioland a travaillé au développement d'une attaque électrochimique de la surface pour former des piqûres, mais le procédé était difficile à envisager industriellement. La société a donc finalement adopté le dépôt plasma sous atmosphère contrôlée (figure 19a) précédé par un nettoyage de la surface en polarisation anodique par rapport à la torche. Le procédé moins coûteux et plus efficace que le dépôt plasma sous vide (figure 19b) permet de déposer du titane allié exempt d'oxygène et d'azote contrairement à ce qui est proposé ici et là (figure 19c). Le procédé est actuellement expérimenté à Sevenans par le professeur Coddet.

Céramiques

Les progrès ne viendront pas seulement de l'utilisation de matériaux nouveaux, mais du développement de leurs applications. Les céramiques d'alumine sont d'un bon usage dans la construction de l'articulation de la hanche. Les céramiques de zirconium les remplacent avantageusement, leur meilleure ténacité permettant de réaliser des sphères de plus petit diamètre préservant le capital osseux du bassin. Actuellement, les céramistes ne fabriquent que des têtes de prothèses de la hanche parce que ce sont les seuls produits de grande série utilisés. Il est clair qu'il existe beaucoup d'autres "niches" qui pourraient être exploitées. Par exemple, les doigts, les poignets, et les genoux pourraient peut-être être en céra-

mique. On diversifierait encore mieux les usages si l'on pouvait fabriquer des matériaux hétérogènes : on le peut par plasma formage. On pourrait alors imaginer des pièces dont une partie en alumine ou zirconium assurerait le comportement mécanique nécessaire ; une partie en phosphate conférerait les propriétés biologiques.

On essaie aussi d'améliorer les propriétés mécaniques des céramiques en phosphate de calcium. La mise en forme des céramiques poreuses, le déliantage en particulier, pose problème. On cherche aussi à fabriquer des composites dont la ténacité serait améliorée. Le Laboratoire des céramiques de Limoges (professeur Bernache-Assolan) met au point une céramique d'apatite renforcée avec des plaquettes d'alumine. Ultérieurement, ces plaquettes seront remplacées par des monocristaux d'hydroxyapatite.

Ciments

Nous avons évoqué le médiocre comportement en fatigue des ciments acryliques. Bien évidemment, on pourrait chercher à les remplacer. Cependant, il serait assez difficile d'imposer un matériau nouveau au marché. Ducheyne (université de Pennsylvanie) a imaginé de remédier au médiocre comportement en fatigue des polyacrylates en leur incorporant des fibres de titane ; nous pensons que les utilisateurs seraient réticents, mais il est imaginable d'améliorer ce ciment en prêtant un peu attention aux produits de contraste, oxyde de zirconium en particulier qu'on leur incorpore. Pourquoi ne pas imaginer que l'oxyde de zirconium de texture adaptée devienne un produit de renfort ?

Ciments ioniques

Nous avons dit les réticences des chirurgiens pour ce qui concerne la mise en œuvre de ciments de type nouveau. Néanmoins, les éventuels ciments à base de phosphates de calcium ont suscité leur

curiosité, bien qu'il n'existe encore aucun produit dans le commerce.

Il est possible d'élaborer un ciment à partir d'une préparation fluide en mettant à profit une réaction chimique qui génère des cristaux. Par intrication de ceux-ci, à l'image du phénomène qui intervient lors de la prise du plâtre, il se forme un solide. Suite aux travaux du docteur Brown, Bioland a longuement expérimenté avec le docteur Lemaitre (EPF Lausanne) la préparation d'un ciment par réaction entre l'acide orthophosphorique et le phosphate tricalcique β . Le docteur Driessens (université polytechnique de Catalogne, Barcelone), qui a dénombré environ quatre cent cinquante possibilités de formulation du ciment, a proposé un ciment dont la prise en masse résulte de l'hydrolyse du phosphate tricalcique. La société Norian (États-Unis) semble vouloir commercialiser un ciment constitué d'apatite carbonatée. Malheureusement, ces matériaux de faible densité relative présentent des propriétés mécaniques médiocres. Il faudra les améliorer, éventuellement par renforcement à l'aide de fibres.

Ligaments

On vend en Europe 80 000 à 110 000 ligaments ; cette activité est en régression parce que les ligaments artificiels en polytétrafluoréthylène ou en polyester se rompent rapidement. Les chirurgiens leur préfèrent les ligaments naturels auto-logues. Il serait intéressant de voir si la tendance ne pourrait être inversée. Avant de chercher à fabriquer le ligament idéal, il serait peut-être utile d'étudier comment ces ligaments se rompent. L'un de nos collaborateurs actuels, au cours de son "VSNAT", a mené, en collaboration avec le Pr Guidoin (université Laval à Québec), une étude sur la rupture des ligaments. Les conclusions qu'il en a tiré le conduiront certainement à mettre au point un ligament de type nouveau.

Amélioration du comportement vis-à-vis du milieu environnant

Actuellement, nous nous efforçons surtout d'améliorer le comportement biologique des biomatériaux. Certains doivent être biodégradables. Certains autres doivent être capables de libérer des drogues, antimitotiques, anti-inflammatoires, antibiotiques. Il est intéressant que tous soient bioconducteurs. Idéalement, il faudrait maîtriser la bioinduction.

Biodégradations

Nous avons évoqué la biodégradabilité du phosphate de calcium, caractéristique d'autant plus marquée que celui-ci est plus acide. De nombreux autres matériaux sont certainement biodégradables ; encore faut-il que les produits de dégradation soient évacués sans mal pour l'organisme. Nous n'avons personnellement pas une grande expérience des matériaux polymères biodégradables. Il en existe certainement d'autres que les polylactiques et les polyglycoliques. Cependant, c'est à ceux-là que l'on s'intéresse actuellement.

Leurs propriétés mécaniques ne sont pas excellentes. Elles sont suffisantes pour certaines applications ; on pourrait d'ailleurs les améliorer en soignant leur mise en forme. Quelques sociétés telles que Purac ou Bohringer proposent des polylactiques, des polyglycoliques, des copolymères divers, de telle manière que l'on puisse choisir leur vitesse de dégradation. L'inconvénient de ces produits réside dans le fait que la dégradation, par hydrolyse, intervient tout d'abord au cœur de la pièce et est autocatalytique. Dans ces conditions, une quantité importante d'acide est libérée en peu de temps, ce qui est préjudiciable au phosphate du tissu. De plus, le phénomène provoque des réactions inflammatoires. On imagine les améliorations que l'on peut apporter à ces matériels qui sont actuellement utilisés sans trop d'état d'âme.

Les porteurs de drogue

On a besoin de porteurs de drogues, et il est proposé d'utiliser des microbilles de polymères biodégradables. D'autres proposent des ciments, des céramiques en phosphate. Tous ces supports doivent libérer le médicament de façon progressive et c'est là que réside la difficulté.

Chaque fois qu'une prothèse est mise en place, il existe un risque d'infection et l'on évalue le risque à 3,5 % de cas. Ceci

suscite l'intérêt pour les ciments acryliques aux antibiotiques. Évidemment, le même risque est encouru lorsque les prothèses sont mises en place sans ciment : il existe des dispositifs de prévention utilisables dans ce cas et Bioland, par exemple, dépose un brevet sur l'utilisation de l'un d'entre eux.

Ostéoinduction

L'amélioration des produits, l'extension des domaines d'application nous font progresser. Néanmoins, les innovations décisives seront le fruit du travail fondamental à mener par les biologistes ; aussi doit-on impérativement étoffer leurs équipes. Celles-ci apprendront dans l'avenir à manier des implants capables d'intervenir directement dans l'ostéogénèse. Il faut, en effet, conférer des propriétés d'ostéoinduction aux biomatériaux que l'on intègre à des tissus dont le potentiel régénératif est affaibli. Deux stratégies peuvent être adoptées : ou bien on associe des protéines morphogénétiques à des implants ostéoconducteurs, ou bien l'on cultive sur l'implant des cellules osseuses prélevées sur l'individu à traiter pour constituer un implant semi-vivant.

Une réunion dont le thème était l'utilisation des protéines morphogénétiques a eu lieu à Bordeaux, en juin dernier, au cours de laquelle il a été fait le point sur l'avancement des travaux de recherche dans ce domaine. Il en est ressorti essentiellement que les mécanismes d'action sont encore très largement méconnus. Le nombre très important de molécules actives et leur action conjuguée avec de nombreux autres facteurs de croissance rend ce domaine de recherche fort complexe. Les différents intervenants ont donc souligné que l'on était loin de pouvoir disposer de ces protéines ostéo-inductrices en pratique clinique courante. Le seul élément d'espoir vient de Genetic Institute (États-Unis) dont la molécule recombinante rh-BMP a donné de très bons résultats chez l'animal et est actuellement testée chez l'homme.

D'autre part, on a vu que l'ostéoblaste se développe de façon remarquable à la surface de céramiques en phosphate et l'on peut penser pouvoir reproduire *in vitro* des cellules prélevées sur un patient, puis les réintroduire sous la forme d'un implant semi-vivant. Nous avons conduit des essais positifs de ce type voici quelques années et nous nous

proposons de les poursuivre.

Dans ce domaine, il reste beaucoup de problèmes à résoudre avant d'atteindre un résultat tangible. Ils concernent la sélection des cellules et le recueil des cellules sélectionnées ; la différenciation de celles-ci dans le milieu de culture ; les risques de pérennisation ; l'amélioration du rendement des cultures et la manière dont serait organisée l'activité commerciale qui pourrait découler du projet.

Une seule équipe est incapable de mener celui-ci à bien.

Nous avons examiné au fil des ans le contenu des programmes européens. Les sujets abordés ne nous semblent pas souvent d'un intérêt capital. Si l'Europe veut résolument avancer dans le domaine des biomatériaux, elle devrait prendre pour thème principal l'ostéoinduction.

Conclusion

L'évocation des travaux dans lesquels Bioland s'implique ou devrait s'impliquer montre que le champ des recherches est très vaste, comprenant des études très appliquées à court terme et des travaux fondamentaux difficiles dès qu'il s'agit de prendre en compte les phénomènes de calcification et d'ossification. Ces travaux doivent évidemment être menés en collaboration entre la recherche publique et la recherche privée.

On peut imaginer la situation privilégiée d'une équipe de recherche, telle que celle de Bioland, du fait qu'elle est multidisciplinaire, comprenant médecin et biologistes capables de dialoguer avec les spécialistes des matériaux, de définir les besoins avec les chirurgiens leurs clients, dressant le cahier des charges des produits à réaliser, capable de mettre au point ces produits et d'assurer ensuite le passage de la fabrication en laboratoire à la production industrielle. Le fait que recherche et production soient associées, alors même qu'il ne s'agit que d'une simple PMI, l'une nourrissant l'autre, a été une idée fructueuse. Le développement commercial qui s'amorce plaide en sa faveur.

Et puis, le plaisir est grand pour les chercheurs de voir leurs idées donner naissance à des réalisations concrètes : des produits commercialisés.

Au carrefour de la recherche, de l'innovation et de la production

Sitef 95, le 8e Salon international des technologies du futur

Toulouse, 24-28 octobre 1995

Sitef 95, the 8th International Exhibition for research, innovation and production (Toulouse, 24-28 October 1995)

Sitef is a meeting place between fundamental research, transfer of technology organisms and industrial firms. Exhibitions, scientific and technologic meetings and conferences occur simultaneously. Its goal is innovation enhancement. The paper shows, through some chemical engineering examples, the economical interest of this kind of meeting place.

*Recherche publique, carrefour technologique, innovation.
Fundamental research, technological exchanges, innovation.*

Créé en 1981 à l'initiative de la chambre de commerce et d'industrie de Toulouse, le Sitef, manifestation biennale, constitue un lieu de rassemblement et de rencontre entre la recherche, les structures de transfert et les entreprises, destiné à promouvoir l'innovation, notamment dans les PME.

Le huitième Sitef, qui a été inauguré par Hubert Curien, s'est tenu à Toulouse du 24 au 28 octobre 1995.

Riche de ses 360 laboratoires de recherche et de ses 10 000 chercheurs, l'ensemble d'enseignement supérieur et de recherche toulousain (universités, écoles d'ingénieurs, CNRS, Inserm...) constitue assurément un interlocuteur de choix pour les nombreuses industries de pointe qui se sont installées en Midi-Pyrénées du fait, le plus souvent, de son existence. Cette situation justifiait, à elle seule, le lancement à Toulouse de ce lieu de rencontre. Mais son succès l'a conduit à dépasser très rapidement les limites de la région et même, suivant la volonté de ses créateurs, les frontières nationales.

Cette année, une cinquantaine de pays ont été représentés au Sitef en tant qu'ex-

posants, parmi lesquels on peut citer l'Indonésie, l'Allemagne, la Tunisie, l'Italie, Israël, la Chine, le Brésil...

Cinq thèmes majeurs ont été retenus :

- l'aéronautique et l'espace,
- l'information et la communication,
- les transports terrestres,
- la production industrielle,
- les industries des ressources naturelles et du vivant.

Le Sitef fait intervenir deux types d'activités :

1. Une présentation de stands.
2. La tenue de diverses conférences et colloques.

Les stands du Sitef

On y trouve à la fois des technologies récemment mises au point présentées par près de 500 entreprises, et des produits de la recherche publique, présentés par 80 laboratoires, dont certains interviendront sans aucun doute dans les technologies du futur.

Si la chimie était davantage présente dans le pôle "Industries des ressources naturelles et du vivant", elle s'est également exprimée dans les autres pôles, où le génie des procédés notamment, très présent à Toulouse, a naturellement trouvé sa place.

On peut citer plusieurs présentations intéressantes relevant de la chimie du vivant.

Le nez électronique

Jusqu'à présent, le nez humain est utilisé pour identifier les odeurs, tant en parfumerie que dans l'industrie chimique, la protection de l'environnement, l'agro-alimentaire...

Ce type d'identification, essentiellement subjectif, a été affiné en faisant appel à des "panels de nez" permettant d'effectuer des moyennes. Mais l'importance des odeurs, sur le plan économique et sur celui de la protection de l'environnement, conduit à rechercher une identification objective, quantitative, en faisant intervenir les capteurs physico-chimiques, et à traiter les résultats des mesures obtenues *après sépara-*



Figure 1 - L'odorimètre, un nez électronique mis au point à l'ENSCT.

tion des gaz, par l'informatique : pour cette technologie, la tendance actuelle est de multiplier et de diversifier les capteurs en vue d'affiner l'analyse et l'identification de l'odeur.

Il s'agit, toutefois, d'une technologie lourde, onéreuse, et qui ne permet pas de prises de décisions immédiates.

Le laboratoire de chimie agro-industrielle de l'École Nationale Supérieure de Chimie de Toulouse (ENSCT) a mis au point une technologie plus légère, le "nez électronique" ou odorimètre, dans le cadre d'une recherche sur les "capteurs d'odeurs intelligents" (figure 1).

Cette nouvelle technologie conduit à substituer aux capteurs de gaz de type semi-conducteur (oxydes métalliques dopés) connus depuis 1970, des réseaux de capteurs associés à une intelligence artificielle, qui permettent de mettre à profit la source importante d'informations que constituent (comme les cellules olfactives du nez) les capteurs chimiques d'odeurs *non sélectifs*. Le traitement de l'information que réalise "en ligne" le cerveau humain est ici partiellement dupliqué par un traitement informatique des signaux électriques générés par les capteurs. De ce fait, la combinaison de systèmes multicapteurs de type oxyde métallique au traitement informatique du signal (analyse statistique, réseaux de neurones) permet d'induire une *sélectivité électronique* autorisant la mesure de l'intensité d'une odeur, sa différenciation voire son identification.

Des travaux sont actuellement en cours à l'ENSCT en vue d'adapter de tels systèmes au pilotage de procédés industriels, les composés volatils constituant alors un paramètre, comme le sont la température ou le pH.

Dans le cadre d'un mandat de valorisation octroyé par l'Institut National Polytechnique de Toulouse, Midivaleur SA commercialise les Odorimètres LCA mis au point à l'ENSCT, et développe les logiciels de traitement informatique par réseaux de neurones.

Un exemple d'étude *in vivo* de complexes protéiques : le facteur de croissance FGF-2

On connaît actuellement neuf facteurs de croissance fibroblastiques. Le FGF-2 ou FGF basique (figure 2)

intervient dans la prolifération et la différenciation de très nombreux types cellulaires. Il est, de ce fait, très intéressant par les effets paradoxaux qu'il exerce sur les cellules : il peut être, en effet, essentiel à la vie (effet trophique, cicatrisant, régulateur) ou pathologique (tumeurs).

Ce paradoxe caractérise les molé-

approche permet une meilleure compréhension des modes d'action du FGF-2 dans la cellule normale ou dérégulée.

Elle pourrait constituer une base pour élaborer des médicaments capables de mimer ou d'inhiber l'activité des FGF-2 selon le type de pathologie cellulaire, notamment dans le système cardiovasculaire où ce facteur est essentiel.

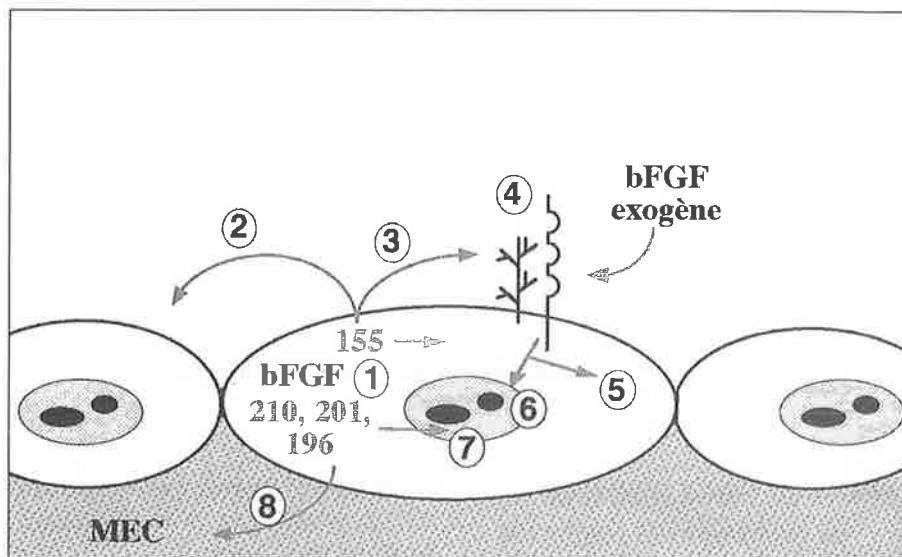


Figure 2 - Quatre isoformes (1) du facteur de croissance basique (bFGF ou FGF-2) sont synthétisées par les cellules endothéliales. Certaines isoformes seront sécrétées pour agir sur la cellule voisine (paracrine, 2) ou sur elle-même (autocrine, 3) si elle dispose de récepteurs (4). L'action est alors comparable à celle de bFGF dans le milieu (exogène) : activation des messagers secondaires (5) et/ou translocation nucléaire (6). D'autres formes de bFGF peuvent être adressées directement dans le noyau pour agir de façon intracrine (7). Elles peuvent aussi être déposées dans la matrice extracellulaire pour y être stockées (8). La régulation de ces événements semble très complexe et fait l'objet de nombreux travaux.

cules présentes dans les processus de développement ou de réparation des lésions : il est donc extrêmement intéressant de mieux comprendre leur fonctionnement, pour pouvoir éventuellement intervenir de façon différentielle.

Plusieurs chercheurs de l'unité Inserm U-397 (CHU Rangueil, Toulouse) ont développé un système d'étude *in vivo* des complexes multiprotéiques par lesquels agissent les facteurs de croissance FGF-2, dans la levure *saccharomyces cerevisiae*.

La synthèse de l'enzyme β -galactosidase dont on peut doser l'activité y est mise sous la dépendance de la formation de complexes soit entre le FGF-2 et lui-même (dimérisation du FGF), soit entre le FGF-2 et une protéine Y.

L'étude fonctionnelle de différents types de mutants du FGF-2, incapables de dimériser, permet d'étudier les rôles biologiques de ces complexes.

Jointe à une étude génétique, cette

Une entreprise née de la recherche fondamentale : Bioland

Les solides dérivés de l'hydroxyapatite, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ - la famille des apatites - existent à l'état naturel, notamment dans deux types de produits d'un grand intérêt pratique : les gisements de phosphates, matière première des engrais phosphates, de l'industrie de l'acide phosphorique et du phosphore, d'une part ; le constituant minéral des tissus durs (os et dents) des animaux vertébrés - et par conséquent des êtres humains - d'autre part.

Leur étude scientifique n'a pu être sérieusement entreprise qu'à partir des années 50, grâce à l'apparition progressive des techniques expérimentales indispensables à la compréhension de leur comportement souvent subtil.

Cette étude a duré plus de trente ans, mais les résultats obtenus conduisent actuellement à un développement

important de leurs applications. Les apatites constituent notamment, aujourd'hui, un biomatériau d'un grand intérêt, en chirurgie comme en médecine.

A la suite des recherches fondamentales poursuivies au Laboratoire de physico-chimie des solides de l'ENSCT, une entreprise, Bioland a été créée : elle exposait au Sitef 95 ses fabrications les plus récentes (voir G. Bonel, *L'Actualité Chimique*, 1996, 1, p. 16).

Le réseau des pépinières d'entreprises de Midi-Pyrénées

De nombreuses villes de la région Midi-Pyrénées ont mis en place une pépinière d'entreprises, destinée à favoriser la création et le développement de jeunes entreprises.

Ces pépinières se sont constituées en réseau, en vue d'étendre les contacts des entreprises créées avec l'ensemble des partenaires de la région - notamment les laboratoires de recherche publics et privés - et de leur offrir ainsi le maximum de facilités en matière de ressources financières, de conseils, d'appuis aux investissements matériels.

Le conseil régional a chargé un organisme, Miditech, que préside Antoine Gaset, professeur à l'ENSCT, de coordonner et d'animer cet "espace des structures de transfert".

Dix-huit organismes, coordonnés par



Figure 3 - Le stand Bioland au Sitef (octobre 1995).

Miditech, ont présenté des stands et animé des débats destinés à l'illustration de plusieurs de leurs interventions auprès du tissu économique : cette présentation a permis de montrer la diversité et l'efficacité de ces interventions.

Les conférences et colloques

Treize débats et dix-neuf conférences, d'une durée d'une heure à une heure et demie, portant sur des sujets très variés, se sont déroulés pendant les 4 journées du Sitef, dans le cadre de deux "espaces" :

- un espace "structures de transfert"
- un espace "débat-recherche".

Par ailleurs, plusieurs colloques ont été organisés à l'occasion du Sitef 95. Notamment, l'un d'entre eux, destiné à célébrer le 20^e anniversaire de la création du département des sciences pour l'ingénieur du CNRS, a permis d'entendre des conférences présentées par des chercheurs des laboratoires toulousains dépendant de ce département. On trouvera, dans ce numéro de *L'Actualité Chimique*, un article issu de la conférence présentée par Victor Sanchez, Henri Brunet et Yvan Segui, intitulée : Vingt ans du SPI et l'émergence du génie des procédés (voir V. Sanchez et coll. *L'Actualité Chimique*, 1996, 1, p. 26)

G. M.

Apports des spectrométries à la caractérisation des verres et matériaux sol-gel

Objectif : Avoir une vue d'ensemble sur les possibilités des techniques modernes de spectrométrie pour la caractérisation structurale et l'étude des relations structure propriétés des verres et matériaux sol-gel.

Programme : Techniques modernes de spectrométrie : IR, Raman, Brillouin, Neutrons, R.M.N., R.P.E., Micro-ondes, EXAF. Possibilités et limites de ces différentes techniques pour caractériser la structure, la dynamique et les relations structure propriétés de ces matériaux. Analyse des données spectroscopiques et complémentarité de la théorie et de l'expérience pour titer le meilleur parti des données spectroscopiques.

Date et lieu : du 14 au 19 avril 1996 au centre de formation de Garchy (58).

Inscription : service formation, CNRS, Délégation Ile-de-France Est. Tél. : 46.87.24.72.

Vingt ans du SPI (département des Sciences pour l'ingénieur du CNRS) et l'émergence du génie des procédés

Victor Sanchez* directeur de recherche CNRS, Henri Brunet** professeur, Yvan Segui*** directeur de recherche CNRS

In 20 years of the SPI, process engineering grows beyond its chemical engineering base

During the second half of the XXth century, chemical engineering, by becoming a scientific discipline, was able to solve numerous problems raised by the chemical industry. Its extension towards new fields of application was achieved by generalizing concepts that apply to any process for the transformation of matter and energy : it thus developed into process engineering. It is explained how this discipline was able to adapt itself to new requirements both by continuing its own inherent evolution and by exchange with other disciplines.

Génie des procédés, génie chimique.

Process engineering, chemical engineering.

Dans le domaine de l'industrie chimique, la recherche a connu une évolution très importante au cours du XXe siècle. Elle est passée de la chimie industrielle au génie des procédés par l'intermédiaire d'une étape primordiale : le génie chimique. Les procédés de fabrication des produits chimiques ont longtemps été décrits, ils le sont parfois encore, sous forme de monographies allant des matières premières jusqu'au produit fini. Un corps de connaissance a ainsi été élaboré

dans lequel les étapes de transformation de la matière (réactions, séparations...) sont propres au produit recherché.

Le génie chimique est né dans la première moitié du siècle sur le continent nord-américain, les chercheurs, ingénieurs et industriels étant alors confrontés au problème du raffinage du pétrole. Le constat de l'époque montrait que les procédés de chimie industrielle étaient tous constitués d'un petit nombre d'opérations unitaires basées sur des techniques semblables et sur des principes identiques. Ces opérations pouvaient dès lors être étudiées d'une manière plus scientifique par une analyse fine des phénomènes réactionnels et de transfert mis en jeu, ainsi que par une approche phénoménologique et systémique. En France, le génie chimique a connu son véritable essor au lendemain de la deuxième guerre sous l'impulsion de diverses personnalités (J. Cathala, M. Letort, H. Gardy et P. Le Goff) qui développaient les écoles de Toulouse et de Nancy.

La caractéristique principale de cette discipline est de s'être développée au contact de l'industrie sur une base matérielle et technique importante. En effet, dans la plupart des procédés, le technicien a le plus souvent précédé l'ingénieur

qui, homme de l'art, a fait fonctionner le procédé par son savoir-faire. Le chercheur en génie chimique a essayé de comprendre le fonctionnement des divers éléments et de les optimiser avant d'en imaginer de meilleurs. Il a su répondre à la demande du monde industriel, confronté à des problèmes variés et complexes, en introduisant une méthodologie d'étude nouvelle et généralisable, mais il a su aussi insuffler une dynamique propre en forgeant de nouveaux concepts, indépendamment des sollicitations, aptes à répondre à toute demande.

Dès lors, cette méthodologie d'approche scientifique des problèmes industriels a débordé du cadre de l'industrie chimique pour s'ouvrir vers de nouveaux champs d'applications. C'est ainsi qu'est né le génie des procédés en France au début des années 80. Il peut être défini comme " *l'ensemble des connaissances relatives à la conception et à la mise en œuvre des procédés industriels de transformation de la matière et de l'énergie* ".

Concepts, paradigmes

Les principaux concepts découlant de la recherche en génie chimique s'appliquent à tout procédé de transformation de la matière indépendamment du

* Laboratoire de génie chimique, Université Paul Sabatier, 118, route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex. Tél. : 61.55.60.64. Fax : 61.55.61.39.

** Centre de Physique des Plasmas et de leurs Applications, Université Paul Sabatier, 118, route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex. Tél. : 61.55.68.57. Fax : 61.55.63.32.

*** Laboratoire de génie électrique, Université Paul Sabatier, 118, route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex. Tél. : 61.55.67.16. Fax : 61.55.64.52.

Conférence présentée dans le cadre du Sitef (Toulouse, 24-28 octobre 1995), à l'occasion de la célébration du XXe anniversaire du département des Sciences pour l'ingénieur (SPI) du CNRS.

produit à traiter. Ils ont été décrits par de nombreux auteurs, en particulier par J. Villiermaux [1], de sorte qu'ils sont simplement résumés ici. Leur liste est loin d'être exhaustive.

Les opérations unitaires

Introduit par A.D. Little vers 1920 et décrit par G.G. Brown en 1950, ce concept qui consiste à découper les procédés en un enchaînement d'opérations élémentaires s'est révélé très fructueux. La liste des opérations s'est enrichie au cours du temps. Son intérêt réside dans la recherche de lois d'extrapolation et de dimensionnement ainsi que dans la recherche de schémas de circulation des fluides et des solides. C'est un excellent outil pour les études scientifiques et technologiques.

Les bilans de matière, d'énergie et de quantité de mouvement

Ces bilans reposent sur les équations de conservation, sur les lois d'équilibre et sur la cinétique. Ils peuvent être écrits au niveau macroscopique ou microscopique en fonction du degré de finesse recherché et de la complexité des phénomènes. Ils servent de base à la modélisation.

Analyse dimensionnelle

Il s'agit de la réduction des variables figurant dans les équations de bilan afin d'obtenir des corrélations de portée universelle. Cette façon de procéder n'est pas propre au génie chimique, mais cette discipline a beaucoup enrichi ces méthodes de normalisation pour l'étude du transfert de matière de chaleur et, également, pour rendre compte de propriétés physico-chimiques. La représentation des résultats expérimentaux sous forme de nombres sans dimension est un outil puissant d'extrapolation.

Phénomènes de transport

Le transport de matière à l'intérieur d'une phase, ou entre phases est une opération de base du génie chimique. L'approche unifiée de ces phénomènes a été réalisée progressivement jusqu'à la parution de l'ouvrage *Transport Phenomena* de Bird et coll., qui a montré une forme nouvelle de pensée permettant en particulier d'appréhender le couplage des

phénomènes considérés le plus souvent de manière isolée.

Auparavant, des concepts comme les unités de transfert de matière et de chaleur ou les hauteurs équivalentes de plateaux théoriques ont permis de représenter le fonctionnement des séparateurs de manière unifiée, lorsque la séparation est basée sur des lois d'équilibre.

Le réacteur

Cette opération est souvent considérée comme le cœur du procédé puisque c'est en son sein que s'effectue la transformation de la matière. Ici aussi, l'ouvrage de O. Levenspiel, en 1962, montrant que les phénomènes de cinétique physique combinés à la réaction chimique constituaient les éléments de calcul des réacteurs chimiques, a été déterminant. Ces concepts, en France, ont été développés et analysés par J. Villiermaux. Le réacteur parfaitement agité continu est un exemple d'un dispositif universel, utilisé également pour décrire le fonctionnement d'autres systèmes.

Approche systémique

Le génie chimique est confronté à des systèmes trop complexes pour être simplement résolus par une approche analytique. Il a dû définir des méthodes quantitatives plus globales basées sur des comportements, s'appuyant sur des relations entrée/sortie. C'est là l'une de ses caractéristiques essentielles, qui est connue sous le nom d'approche systémique. Deux exemples peuvent illustrer cette démarche.

Le premier, introduit par Danckwerts, en 1953, est relatif à la distribution des temps de séjour (DTS). Il a montré la possibilité de diagnostiquer très facilement, à l'aide d'un traceur, l'écoulement dans un réacteur complexe.

Le deuxième est le bilan de population qui généralise la DTS en décrivant dans l'espace et dans le temps une population d'entités quelconques possédant des propriétés caractéristiques évoluant dans le temps. Ce concept s'applique aux bulles, gouttes, grains...

Modélisation

La modélisation d'un phénomène, d'une opération ou d'un procédé est une

action de base ; elle s'accompagne parfois d'une simulation. En génie chimique, la modélisation ne vise pas à représenter un phénomène isolé, mais le plus souvent un ensemble de phénomènes couplés ou d'appareils conduisant à la fabrication d'un produit donné. Le modèle se base sur la phénoménologie, sur les réactions chimiques, sur les phénomènes de transport et de transfert, sur la thermodynamique ou tout autre propriété du système. Il peut être macroscopique ou microscopique, dans le premier cas en s'appuyant sur l'expérience, en fonction du degré de description ou de précision souhaité. Deux écueils sont à éviter : un modèle trop complexe ou un modèle trop simple, peu précis et difficilement utilisable.

Les modèles globaux, fondés sur l'approche systémique ont été développés pour deux raisons majeures :

- d'une part, à cause de la complexité des phénomènes et des systèmes ; ils nécessitent la formulation d'hypothèses simplificatrices et la recherche des phénomènes limitants,
- d'autre part, pour fournir un outil à l'ingénieur ; il faut pour cela donner une représentation simple d'un procédé avec une finesse adaptée aux informations disponibles.

Cependant, les chercheurs doivent de plus en plus mettre en œuvre des modèles locaux reflétant la structure fine d'un phénomène. Le problème est ensuite le passage d'une microéchelle à une macroéchelle pour représenter le système.

Évolution du génie des procédés

De nombreux articles ont été récemment publiés [2, 3, 4] sur l'évolution du génie des procédés dans les prochaines années. Cela est dû à une importante réflexion menée dans divers pays, notamment en France par le Groupe Français du Génie des Procédés.

Plusieurs facteurs sont à prendre en compte pour cerner ces nouvelles orientations.

1 - Le génie des procédés a su forger ses propres concepts qui ont permis de rationaliser des problèmes complexes afin de mieux les résoudre. Il s'est doté

d'un corps de doctrine qu'il convient de conforter.

2 - Des disciplines voisines ont déjà appliqué cette méthodologie et ces concepts pour leur propre recherche. C'est le cas, par exemple, de la biotechnologie [5]. D'autres champs d'application sont ouverts, ce qui place le génie des procédés à l'interface de diverses disciplines accentuant ainsi son caractère pluridisciplinaire.

3 - L'industrie est en pleine évolution car elle doit s'adapter à de nouveaux besoins de la société. La demande est tournée vers de nouveaux produits, l'accent étant mis sur la qualité et les propriétés d'usage. Ainsi, les ateliers de fabrication deviennent de plus en plus polyvalents et les critères évolutifs dans le temps. Les procédés doivent tenir compte de la sécurité de fonctionnement, de la fiabilité, de l'environnement (zéro défaut, zéro rejet), mais aussi de la qualité du produit en fonction de son utilisation ultérieure, enfin de l'économie des matières premières et de l'énergie.

Le chercheur doit donc faire face à de nouveaux défis parmi lesquels on peut citer [1] :

- 1) l'amélioration du rendement et de la sélectivité,
- 2) la fabrication d'un produit pour ses propriétés d'usage,
- 3) l'amélioration des méthodes d'extrapolation (micro et macro)
- 4) la sûreté, la conduite et la commande du procédé,
- 5) l'utilisation rationnelle de l'énergie,
- 6) la réduction des rejets ainsi que leurs traitements.

Ces défis posent des problèmes scientifiques et technologiques qu'il convient de résoudre pour donner naissance à de nouveaux concepts.

Ils sont, par exemple, liés :

- à la *dynamique des systèmes non linéaires* : comment prévoir la stabilité d'un réacteur donnant deux réactions consécutives ou concurrentes ? quelle est sa réponse à une perturbation ?

- au *micromélange* : comment l'obtenir ? par un écoulement turbulent, chaotique ?...

- au *pilotage local* : où fournir ou enlever l'énergie pour rendre le procédé plus économique ?

- aux *fluides complexes* : quelles grandeurs physico-chimiques doit-on utiliser pour les caractériser ?

- aux *catalyseurs* : comment les conce-

voir à la demande ? comment adapter et préparer le catalyseur pour un fonctionnement à l'échelle industrielle en maîtrisant l'activité, la sélectivité, le vieillissement ?

- au *traitement des solides divisés* : quelle doit être leur forme ou leur morphologie en fonction de leur propriété d'usage ?

La réponse à ces questions passe par une recherche de plus en plus fine qui va de l'échelle moléculaire à l'usine elle-même, ouvrant ainsi un champ d'action vers les disciplines voisines tout en restant à l'écoute du monde industriel.

Pour illustrer ces propos, quatre exemples sont donnés ci-après pour montrer l'évolution de la discipline ainsi que les besoins de collaboration avec des chercheurs travaillant dans l'élaboration de matériaux. Une multitude d'autres exemples auraient pu être choisis. Ils montrent que des concepts déjà anciens méritent d'être exploités dans toutes leurs potentialités et que de nouveaux concepts sont en émergence. Ils sont liés à l'évolution de l'industrie, aux besoins de la société mais aussi et surtout à l'évolution de la science.

L'émergence d'un génie bioélectrochimique

La production très sélective de molécules complexes à propriétés bien définies est un secteur de la chimie fine en fort développement représentant des enjeux économiques considérables. L'industrie pharmaceutique utilise, par exemple, un grand nombre de molécules chirales dont les propriétés thérapeutiques ne sont liées qu'à un seul isomère optique ; les autres isomères sont inefficaces, ou induisent des réactions secondaires indésirables, voire dangereuses. Des normes de plus en plus sévères exigent donc la mise sur le marché de produits de plus en plus purs. A l'heure actuelle, l'effort porte essentiellement sur les séparations et purifications en aval du réacteur de production et les moyens manquent pour gagner en sélectivité sur la synthèse même.

Parallèlement, les biochimistes et biotechnologues ont mis sur le marché une foule d'enzymes dont l'extrême sélectivité du mécanisme catalytique permettrait de produire des isomères optiques quasiment purs. Parmi ces enzymes, un grand nombre sont des

oxydoréductases, dont on ne sait pas encore exploiter de façon satisfaisante les propriétés de sélectivité exceptionnelles. Pourtant, elles contrôlent une multitude de réactions essentielles telles la fonctionnalisation de corticostéroïdes, utilisés comme anti-inflammatoires, les interconversions d'alcools en aldéhydes et cétones, qui sont des réactions centrales pour les industries des parfums et arômes, ou la production de diverses molécules chirales : L-amino acides, lactones, hydroxyacides... qui représentent des molécules de base pour la synthèse de composés pharmaceutiques complexes tels que pénicilline, céphalosporine, composés anti-obésité...

Dans ce cadre, la création de procédés bioélectrochimiques, qui associeraient l'utilisation d'énergie électrique, comme source ou puits d'électrons, avec la catalyse par les oxydoréductases, serait la solution optimale. Le bilan théorique global ne comporte qu'une entrée de substrat, une alimentation électrique et une sortie unique constituée du produit pur seulement pollué des restes de substrat non transformé. Ce constat fait, le Laboratoire de génie chimique s'est engagé dans la conception de tels procédés.

La première partie des recherches a consisté à analyser le détail du mécanisme réactionnel. La clef de la plupart de ces procédés se situe au niveau de l'oxydoréduction du composé nicotinamide adénine dinucléotide (NAD) qui intervient comme le relai électronique d'un très grand nombre d'oxydoréductases. Le rôle essentiel de cette étape réactionnelle explique le nombre important de travaux de nature électrochimique qui lui ont été consacrés. Ils démontrent tous que la réaction reste difficile à réaliser, surtout dans le sens le plus intéressant de la réduction, qui est trop peu sélective pour donner lieu au développement d'un procédé efficace. Ce problème, situé en amont des thématiques traditionnelles du génie des procédés, fut résolu grâce à la collaboration de biochimistes, biotechnologues et microbiologistes de la société Elf, de l'Insa de Toulouse et de l'université de Göttingen. Une enzyme fut ainsi identifiée, qui assure la catalyse de la réduction électrochimique du composé NAD et rend la réaction très rapide et sélective. Testé au niveau analytique sur la produc-

tion d'un L-acide aminé, le procédé s'est avéré largement assez performant pour entreprendre son extrapolation au réacteur de synthèse.

Plusieurs tentatives de développement avaient été effectuées préalablement par divers groupes de chercheurs. Aucun des procédés traditionnels proposés, tels que réacteur électrochimique agité ou électrode poreuse percolée, ne peuvent prétendre à un développement industriel car ils ne sont absolument pas adaptés à la mise en œuvre de catalyses enzymatiques très spécifiques.

La démarche suivie au laboratoire cherche à tirer profit des techniques mises au point à très petite échelle pour la conception de capteurs qui utilisent la même association de base électrode-oxdoréductase. La fixation des enzymes à la surface de membranes perméables appliquées contre l'électrode ou à l'intérieur d'une matrice polymérique adhérant à sa surface sont des techniques éprouvées dans ce domaine. Lorsqu'il s'agit de passer du capteur de quelques millimètres carrés au réacteur de synthèse, l'analyse théorique met en lumière l'extrême importance de la localisation des enzymes à l'intérieur ou à la surface de la structure polymérique. Dans cette couche appliquée à la surface de l'électrode, dont l'épaisseur n'excède généralement pas quelques dizaines de micromètres, la seule modification des lieux de fixation des enzymes peut induire des facteurs d'ordre dix sur la productivité du réacteur. De plus, l'agencement optimal des enzymes au sein de l'interface varie suivant les caractéristiques du système à traiter, si bien que l'architecture de l'interface électrode-enzymes doit être conçue en fonction du système réactionnel.

De la même manière, l'approche à la fois théorique et expérimentale du couplage entre réactions enzymatiques et transferts de matière montre l'importante limitation des performances due à la faiblesse des vitesses de transfert. Le problème a été résolu en créant, en collaboration avec des spécialistes du génie de l'élaboration des polymères, une technique de confinement des enzymes au sein d'un polymère électroformé donnant des structures beaucoup plus perméables, qui autorise simultanément une rétention maximale des enzymes. La modélisation des phénomènes, menée en parallèle avec l'approche expérimentale,

a constamment servi de guide à la mise au point de cette interface. Le dernier problème, qui reste à résoudre aujourd'hui, concerne les interactions entre enzymes et polymère qui engendrent dans certains cas une diminution sensible de l'activité enzymatique. Afin de lever cet obstacle, une collaboration avec des biochimistes maîtrisant les techniques de stabilisation et d'immobilisation des enzymes a été initiée, et quelques pistes s'en dégagent.

Dans le type de démarche suivie ici, l'efficacité du réacteur est conçue au niveau de la fabrication même de l'interface électrode-enzymes, en définissant la meilleure architecture possible, en modifiant les conditions locales du couplage réactions-transferts, en créant un environnement protégeant le catalyseur enzymatique... L'électrode, qui constitue ici le cœur du procédé, est construite en fonction du système réactionnel. Dans ce cadre, le développement du génie bioélectrochimique passe nécessairement par la conception et la maîtrise locale de nouvelles surfaces réactives.

Histoire du procédé de dépôt par plasma de couches minces diélectriques pour les composants électroniques

L'histoire débute en 1972, lorsque, ayant réalisé que, sous certaines conditions, une décharge électrique dans une vapeur basse pression pouvait permettre le dépôt d'un film mince (typiquement quelques centaines de nanomètres), une équipe du Laboratoire de génie électrique émet l'idée que l'on a là un moyen de fabriquer des couches d'isolants d'épaisseur largement inférieure à tout ce que l'on peut alors imaginer (les films plastiques les plus fins à cette époque étaient de l'ordre de 12 μm). Un fabricant de condensateurs, et le Laboratoire de génie électrique s'associent alors pour explorer cette possibilité dans l'objectif de fabriquer des condensateurs à très haute capacité volumique puisque la valeur de la capacité est proportionnelle à l'inverse de l'épaisseur.

Nous construisons alors un réacteur de dépôt de 12 cm de diamètre, 20 cm de haut à paroi de verre et muni de deux électrodes planes parallèles en laiton.

On crée un plasma dans des vapeurs de styrène et, pour une pression donnée, on dépose des films d'épaisseurs variables selon le temps de dépôt. Ces films sont caractérisés par leurs propriétés électriques (conductivité en courant continu et en courant alternatif, pertes diélectriques, champ de rupture diélectrique).

Certaines de ces caractéristiques sont bonnes (conductivité en courant continu et rupture diélectrique), d'autres doivent être améliorées. La variation des paramètres d'entrée n'est d'aucun secours pour cela : il faut alors développer des outils de diagnostics, si possible *in situ*, pour approcher les mécanismes qui entraînent des pertes diélectriques élevées. Une mesure des pertes, *in situ*, est alors mise en place et on montre que l'histoire post dépôt doit être prise en compte. Cette opération permet de préconiser un procédé qui améliore la performance mais qui ne permet pas de déterminer la cause du problème. On vient de démontrer que les pertes sont dues à la formation de liaisons chimiques polaires par recombinaison des sites actifs avec l'oxygène de l'air.

Il faut donc, maintenant, préciser les mécanismes de formation de sites actifs et leur durée de vie. Pour cela, un certain nombre de diagnostics permettant l'analyse des phénomènes à l'échelle ato-mique ou moléculaire sont mis en place : spectroscopie d'émission, spectroscopie infrarouge d'absorption d'un plasma. Les résultats de ces études permettent de déterminer la nature et les paramètres du plasma afin d'obtenir les meilleurs compromis entre vitesse de dépôt et qualité fonctionnelle des films déposés. Actuellement, on dépose des films de type silice à des vitesses de 5 000 A/min. Ces films ont des pertes diélectriques de 10^{-4} (au lieu de 10^{-2} dans les années 80), un champ de rupture de l'ordre de $10^{15} \Omega/\text{cm}$ sous un champ de 1 MV/cm.

On voit donc, à travers l'histoire de ce développement, que l'on a procédé par étapes successives conduisant chacune vers une asymptote. Partant d'une approche procédé, il a fallu ensuite introduire un diagnostic *in situ* s'adressant à la propriété recherchée ; puis il a fallu exécuter un retour vers la physique de base avant de retourner ensuite vers le procédé.

Procédés plasma pour dépôt de silicium amorphe en grande surface

Le problème posé en 1990 concernait le dépôt en grande surface (de l'ordre du m²) de silicium amorphe destiné à la conversion photovoltaïque. Il est né des travaux de l'ARC Pirsem qui regroupait la société Solems et quatre laboratoires dont trois toulousains : le Laboratoire de génie chimique (équipe de J.-P. Couderc), le Laboratoire de génie électrique (équipe de B. Despax) et le Centre des Plasmas et de leurs Applications (équipe J.-P. Bœuf).

L'analyse du problème a montré qu'il fallait prendre en compte plusieurs aspects :

- la modélisation de la décharge et du transport de la matière,
- l'ingénierie du réacteur,
- la caractérisation du matériau déposé.

Traditionnellement, ce genre de problème était traité en séquence au sein d'un même laboratoire. L'existence, sur un même site géographique, d'équipes complémentaires a permis de mettre en place une stratégie efficace et plus rationnelle. Dès le départ, les trois équipes toulousaines citées ci-dessus se sont associées pour prendre en compte les différents aspects du projet.

Pour répondre à la question posée, quatre étapes devaient être franchies :

1) La première étape d'un procédé plasma concerne l'apport d'énergie d'une source extérieure aux électrons du gaz. Ceci nécessite la modélisation de la décharge, ce qui permet de déterminer la densité et la fonction de distribution en énergie des électrons (résolution de l'équation de Boltzmann).

2) La création des espèces chimiquement actives résulte de l'interaction des électrons et des espèces moléculaires (SiH₄ et ses produits de dissociations). Au cours de cette étape, la cinétique chimique est établie à partir des différentes réactions électrons-neutres. Les constantes de réaction sont soit tirées de la littérature, soit introduites comme paramètre du modèle.

3) L'étape précédente fournit le terme source d'espèces ; il s'agit ensuite de modéliser leur transport dans un réacteur de grandes dimensions et d'apprécier leur répartition sur le substrat (résolution de l'équation de Navier-Stokes).

4) Il reste, enfin, à caractériser le procédé, ce qui est fait à travers l'analyse du produit déposé et la mesure de l'épaisseur des couches en divers points du substrat.

A l'issue de ces quatre étapes, on a montré que le procédé dans son ensemble était bien décrit par les modèles proposés. La validité du modèle présente un double intérêt, au niveau de l'optimisation et du contrôle du procédé.

L'optimisation peut porter :

- sur la recherche des meilleurs paramètres d'entrée (puissance, pression, débit),
- également sur la prédiction du comportement de réacteurs dont la géométrie est modifiée.

Le contrôle permet la détermination de la sensibilité des paramètres d'entrée et la mise en place de leur pilotage.

Le projet a duré 3 ans et permis à la société Solems d'améliorer le fonctionnement de son réacteur de dépôt de silicium amorphe. L'acquis des équipes a permis de confronter et même d'étendre leur collaboration dans le domaine des procédés de dépôt plasma de nitrure de silicium. Ceci se concrétise à travers un projet soutenu par les régions Midi-Pyrénées et Aquitaine, et regroupant des équipes de Toulouse, de Bordeaux et de Pau.

De la cristallisation industrielle vers la cristallisation élaborée

La cristallisation est une opération largement répandue dans la chaîne de fabrication des produits solides, qu'ils soient finis ou semi-finis. Elle concerne des secteurs aussi variés que la chimie de base, la chimie fine, l'agro-alimentaire, la pharmacie, les matériaux ou les pigments. Cette opération met en œuvre la génération et le développement de particules cristallines à partir d'une solution.

La conception, la simulation, l'extrapolation, l'optimisation et l'automatisation d'une opération de cristallisation passent par la définition d'expériences spécifiques, l'élaboration de modèles mathématiques et la valorisation par des essais pilotes.

Face à l'évolution de la demande industrielle, l'approche développée pour mettre en place ces modèles a conduit cette opération unitaire vers de nouveaux

concepts et a permis de créer ses propres objets. Cette émergence peut être illustrée par trois stades dans l'évolution de la cristallisation.

Les modèles globaux

Le but premier de la cristallisation industrielle est d'aboutir à un rendement maximal. Dans ce cas, des critères de taille ou de forme des cristaux ne sont pas imposés. Pour atteindre cet objectif de production en masse, des méthodes d'approche quantitatives globales ont été définies. Le cristalliseur est assimilé à un réacteur agité continu, il est qualifié d'idéal.

Les bilans simultanés de matière et d'énergie auxquels s'ajoutent les lois d'équilibres thermodynamiques sont à la base des modèles mathématiques décrivant le cristalliseur. Ces modèles globaux s'intéressent donc davantage aux relations entrée/sortie qu'aux lois locales de la physique. En s'appuyant sur l'expérience et le bon sens, on effectue des moyennes spatiales et des choix de paramètres judicieux. Ces modèles sont aujourd'hui insuffisants.

Les modèles complexes

La demande extérieure du monde industriel confronté à des problèmes variés et difficiles d'environnement, d'énergie, de sécurité et de qualité a conduit à modifier les critères de fabrication des cristaux. L'industrie doit de plus en plus synthétiser des propriétés en vue d'applications spécifiques plutôt que des produits de formule définie. Le contrôle de la taille et de la forme des cristaux devient un critère prépondérant. La recherche s'est ainsi tournée vers une analyse aussi fine que possible des phénomènes déterminant ces propriétés. La conception du cristalliseur est effectuée à partir de données de base, en distinguant bien ce qui relève des contraintes thermodynamiques, de l'hydrodynamique, des transferts de matière et de chaleur et de la cinétique intrinsèque de la transformation. Cette démarche s'appuie sur des essais en maquette froide et des mesures dans des appareils appropriés isolant la contribution de chaque phénomène : nucléation, croissance, attrition, agglomération, ceci en vue d'établir les lois phénoménologiques associées.

La panoplie des trois bilans classiques

matière, énergie, quantité de mouvement s'enrichit ainsi d'un bilan portant sur la taille des cristaux dont on peut prévoir l'évolution. Il s'agit d'un bilan de population qui repose sur la statistique d'une population de cristaux en écoulement et sur la probabilité qu'ils ont de séjourner pendant un temps donné dans le cristalliseur. Ce bilan permet de déterminer la distribution de taille des cristaux dans un cristalliseur continu.

On s'efforce alors de bâtir un modèle flexible et modulaire où la complexité est ajustée à chaque instant aux nécessités de l'application considérée.

La cristallisation élaborée

Les recherches précédentes ont montré que la taille et la forme des cristaux sont les propriétés clefs qui conditionnent leur valeur d'usage. Il faut donc pouvoir créer de manière reproductible des conditions de fabrication parfaitement contrôlées. L'une des voies possibles est celle de la cristallisation que nous appelons "élaborée" ou cristallisation en émulsion. Elle permet de s'affranchir des contraintes liées au procédé.

Le principe consiste à produire une émulsion dont les gouttes sont de taille calibrée et à provoquer la cristallisation du produit désiré, à l'intérieur de ces gouttelettes. L'application considérée dans notre cas est celle de la fabrication de grains sphériques constitués d'une multitude de cristaux de principe actif pharmaceutique. Ce procédé met en œuvre un solvant S_1 du principe actif, un non-solvant S_2 ainsi qu'un agent émulsifiant. S_1 et S_2 doivent être miscibles. La méthode consiste à couler une solution du principe actif dissous dans son solvant S_1 à la température T_1 dans le non-solvant S_2 contenant l'agent émulsifiant et maintenu à une température T_2 . Une émulsion constituée de gouttelettes de solution de principe actif apparaît alors. Le transfert thermique dû à la différence de température T_1-T_2 et le transfert de matière résultant de la diffusion à contre-courant de S_1 qui sort de la gouttelette et S_2 qui pénètre à l'intérieur de la gouttelette, conduisent la gouttelette à un état de sursaturation limite permettant l'apparition du solide.

La forme des agglomérats sphériques et leur texture (porosité, masse volumique) dépendent de la physico-chimie du système composant la goutte d'ori-

gine et de l'intensité des transferts de chaleur et de matière ainsi que de celle des circulations internes. L'analyse de l'influence des paramètres opératoires a permis de dégager un mécanisme de formation des grains en trois étapes, formation des gouttelettes, création de la sursaturation et cristallisation du principe actif. La taille initiale des gouttelettes formant l'émulsion gère les structures internes des grains en jouant sur l'importance respective des phénomènes mis en jeu. Les étapes de création de la sursaturation et de cristallisation ont été modélisées.

Ainsi, dans cette étude, la méthodologie appliquée au cristalliseur a été transposée à l'échelle de la goutte. Cette dernière agit comme un micro-cristalliseur avec des transferts et une hydrodynamique propre.

La recherche en cristallisation développe des théories et techniques qui permettent de gérer et d'optimiser les propriétés des produits. Pour atteindre cet objectif, de nouvelles connaissances ont été développées qui font le lien entre les composés de départ, le procédé d'élaboration et les propriétés industrielles. Cette démarche s'applique à toutes les échelles de phénomènes.

Conclusion

La transformation chimique, biochimique ou physique de la matière et de l'énergie passe par des procédés dont l'appréhension, la connaissance et la mise en œuvre sont complexes. Pour résoudre les problèmes posés, des solutions originales ont été imaginées, ne relevant pas d'une simple juxtaposition de chimie, de thermique et de mécanique. Il a fallu "simplifier" la complexité en introduisant des concepts scientifiques propres à la discipline.

C'est là l'originalité de la démarche scientifique du génie chimique. L'universalité des concepts a permis leur application à des domaines différents de l'industrie chimique. Le génie des procédés ouvre ainsi des horizons nouveaux amplifiant l'approche pluridisciplinaire des problèmes posés.

L'évolution de cette nouvelle discipline doit ainsi être à la fois la continuité du génie chimique et la diversification.

La continuité, car le chercheur doit

affermir son corps de doctrine en restant le scientifique qui met au point de nouveaux concepts généralisables qui soient en particulier exploitables par l'ingénieur. La diversification, car ces concepts ne pourront résulter que d'une collaboration entre chercheurs de disciplines voisines et d'une ouverture vers des champs d'application nouveaux.

Références

- [1] Villermaux J., *Le génie des procédés, une science clé pour l'ingénieur*, chapitre 1, *Technique et Documentation Lavoisier*, (Paris), **1993**.
- [2] Villermaux J., Future challenges for basic research in chemical engineering, *Chem. Eng. Sci.*, **1993**, 48, p. 2525-2535.
- [3] Amundson N.R., *Frontiers in chemical engineering : research needs and opportunities*, National Academy Press, Washington DC, **1987**.
- [4] Astarita G., Frontiers in chemical engineering, *Chem. Eng. Prog.*, **1992**, p. 55-59.
- [5] Bailey J.E., Ollis D.F., *Biochemical Engineering Fundamentals*, Mc Graw-Hill International Editions, **1987**.

An
International
Journal for
Busy Chemists

Journal of

CHEMICAL
RESEARCH

Journal of Chemical Research is:

COMPREHENSIVE – JCR publishes reports of original research in all areas of chemistry

BRIEF – JCR appears in two parts; Part S contains synopses of research papers of only one or two pages - brief enough to scan quickly

DETAILED – JCR also offers Part M, containing the full texts of research papers given in synopsis form in Part S, and is available in microfiche or miniprint format

UNIQUE – JCR is the only international chemistry journal in this unique synopsis and microform format

INTERNATIONAL – JCR contains topical research from key authors all over the world

1996 PRICES (12 ISSUES)

PERSONNES PHYSIQUES

PARTIE(S) SYNOPSES	F 455
PARTIE(S) SYNOPSES + (MF) MICROFICHE	F 1,210
PARTIE(S) SYNOPSES + (MP) MINIPRINT	F 1,210

For further information, or to order, please contact

Société Française de Chimie,
250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris, France.

Tél: +33 (1)43 25 20 78

Télécopie: +33 (1)43 25 87 63



Société
Française
de Chimie



The Royal
Society of
Chemistry



Gesellschaft
Deutscher
Chemiker

Les grandes installations chimiques

Évolution progressive ou sauts technologiques ?

Jean-Paul Euzen* directeur adjoint de la division génie des procédés, Pierre Trambouze* conseiller scientifique

Large chemical plants : improvements in small steps or large jumps ?

The largest existing chemical plants are found in refineries. The main processes concerned are hydrotreating, catalytic cracking, catalytic reforming, steam cracking.

Due to the high expenditures required for the development of such processes and the large investments for implementing the corresponding huge plants, it is generally considered that progressive and stepwise improvements are more easily performed than profound changes in the technology. However, through this pragmatic way of proceeding, very important improvements have been made in the processes during the last thirty years, and this fact will be illustrated by the presentation of examples concerning the most important refining processes.

Industrie chimique, vapocraquage, craquage catalytique, reformage catalytique.
Chemical industry, steam cracking, catalytic cracking, catalytic reforming.

Si on considère le développement du raffinage durant les cinquante dernières années, on peut constater des évolutions très importantes à la fois sur le plan quantitatif et qualitatif. Le nombre et la capacité des raffineries ont considérablement augmenté, tandis que la structure de chaque raffinerie s'est notablement complexifiée.

Néanmoins, si on se réfère à certains procédés de base présents dans presque toutes les raffineries ou complexes pétrochimiques, on pourrait avoir tendance à conclure qu'il n'y a pas eu de progrès, vu que l'on retrouve les mêmes procédés en 1995 qu'en 1945. C'est le cas de procédés, construits à des capacités croissantes, tels que le vapocraquage, le craquage catalytique et le reformage catalytique [1]. Ces procédés ont été inventés dans les années quarante et sont encore construits actuellement ; si les principes de base sont restés les mêmes, par contre la technologie a profondément évolué entraînant des gains de performances considérables. Ces évolutions ont été progressives ou bien sont le résultat de discontinuités. La figure 1 représente l'évolution des capacités totales installées au niveau mondial pour ces trois procédés.

C'est ce que nous allons voir en les considérant successivement et en retraçant les grandes lignes des évolutions qui, au fil des années, leur ont permis de s'adapter à la demande du marché et d'améliorer leur rentabilité économique.

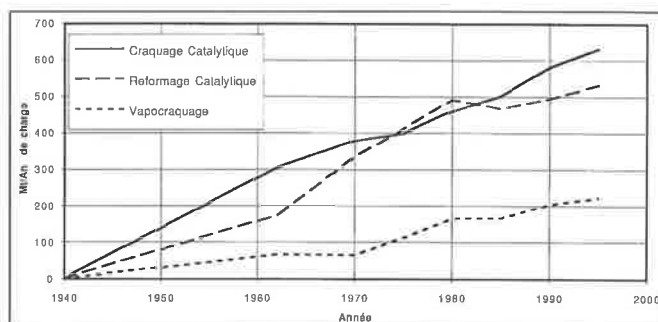


Figure 1 - Évolution des capacités installées en vapocraquage, craquage catalytique et reformage catalytique.

Le procédé de vapocraquage

Le vapocraquage produit en premier lieu l'éthylène, mais aussi le propylène et secondairement, selon la charge utilisée, une coupe C_4 riche en oléfines et butadiène et une coupe C_{5+} à forte teneur en aromatiques. C'est donc un procédé de base pour la pétrochimie. Comme son nom l'indique, on réalise une pyrolyse en présence de vapeur d'eau pour tirer profit de l'instabilité à haute température des paraffines et des naphènes relativement à celle des oléfines et des aromatiques.

Les deux principales réactions sont la coupure de la liaison carbone-carbone et la déshydrogénation. Ces réactions sont endothermiques et équilibrées, donc favorisées à haute température.

A ces deux réactions principales se superposent des réactions secondaires de condensation d'oléfines en produits plus lourds, aboutissant à la formation de coke. Si les réactions principales sont favorisées par un abaissement de la pression, les réactions secondaires deviennent d'autant plus importantes que la pression partielle en hydrocarbures augmente [2].

* Institut Français du Pétrole, CEDI, BP n° 3, 69390 Vernaison.
 Tél. : 78.02.20.20. Fax : 78.02.10.51.

Conférence présentée au congrès Large Chemical Plants (Anvers, Belgique), 4-6 octobre 1995.

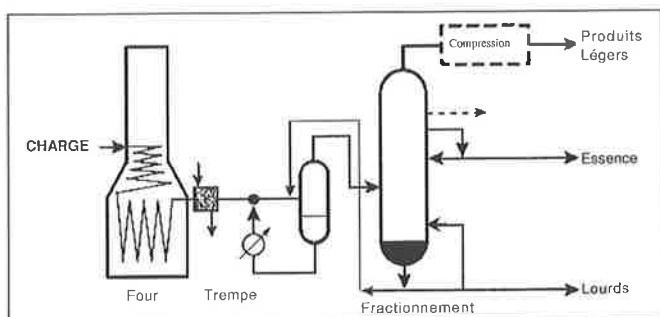


Figure 2 - Schéma d'une unité de vapocraquage [3].

On peut donc résumer comme suit les recommandations qui peuvent être tirées de la thermodynamique et de la cinétique :

- apport de chaleur important à température élevée (supérieure à 800 °C),
- pression partielle des hydrocarbures aussi faible que possible,
- temps de séjour à haute température très court, de manière à éviter les réactions secondaires,
- trempe vigoureuse à la sortie du réacteur pour stopper l'ensemble des réactions.

La technique retenue pour répondre à ces différents impératifs consiste à faire passer, dans des tubes chauffés dans un four, un mélange d'hydrocarbures et de vapeur d'eau. Portés à haute température, les hydrocarbures sont pyrolysés et les produits résultants sont séparés après une trempe brutale (figure 2)[3, 4]. Le réacteur tubulaire est, en effet, le mieux à même de satisfaire toutes les exigences énoncées ci-dessus. Compte tenu des températures requises, le transfert de chaleur est difficilement envisageable autrement que par radiation. Pour ce qui est de la faible pression partielle des hydrocarbures, on est amené à introduire de la vapeur d'eau de dilution, tout en gardant une pression totale légèrement supérieure à la pression atmosphérique à la sortie du tube.

En ce qui concerne les charges utilisables en vapocraquage, il en existe une très grande variété, puisque cela va de l'éthane à un gasoil sous vide. Les rendements en produits obtenus dépendent évidemment de la charge craquée et c'est là un des premiers éléments économiques à prendre en compte. Suivant

la charge, les conditions opératoires optimales ne seront pas les mêmes, mais on peut cependant utiliser le même four pour traiter diverses matières premières. Une flexibilité vis-à-vis des charges et donc des conditions opératoires est par conséquent primordiale [5].

Nous l'avons signalé, les réactions secondaires engendrent des produits lourds qui, de manière ultime, conduisent à la formation de coke, qui se dépose sur les parois internes du tube, obligeant ainsi à procéder à des décockages réguliers par combustion du coke déposé. La vitesse de dépôt de coke augmente avec le poids moléculaire de la charge traitée. Ainsi, pour un gasoil sous vide, le cycle opératoire peut devenir inférieur à 10 jours, ce qui n'est guère acceptable en pratique.

Compte tenu de toutes les contraintes que nous venons d'évoquer, la conception des fours de vapocraquage n'a cessé d'évoluer, en particulier depuis 1950, date depuis laquelle la demande en éthylène a eu une forte croissance. Beaucoup d'efforts ont été déployés par les constructeurs de fours de pyrolyse pour en améliorer les performances.

Les premiers fours construits durant la seconde guerre mondiale, et ce jusque vers 1960, étaient conçus pour opérer à temps de séjour relativement élevés et avec des sévérités faibles. Les tubes de diamètre intérieur compris entre 90 et 140 mm étaient disposés horizontalement et atteignaient une longueur totale de l'ordre de 100 m (figure 3a). La seconde génération de fours est apparue vers 1960, avec l'emploi de tubes verticaux dans la zone de radiation, ce qui permettait d'atteindre des températures plus élevées.

L'évolution de la conception des tubes de craquage a alors répondu aux objectifs suivants (figure 3) :

- réduire le temps de séjour,
- augmenter la température de sortie,
- réduire la perte de charge.

La première démarche logique est donc de réduire la longueur des tubes, avec pour corollaire l'augmentation des flux thermiques. Comme ce dernier paramètre ne peut pas être augmenté à volonté (maximum 100 kW/m²), on doit donc rapidement réduire le diamètre des tubes et placer des tubes en parallèle. Ceci a été une tendance générale des constructeurs comme on peut le voir sur le tableau I.

Tableau I - Caractéristiques des principaux tubes de fours de vapocraquage.

Désignation	Diamètre intérieur (mm)	Longueur (m)	Temps de séjour (s)	Capacité éthylène(t/an)	Type (cf. fig 3)	Constructeur	Référence
	90-140	100	>1		Horizontal, diamètre uniforme (a)		
SRT-1			0,6-0,7	30 000	Vertical, diamètre uniforme (b)	Lummus	Kniel [6]
SRT-2 HS			0,3-0,35	25 000	Tubes à entrées multiples (c)		
SRT-2 HC			0,5-0,6	45 000	Tubes à entrées multiples (c)		
SRT-3			0,27-0,45	50 000	Tubes à entrées multiples (c)		
LSUC	50-125	60-70	0,3-0,4	50 000	D constant	Linde et Selas	Kniel [6] Lohr [7]
LSSC	50-150	70-80	0,3-0,4	70 000	D variable. Entrées multiples (c)		
LSCC	60-150	45-60	0,2-0,4	70 000	D variable		
USC-U	50-75		0,35		D variable type U (d)	Stone & Webster	Bohlin [8]
USC-W	50-95		0,35		D variable type W (e)		
MK			0,5-0,6	35 000	Vertical, diamètre uniforme (b)	KTI	Kaiser [4]
GK-I			0,3-0,4	50 000	Tubes à entrées multiples (c)		
GK-II			0,3-0,4	90 000	Tubes à entrées multiples (c)		
Millisecond	50-75	10-12	0,08-0,10		Simple tube vertical (f)	Pullman-Kellogg	Ennis [9]
HMC	50-75		0,3-0,35		Tubes à entrées multiples	Selas-Hitachi	Yonezawa [10]
M-TCF			0,3-0,6	50 000	Vertical, section elliptique	Mitsubishi	Kniel [6]

On peut, en particulier, remarquer les tubes à entrées multiples et diamètre variable, qui permettent de réaliser de fortes variations de la section de passage au fur et à mesure que la réaction se déroule. Ce genre d'arrangement présente effectivement un certain nombre d'avantages :

- 1) dans la première partie du réacteur, plusieurs tubes de faible diamètre en parallèle permettent de transférer rapidement la chaleur pour atteindre la température de la réaction. Dans cette zone du réacteur, les réactions secondaires ne peuvent se dérouler que lentement et la perte de charge a peu d'importance ;
- 2) dans la dernière partie du réacteur, on a un seul tube de fort diamètre. On réduit ainsi la perte de charge, ce qui est important puisque c'est là que les réactions secondaires sont les plus rapides. Par ailleurs, le dépôt de coke, lié aux réactions secondaires, se fera sans trop réduire la section du tube [11, 12].

Certains constructeurs, comme Kellogg [9], ont d'ailleurs poussé cette évolution jusqu'à l'extrême pour aboutir à des tubes très courts (10-12 m) et de faible diamètre, pour obtenir des temps de séjour très faibles de l'ordre du centième de seconde (figure 3-f).

Des recherches ont également été faites pour réduire encore le temps de séjour tout en augmentant la température, jusque là limitée par la tenue des tubes ; ceci n'est possible que par la mise en œuvre de nouveaux matériaux céramiques et, éventuellement, en adoptant un chauffage électrique [13]. D'autres tentatives ont été faites pour augmenter la surface disponible pour le transfert thermique, en munissant les tubes d'ailettes internes ou en donnant à la section des tubes des formes non circulaires, plus ou moins complexes.

Néanmoins, cet aboutissement n'est pas forcément la réponse unique au problème face à toutes les contraintes du système. En effet, si l'optimisation du réacteur est un facteur important, la rentabilité du procédé dans son ensemble dépend également de facteurs liés à l'exploitation, comme la fréquence des décokages.

Le problème du cokage des fours et des échangeurs de trempes a été plus particulièrement l'objet d'attention durant les dix dernières années. Pour les tubes de four, de nouveaux matériaux réduisant la vitesse de dépôt du coke ou des systèmes permettant de décoker en continu ont ainsi vu le jour [13, 14]. Par ailleurs, de nouvelles conceptions des systèmes de trempes à la sortie des fours ont permis de résoudre les problèmes liés à l'utilisation de charges comme des gasoils sous vide [8].

A ce sujet, il faut noter que la tendance est de se ménager la possibilité, pour l'avenir, d'utiliser des charges variées, compte tenu de l'incertitude relative aux disponibilités et prix des matières premières.

Pour accompagner toutes ces évolutions et les conforter, des recherches importantes relatives à la cinétique des nombreuses réactions intervenant dans le vapocraquage ont été menées, de manière à simuler l'ensemble du réacteur et, en particulier, à prévoir l'influence des caractéristiques des charges [15]

Nous avons mentionné plus particulièrement les progrès faits dans la conception des fours, mais il est clair que des évolutions analogues ont eu lieu pour les autres parties des unités, en particulier les échangeurs de trempes et toute la partie séparation de l'effluent, pour lesquels des améliorations extrêmement importantes ont été réalisées.

Nous l'avons dit, l'incertitude pour l'avenir concerne essentiellement les matières premières qui seront disponibles et leurs

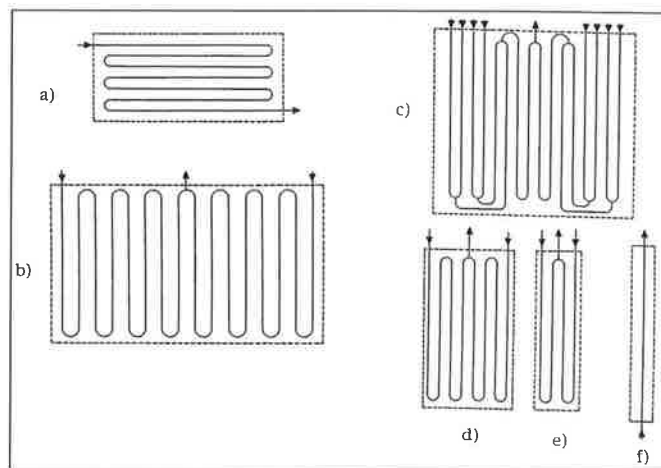


Figure 3 - Différents types de tubes de craquage :

a) Tube horizontal, b) Tube vertical, diamètre uniforme, c) Tube à entrées multiples, d) Tube avec diamètre variable, type W, e) Tube avec diamètre variable, type U, f) Tube vertical de faible diamètre.

prix. D'ores et déjà, de nouvelles technologies sont étudiées de manière à pouvoir, si nécessaire, utiliser des charges qui seraient disponibles à moindre coût, telles que les résidus pétroliers [16].

Le procédé de craquage catalytique

Il s'agit là encore d'un procédé, dont le principe remonte juste avant la seconde guerre mondiale, au cours des années 30, proposé par un ingénieur français Houdry. Il consiste à utiliser un catalyseur solide, de type silice-alumine, pour craquer les hydrocarbures lourds en fractions plus légères (GPL (gaz de pétrole liquéfiés) essence et gasoil). Les trois techniques envisageables pour une telle réaction, à savoir lit fixe, lit mobile et lit fluide, ont été successivement utilisées. Parallèlement à ces progrès de la technologie, des améliorations considérables ont été obtenues par le développement de nouveaux catalyseurs, en particulier avec l'apparition des zéolithes [17-19].

Les grandes étapes de l'histoire du procédé de craquage catalytique sont indiquées dans le tableau II. La capacité totale installée des unités de craquage catalytique de par le monde n'a cessé d'augmenter depuis 1940, comme indiqué sur la figure 1.

La première technologie était basée sur le lit fixe, dans lequel alternaient des phases de craquage puis de régénération par combustion du coke déposé au cours du craquage (figure

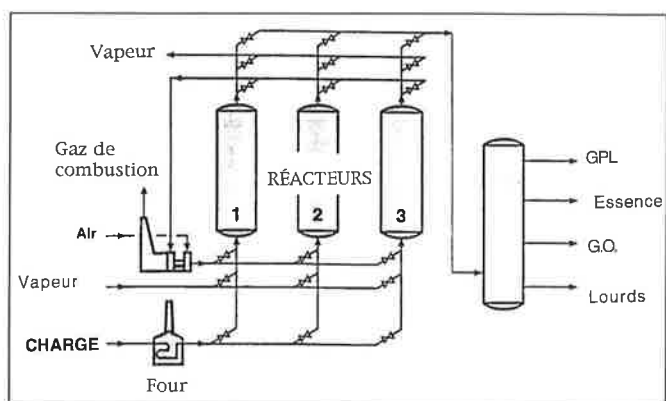


Figure 4 - Schéma d'une unité de craquage catalytique en lit fixe suivant le procédé Houdry [17].

Tableau II - Principales étapes du développement du procédé de craquage catalytique.

Dates	Évolutions du procédé	Évolution des catalyseurs
1935	E. Houdry montre que le craquage peut être catalysé par des argiles et que l'activité peut être retrouvée par brûlage du coke déposé	Argile naturelle activée par un acide
1936 1941	Procédé en lit fixe. Première unité démarrée à Paulsboro Procédé en lit mobile. Première unité semi-industrielle à Paulsboro (TCC : Thermofor Catalytic Craquage)	
1942	Première unité de craquage catalytique en lit fluide démarré à Baton Rouge (modèle I)	Catalyseur synthétique à basse teneur en alumine
1947	Première unité FCC de type «stacked» construite par UOP. Kellog introduit le FCC modèle III	
1948		Davison développe le catalyseur sphéroïdal pour FCC
1950	Première unité TCC utilisant le transport pneumatique démarré à Beaumont (Texas)	
1952		Catalyseur synthétique à haute teneur en alumine
1956	Shelle invente le craquage catalytique réalisé en lit entraîné	
1961		Mobil incorpore des zéolithes dans les catalyseurs de craquage
1964		Catalyseur à base de zéolithe produit par spray-drying
1967		Catalyseur ultrastable
1970-80	Évolution de la technologie vers un craquage opéré uniquement dans le «riser»	
1974 1975		Apparition des promoteurs de combustion de CO Additif de passivation vis-à-vis des métaux
1980 1982	Le FCC est appliqué aux résidus Apparition de la régénération en deux étages (Total)	Catalyseurs Re-H-Y et USY produisant moins de coke
1983 1985 1985-88 1990-95	Divers développements pour améliorer la sélectivité du craquage en réduisant le temps de contact	Additif d'octane à base de ZSM-5 Additifs de transferts de SO _x Améliorations liées à la zéolithe Y

4). L'idée de faire circuler le catalyseur entre des zones de réaction et de régénération fut la première innovation importante [21]. Elle fut mise en œuvre en utilisant d'abord un élévateur à godets pour transférer le catalyseur du bas des régénérateurs au sommet de l'unité avant d'être réintroduit dans la zone réactionnelle. L'élévateur à godets fut ensuite remplacé par un transport pneumatique (figure 5).

Le passage du lit mobile au lit fluide pourrait apparaître comme une démarche normale et logique, en vue d'utiliser des particules de catalyseur plus petites et donc plus actives. En fait, les recherches relatives au craquage avec catalyseur en poudre furent menées en compétition avec celles relatives au procédé Houdry et aboutirent, en 1942, avec le démarrage de la première unité de FCC (fluid catalytic cracking). Dans une telle unité, la circulation du catalyseur, en courant ascendant dans la partie réactionnelle, préfigurait déjà le "riser". Néanmoins, dans les versions suivantes (modèles II à IV d'Esso et autres versions de divers sociétés), la mise en contact de la charge avec le catalyseur chaud a subi des changements divers (figure 6).

Une innovation importante a été amenée par Shell : le réacteur-élévateur (riser) à court temps de séjour, initialement suivi d'un lit fluide conventionnel (figure 6). Néanmoins, peu à peu, la technologie évoluait, chaque opérateur ou licenceur de procédé progressant suivant sa propre logique pour améliorer le procédé aussi bien du côté de la partie réactionnelle que de celui de la section de la régénération [22-27]. Deux types de disposition dans l'espace étaient adoptés suivant les compagnies ou au fil des ans : "côte-à-côte" (side-by-side) ou "empilée" (stacked, figure 7).

Ainsi étaient progressivement introduites les caractéristiques qui se retrouvent à des degrés divers sur les unités modernes de FCC (figure 7). En ce qui concerne la réaction : court temps de séjour dans le riser, atomisation de la charge en différents points avec assistance par de la vapeur, séparation rapide des effluents, stripping amélioré du catalyseur avant passage vers le régénérateur.

La régénération a aussi été largement améliorée en maîtrisant la circulation du catalyseur à l'intérieur du régénérateur, en améliorant la répartition de l'air et en mettant deux étages de régénération en série (figure 8) [28].

Les aspects relatifs aux rejets, à l'efficacité énergétique, ainsi que l'adaptation à des charges de plus en plus lourdes (résidus) ont aussi fait l'objet de recherches et d'améliorations importantes. En particulier, pour traiter des résidus, il est nécessaire d'extraire de la chaleur produite en surabondance dans le régénérateur, compte tenu de la production de coke plus grande que lors du craquage des charges traditionnelles. La mise en place de refroidisseurs de catalyseur (cat-coolers) est alors indispensable (figure 7).

Toutes ces modifications, dictées par l'économie globale du procédé, permettent d'atteindre des capacités unitaires allant jusqu'à 6 Mt/an, tout en réduisant globalement la taille de ces unités en particulier la hauteur. Ces évolutions de la technologie se sont faites, nous l'avons déjà dit, parallèlement et en synergie avec l'évolution des catalyseurs (tableau II). Peut-être un des atouts de ce procédé est d'avoir profité de la concurrence internationale, aussi bien en ce qui concerne la technologie que pour la fourniture des catalyseurs. Actuellement, un catalyseur

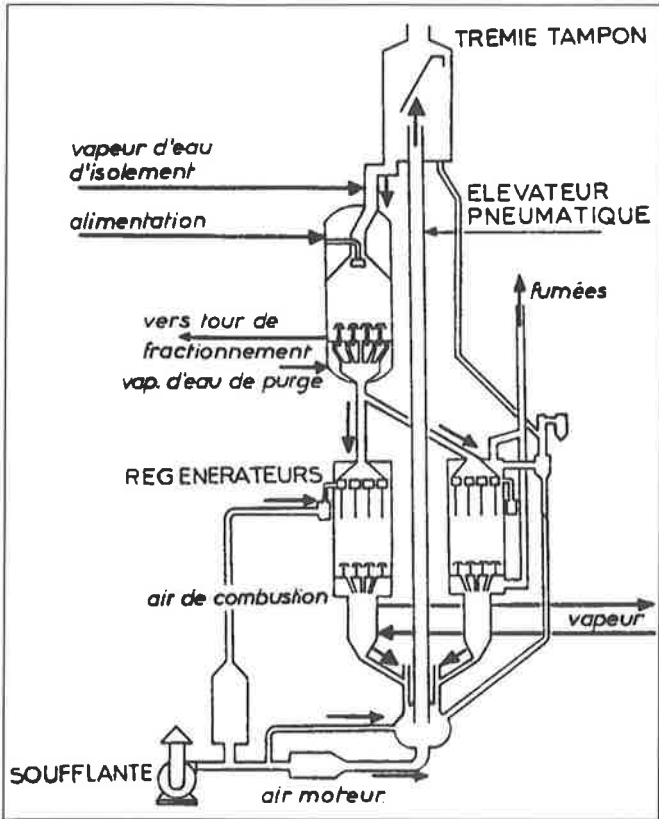


Figure 5 - Schéma d'une unité de craquage catalytique en lit mobile avec transport pneumatique du catalyseur [20].

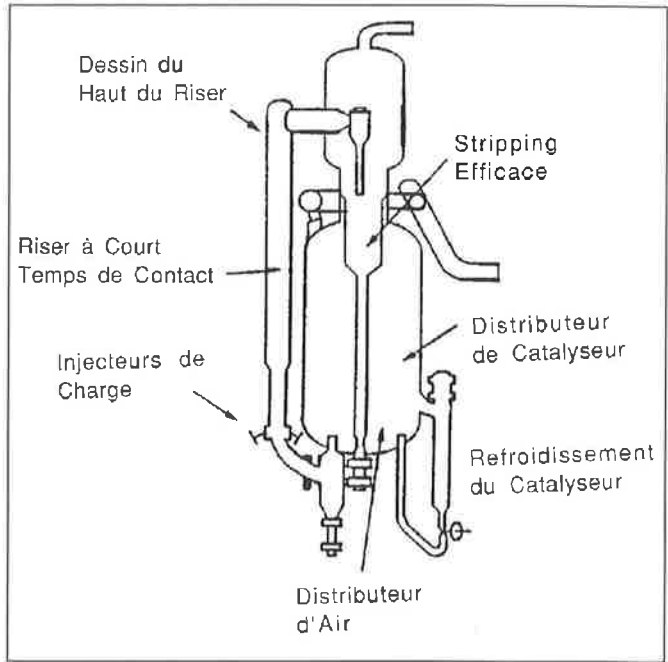


Figure 7 - Schéma d'un unité moderne de FCC montrant certains aspects technologiques importants [17].

de FCC est un produit sophistiqué contenant des zéolithes qui apportent l'activité craquante, mais aussi des additifs pour la combustion de CO, des additifs d'oxydation de SO₂ en SO₃ et adsorption de SO₃, des additifs à base de ZSM-5 pour augmenter le nombre d'octane des essences et favoriser la production d'oléfines légères, le tout dans une matrice de silice-alumine dont la résistance à l'attrition a été multipliée par un facteur 20.

Les améliorations couplées de la technologie et des catalyseurs ont entraîné l'augmentation des conversions et des rendements en essence et la diminution de la formation de coke au fil des années (figure 9).

Pour l'avenir, certaines études visent à réduire encore le temps de contact entre le catalyseur et les hydrocarbures et à travailler à plus haute température, de manière à encore augmenter la sélectivité. Par ailleurs, une modification importante de la technologie serait de travailler en courant descendant pour améliorer l'efficacité des contacts entre charge et catalyseur ainsi que la

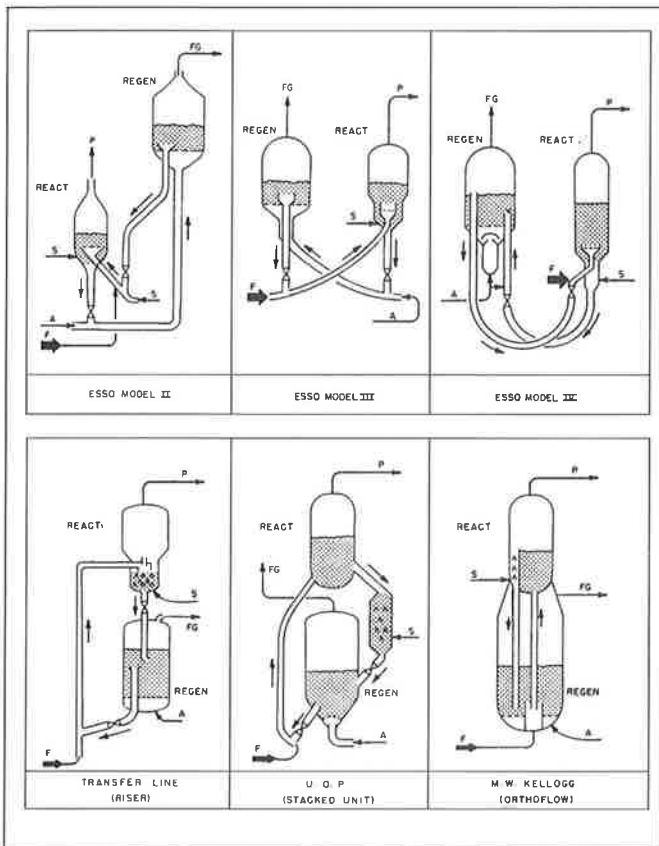


Figure 6 - Schémas de configurations d'unités de FCC proposées par diverses sociétés [21].

F= charge FG= gaz de combustion P = produits S = vapeur d'eau
A = air REACT = réacteur REGEN = régénérateur

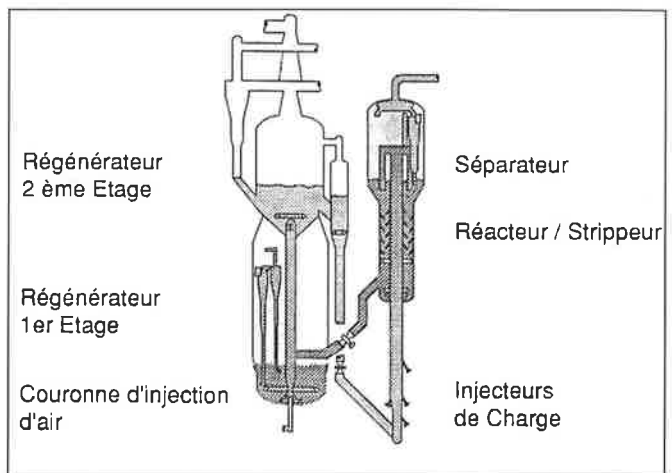


Figure 8 - Schéma d'une unité de FCC proposée par IFP/SWEC, avec deux étages de régénération.

distribution de temps de séjour du gaz et du catalyseur (figure 10). Une adaptation des catalyseurs sera sans doute alors nécessaire, surtout si les produits désirés changent, comme c'est déjà le cas, avec une demande accrue en oléfines légères.

Une conséquence de tous ces progrès très importants réalisés au fil des années sur le procédé de craquage catalytique est qu'il est actuellement très difficile de tester à petite échelle les catalyseurs destinés à ce procédé [29]. En effet la charge est mise en contact avec le catalyseur tellement rapidement et avec une telle intensité énergétique qu'il est pratiquement impossible de reproduire ces conditions à petite échelle. De nombreux travaux visent donc en parallèle à développer des techniques de laboratoire aptes à évaluer, même de façon comparative, des catalyseurs nouveaux.

Le procédé de reformage catalytique

Le procédé de reformage catalytique a pour objectif principal de modifier la composition de coupes pétrolières légères afin d'augmenter leur indice d'octane (40 à 60 selon les hydrocarbures). Les reformats obtenus, utilisés comme bases pour carburant, doivent en effet atteindre des valeurs d'indice d'octane de l'ordre de 90 à 105. Par ailleurs, les quantités importantes d'hydrogène produites à cette occasion sont aussi très utiles à plusieurs autres procédés du raffinage [30]. Les caractéristiques précises des reformats évoluent, bien entendu, en fonction de nombreuses données économiques ou de contraintes liées à l'environnement. C'est ainsi que l'intérêt pour les produits aromatiques (leur indice d'octane est particulièrement intéressant) diminue sensiblement depuis les normes restrictives sur le benzène découlant du «Clean Air Act». De même, l'importance économique croissante de l'hydrogène a récemment conduit à en produire encore davantage. Au fil du temps, la nature et la teneur des produits recherchés évoluent donc régulièrement forçant les procédés à s'adapter.

Les réactions chimiques mises en œuvre dans le reformage catalytique sont nombreuses et variées, mais elles ont toujours lieu, vers 500 °C, entre des réactifs gazeux et en présence de catalyseurs à base de platine sur alumine, sous forme d'extrudés ou de billes. Les principales réactions sont les déshydrogénations, les déshydrocyclisations et les isomérisations, réactions équilibrées et fortement endothermiques en ce qui concerne les deux premières. Mais à côté de ces réactions favorables à l'augmentation de l'indice d'octane de la charge, se déroulent des réactions parasites de craquage et de cokage. Les vitesses de ces différentes réactions dépendent en particulier du niveau de pression et de température, de la nature du catalyseur et de celle de la charge [31-34].

Ainsi, une diminution de la pression augmente la production d'hydrogène et améliore la qualité et la quantité du reformat. En revanche, elle entraîne une augmentation du cokage. Le coke déposé alors sur les particules de catalyseur entraîne des pertes d'activité et de sélectivité qui nécessitent, à terme, une régénération du catalyseur par combustion.

L'influence de la température est plus complexe. Favorable du point de vue des équilibres thermodynamiques et de la cinétique des réactions principales (déshydrogénation des naph-

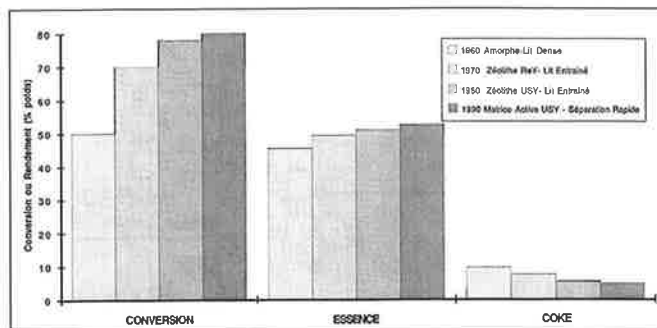


Figure 9 - Évolutions de la conversion et des rendements en essence et coke au fil des ans.

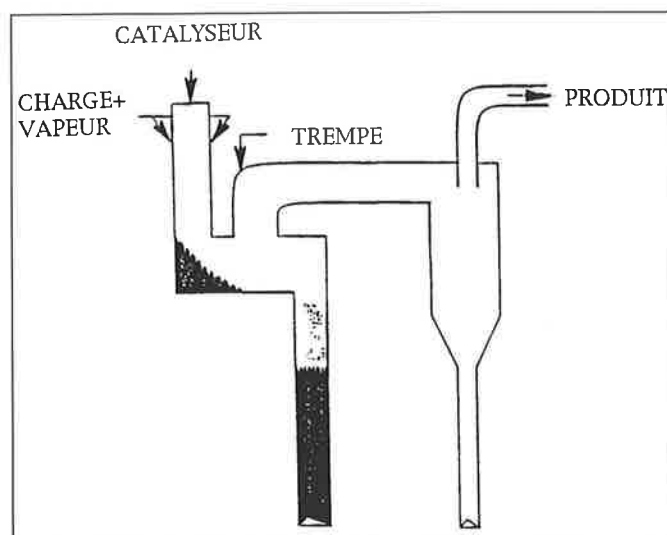


Figure 10 - Schéma d'une nouvelle technologie à très court temps de contact [23].

tènes et déshydrocyclisation des paraffines), une augmentation de température présente l'inconvénient d'accélérer en même temps les réactions parasites (hydrocraquage, hydrogénolyse et, surtout, désactivation du catalyseur).

Pour le reformage catalytique, conditions opératoires, catalyseur et technologie sont les trois moteurs complémentaires et interactifs des progrès.

Initialement, le reformage catalytique a été mis en œuvre dans des réacteurs adiabatiques, simples, cylindriques (ou même sphériques), dans lesquels les réactifs gazeux traversent axialement un lit fixe de catalyseur. Le caractère nettement endothermique des réactions conduit à utiliser 3 puis 4, voire 5 lits catalytiques successifs séparés par des fours de réchauffage. Selon les procédés, ces lits sont superposés ou placés côte à côte.

Les contraintes économiques ont rapidement rendu indispensable l'amélioration des rendements et de la qualité du reformat, mais parfois aussi de l'hydrogène produit. Ces objectifs peuvent être atteints grâce à une augmentation modérée de la température mais surtout une baisse de la pression, comme l'a montré l'examen rapide des réactions chimiques mises en œuvre. La baisse de la pression partielle d'hydrogène, directement liée à la pression totale et aux pertes de charge à travers l'unité, résulte d'améliorations technologiques plus ou moins brutales. C'est ainsi que l'écoulement radial du gaz dans des lits catalytiques d'épaisseur réduite a, le plus souvent, remplacé l'écoulement axial à travers les lits fixes. De manière plus

Tableau III - Grandes étapes de l'évolution du procédé de reformage catalytique.

Année	Évolution	Procédé
1940	Premier procédé en lit fixe Régénération cyclique Catalyseur au molybdène	Hydroforming de Standard Oil
A partir de 1949	Catalyseur au platine Procédés semi-régénératifs en lit fixe	Platforming de UOP, Catforming d' Atlantic refining Houdriforming de Houdry, Ultraforming de Standard Oil Sovaforming de Socony Powerforming d'Esso Magnaforming d'Engelhard Catalytic Reforming de IFP Fluid hydroforming de Standard Oil Orthoforming de Kellogg Thermoform de Socony, Hyperforming d' Union Oil UOP Rheniforming de Chevron Platforming UOP Reforming, Aromizing IFP Dualforming IFP
1952-1955	Procédés en lit fluide	
1951-1955	Lit mobile	
1968	Catalyseur platine + rhénium	
1971	Régénération en continu	
1989	Procédé combiné	

progressive, des améliorations de conception ont permis d'abaisser la perte de charge à travers les fours ou les échangeurs. Globalement, les progrès ont été considérables, puisque actuellement les pressions des unités de reformage sont parfois inférieures à 40 kPa, alors que les premières unités travaillaient à près de 500 kPa.

Ces conditions opératoires toujours plus sévères vont de paire avec une évolution du catalyseur (*tableau III*). Deux caractéristiques quasi indépendantes ont été modifiées : la composition et la forme.

Au point de vue composition, les évolutions ont eu pour but de favoriser la stabilité et la régénérabilité du catalyseur, mais aussi les rendements et la sélectivité des réactions vers des produits à haut indice d'octane. Les catalyseurs des années 40, simplement constitués de molybdène puis de platine bien dispersé sur des supports d'alumine, ont été dépassés par différentes formules de catalyseurs bi-, puis multimétalliques. Des métaux variés, comme le germanium, l'étain, le rhénium ou l'iridium, ont chaque fois ouvert de nouvelles perspectives d'amélioration. Simultanément une optimisation des concentrations des éléments actifs, mais aussi des méthodes de fabrication, ont permis non seulement d'augmenter régulièrement les propriétés chimiques et mécaniques des catalyseurs, mais aussi d'accompagner les évolutions plus technologiques [34].

Ainsi, l'alternative lit fixe/lit mobile a nécessité le passage de la forme initiale d'extrudé cylindrique, facile à fabriquer, à une forme sphérique. Les billes sont en effet beaucoup mieux adaptées au lit mobile quant à l'écoulement dans les réacteurs et à la résistance à l'attrition.

Malgré l'amélioration régulière du catalyseur, une des conséquences inéluctables du durcissement des conditions opératoires est le cokage accéléré et donc la désactivation du catalyseur. Pour limiter ces inconvénients incontournables, des modifications technologiques significatives ont été proposées (*tableau III*). Le catalyseur a dû être régénéré, et ce, à une fréquence de plus en plus élevée. Les procédés semi-régénératifs (*figure 11*) et les procédés cycliques (*figure 12*)

ont apporté une réponse partielle, de même que quelques procédés éphémères en lit fluidisé, mais la solution radicale appartient aux procédés à régénération continue grâce aux lits mobiles. La circulation systématique du catalyseur à travers les réacteurs et vers une zone de régénération sans arrêt de production est sans doute l'amélioration technologique majeure du procédé de reformage catalytique. Il s'agit, en fait, surtout de gérer harmonieusement la descente gravitaire du catalyseur à l'intérieur des réacteurs, son transfert par entraînement pneumatique entre les réacteurs de l'unité et la section de régénération. Les améliorations ultérieures ont été plus progressives. Elles sont relatives à cette nouvelle section régénérative (réalisation des différentes étapes dans des zones successives contrôlées indépendamment avec écoulement continu du catalyseur, réduction drastique du nombre de vannes mécaniques...). Cette circulation du catalyseur en boucle permet une diminution spectaculaire de la durée de cycle du catalyseur (6 à 12 mois à l'époque de la régénération discontinue en lit fixe, dans les années 50, à quelques jours avec régénération continue en lit mobile dans les années 90) [34].

Sur le plan stratégique, il est intéressant de noter que, pour limiter les risques de sauts technologiques brutaux, certains procédés proposent des additions ou des améliorations succes-

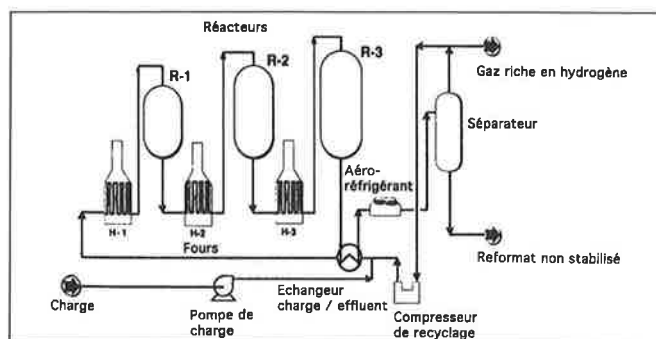


Figure 11 - Schéma d'un procédé de reformage catalytique à lit fixe semi-régénératif.

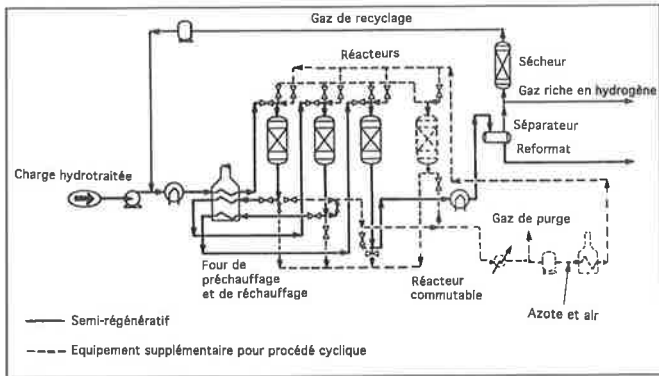


Figure 12 - Schéma du procédé cyclique de reformage catalytique (Powerforming, Exxon [33]).

sives (partiellement réversibles) en ménageant des possibilités d'évolutions ultérieures.

C'est ainsi que le passage d'unités classiques cycliques ou semi-régénératives en lit fixe à des unités avec régénération continue du catalyseur s'est parfois effectué par petites étapes. Dans cet esprit, le procédé Dualforming propose simplement d'ajouter, après la section existante, un nouvel ensemble comprenant un seul réacteur couplé à sa section de régénération (figure 13). Le changement de technologie peut alors être réalisé par simple addition et donc presque sans arrêt de production de l'ancienne unité (n'oublions pas que, souvent, l'unité de reformage alimente en hydrogène plusieurs autres

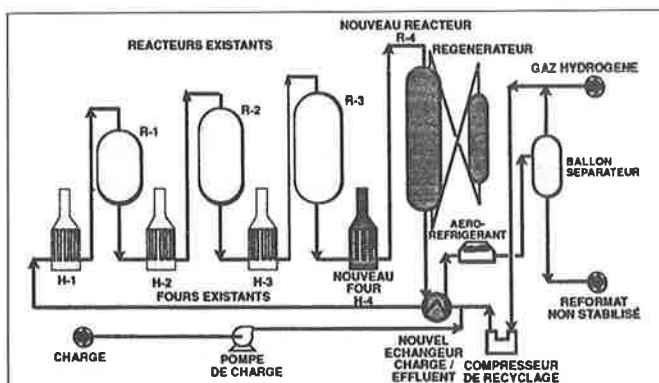


Figure 13 - Schéma d'un procédé mixte de reformage catalytique (Dualforming, IFP).

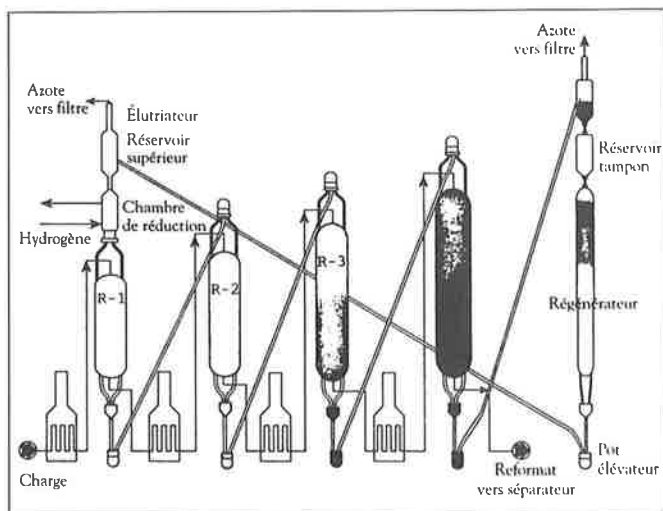


Figure 14 - Schéma d'un procédé de reformage catalytique à lit mobile avec régénération continue (Octanizing, IFP).

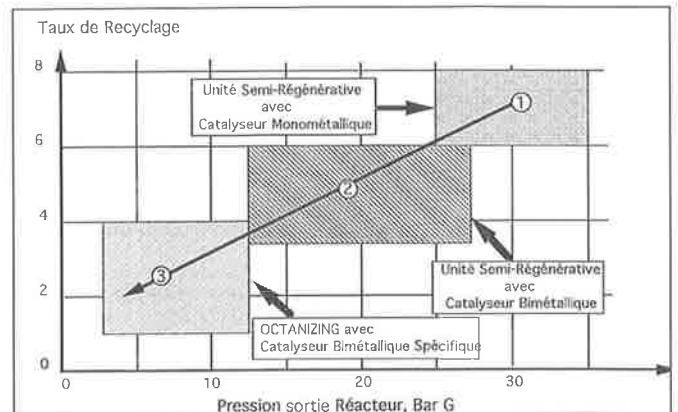


Figure 15 - Évolution du procédé IFP de reformage catalytique.

unités de la raffinerie). D'autres unités, transformables, ont été construites et opérées initialement en lit fixe radial, puis complétées par une boucle de circulation et de régénération du catalyseur.

Le passage direct à des unités complètement régénératives est un pas plus décisif, envisagé dès qu'on peut remodeler complètement une ancienne unité ou en construire une nouvelle (figure 14 et 15).

Indépendamment des demandes de capacités plus élevées, qui dépassent parfois les 2 Mt/an, la course aux rendements et à l'octane, donc à la sélectivité, risque de se prolonger. Dans ce contexte, une meilleure connaissance des mécanismes réactionnels est bien entendu de nature à guider les options et les optimisations futures. A ce niveau, les catalyseurs doivent permettre encore des améliorations progressives de performances. Si une plus grande maîtrise des modes de préparation actuels ou des innovations déterminantes sont toujours envisageables, de nouvelles formules, peut-être plus complexes, risquent aussi d'apparaître. Par ailleurs, sur le plan technologique, des recherches permanentes conduiront logiquement à de légères diminutions des pertes de charge (malgré tout de plus en plus difficiles à obtenir) et à une circulation plus régulière des particules de catalyseur. Mais certains sauts technologiques sont susceptibles, aussi, de relancer à nouveau une interactivité dynamique entre catalyseur et technologie, comme l'a initiée, en son temps, le passage du lit fixe au lit mobile.

Conclusion

Nous avons considéré trois procédés importants pour l'industrie du raffinage et la pétrochimie et avons montré comment, au fil des ans, ces procédés ont été améliorés à l'échelle industrielle, suivant un processus évolutif. Ces perfectionnements, dont l'impact économique est considérable, ont demandé des recherches importantes au niveau laboratoire, en ce qui concerne la mise au point des catalyseurs et la cinétique chimique, ou au niveau de la modélisation physique ou mathématique, mais aussi des efforts soutenus à l'échelle industrielle pour certains aspects technologiques souvent déterminants.

Il peut être noté, en effet, que certains progrès parmi les plus spectaculaires ont été obtenus en expérimentant directement à l'échelle industrielle. Cette étape décisive étant coûteuse et

risquée n'est entreprise qu'après une préparation détaillée au cours de laquelle maquettes et modèles mathématiques jouent un rôle déterminant. Aussi l'évolution de ces procédés est la résultante à la fois d'améliorations progressives logiques et de véritables sauts technologiques, comme le passage d'un lit mobile à un lit fluide, puis à un réacteur à lit entraîné.

On peut remarquer de plus que ces progrès technologiques, parfois réalisés de manière empirique, ont généré un flot de questions auxquelles la science du génie chimique ne savait pas toujours répondre et ont donc ouvert de vastes domaines d'investigations, sources potentielles de nouvelles améliorations.

Nous avons signalé le problème du test des catalyseurs de craquage catalytique, pour lequel le processus de réduction d'échelle (scaling-down) reste encore à maîtriser, en attendant de modéliser le micro-mélange intense opéré entre le catalyseur et la charge.

Pour conclure, nous voudrions rappeler que, si l'industrie du raffinage et de la pétrochimie a été le principal promoteur du génie chimique à ses débuts, elle reste encore de nos jours pour les chercheurs de ce domaine une source d'inspiration toujours renouvelée, où la science appliquée peut trouver de nombreux problèmes à traiter.

Références

- [1] Rhodes A.K., World crude capacity, conversion capability inch upward, *Oil and Gas J.*, 19 dec. **1994**, p. 45-52.
- [2] Albright L.F., Marek J.C., Coke formation during pyrolysis : roles of residence time, reactor geometry and time of operation, *Industrial & Engineering Chemistry*, May **1988**, 27, 5, p. 743-751.
- [3] Chauvel A, Lefebvre G., Petrochemical processes, Editions Technip, Paris, **1989**.
- [4] Kaiser V., Leroy M., Amouyal R., La production des oléfines. État de la technique et développement dans le domaine des réacteurs chimiques et des procédés, *Revue de l'IFP*, sept.-oct. **1982**, 37, 5, p. 651.
- [5] Zdonik S.B., Meilun E.C., Olefin feedstock and production flexibility, *Chem. Eng. Progr.*, Sept. **1983**, p. 56-63.
- [6] Kniel L., Winter Q., Stork K., Ethylene - Keystone to the petrochemical industry, Marcel Dekker Inc., New York, **1980**.
- [7] Lohr B., Schwab W., New developments in cracking technology and cracker furnace design, *Chem. Economy and Eng. Rev.*, July **1979**, 11, 7, p. 15-22.
- [8] Bohlin R.A., Optimizing pyrolysis furnace and quench exchanger design with consideration of coking phenomena and the resultant effect on yield dynamics, Papier présenté à Amer. Inst. Chem. Engineers meeting, New Orleans, Nov. **1981**.
- [9] Ennis B.P., Boyd H.B., Oris R., Olefin manufacture via millisecond pyrolysis, *Chemtech*, Nov. **1975**, p. 693-699.
- [10] Yonezawa M. et al., New radiant coil technology, *Chem. Eng. Progr.*, dec. **1983**, p. 50-55.
- [11] Mol A., Steam cracking heaters due a new look, *Oil and Gas Jour. Report*, March 12, **1984**.
- [12] Trambouze P., Kaiser V., Bourdonneux G., Optimisation globale des systèmes réactionnels : présentation de quelques exemples, *Bulletin de la Société Chimique de France*, **1985**, 6, p. 1002-1014.
- [13] Broutin P., Busson C., Weill J., Modeling and simulation of a honeycomb for high severity thermal cracking, Papier présenté à AIChE meeting, Orlando, March **1990**.
- [14] Lenglet E, Procédé de décockage d'une installation de vapocraquage d'hydrocarbures, brevet français 2.645.873, **1990**.
- [15] Froment G.F., Kinetics and reactor design in the thermal cracking for olefins production, *Chem. Eng. Science*, **1992**, 47, 9-11, p. 2163-2177.
- [16] Duncan D.A., Ham V.A., The practicalities of steam-cracking heavy oil, Papier présenté à AIChE meeting, New-Orleans, April **1992**.
- [17] Avidan A.A., *Origin, development and scope of FCC catalysis*, *Studies in Surface Science and Catalysis*, vol. 76, *Fluid catalytic cracking : Science and technology*, **1993**, p.1-39.
- [18] Avidan A.A., R. Shinnar, Development of catalytic cracking technology. A lesson in chemical reactor design, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **1990**, 29, p. 931-942.
- [19] Biswas J., Maxwell I.E., Recent process - and catalyst - related developments in fluid catalytic cracking, *Applied Catalysis*, **1990**, 63, p. 197-258.
- [20] Wuithier P., *Raffinage et génie chimique*, Ed, Technip, Paris, **1992**.
- [21] Gary J.H., Handwerk G.E., Petroleum Refining, Technology and Economics, Marcel Dekker, Inc., **1984**.
- [22] Johnson T.E., Niccum P.K., Raterman M.F., Schipper P.H., FCC for the 90's: New hardware developments, AIChE Symposium Series 291, **1992**, 88, p.88-95.
- [23] King D., Fluidized catalytic crackers, An engineering review, Fluidization VII, May **1992** (Brisbane), p. 15-26.
- [24] King D., Engineering of fluidized catalytic crackers, Chemical reactor technology for environmentally safe reactors and products, NATO ASI Series, vol.225, Kluwer Academic Publishers, **1992**.
- [25] Upson L.L., Hemler C.L., Lomas C.L., Unit design and operational control : impact on product yields and product quality, *Studies in Surface Science and Catalysis*, vol. 76, *Fluid catalytic cracking : Science and technology*, **1993**, p.385-440.
- [26] Whittington E.L., Murphy J.R., Lutz I.H., Striking advances show up in modern FCC design, *Oil and Gas J.*, October 30, **1972**, p.49-54.
- [27] Wrench R.E., Glasgow P.E., FCC hardware for the modern catcracker, AIChE Symposium Series 291, **1992**, 88, p.1-8.
- [28] Dean R., Mauleon J.-L., Letzsch W., Total introduces new FCC process, *Oil and Gas Journal*, Oct. 11, **1982**, p. 168-176.
- [29] Young G.W., Realistic assessment of FCC catalyst performance in the laboratory, *Studies in Surface Science and Catalysis*, vol. 76, *Fluid catalytic cracking : Science and technology*, **1993**, p.257-292.
- [30] Nakamura D.N., Hydrogen, what a gas !, Hydrocarbon processing, nov. **1993**, p. 23.
- [31] Antos G. J., Aitani A.M., Parera J.M., *Catalytic naphtha reforming*, Ed. Marcel Dekker, **1995**.
- [32] Barbier, J.C., Duhaut, P., Eschard F., Guillemat J., Évolution du procédé de reforming catalytique : catalyseurs et technologie, *Revue de l'Assoc. Fr. des Tech. du Pétrole*, juillet-août **1973**, 220, p. 43 - 55.
- [33] Little D.M., *Catalytic reforming*, Ed. PenWell (Tulsa, Oklahoma), **1985**.
- [34] Martino G., chapitre Reformage catalytique, in *Le raffinage du pétrole*, tome 3, P. Leprince editor, à paraître chez Technip Editions.

Une silice de nouvelle génération pour pneumatiques

Yves Bomal* responsable laboratoire applicabilité renforcement et consolidation, **Philippe Cochet**** ingénieur application pneumatique, **Bernard Dejean**** technicien application pneumatique, **Patrick Fourré**** responsable R & D de l'entreprise pneumatique et caoutchouc de Rhône-Poulenc, **Dominique Labarre*** ingénieur applicabilité renforcement et consolidation

A new generation silica for pneumatics

Amorphous precipitated silicas are commonly used as a reinforcing filler in rubber applications. To give the best performances in tyre applications, Rhône-Poulenc has developed a new generation silica.

The new generation silica is characterized by a specific aggregate morphology and, above all, by a much higher dispersibility than the traditional silicas, as it is demonstrated with two analytical tests. Because of its higher dispersibility and compared to traditional silicas, the new generation silica improves the rheological properties of the green compounds and the mechanical properties of the vulcanized compound. Moreover, the new generation silica allows to use smaller quantities of coupling agent if equivalent properties are sought.

The new generation silica is used to substitute carbon black in the new tyres of low rolling resistance. Due to its much higher rubber performances : high dispersibility and its low dusting, it improves the treadwear and leads to a better processability.

Silice, renforcement, pneumatique, dispersibilité, caoutchouc.

Silica, reinforcement, pneumatic, dispersibility, rubber.

Les silices précipitées amorphes sont traditionnellement utilisées comme charges renforçantes dans les applications du caoutchouc. Dans les semelles de chaussures de sport, premier marché des silices précipitées, ces charges claires renforçantes apportent de la résistance à l'usure et l'accès à toutes les colorations possibles, contrairement à l'autre grande charge renforçante qu'est le noir de carbone. Dans les pièces techniques en caoutchouc, la silice est souvent utilisée pour augmenter la résistance au déchirement ou diminuer l'échauffement interne. Dans les pneumatiques, la silice est traditionnellement utilisée pour améliorer la résistance au déchirement des pneus de camions et engins de chantier et, également, pour améliorer l'adhésion entre les renforts métalliques des pneus radiaux et le caoutchouc.

Rhône-Poulenc a été le premier chimiste mondial à mettre au point une silice de nouvelle génération qui améliore les performances des pneumatiques. La morphologie des silices précipitées est un paramètre important des propriétés de renforcement [1, 5]. L'aire de l'interface de contact charge/polymère et les interactions entre les particules de charge sont les paramètres clefs [6]. La silice de nouvelle génération a donc été spécialement conçue pour optimiser la morphologie des particules de silice et améliorer leur aptitude à la dispersion (dispersibilité) dans le caoutchouc.

Après avoir brièvement présenté le principe de fabrication des silices précipitées, cet article présente les avantages en termes de morphologie et, surtout, de dispersibilité de cette silice de nouvelle génération par rapport aux silices traditionnelles. Dans une troisième partie, la corrélation entre dispersibilité des silices et performances du caoutchouc est établie. Enfin, nous présentons les avantages de l'utilisation de cette nouvelle silice dans la bande de roulement des pneumatiques pour voiture en remplacement du noir de carbone.

Cette nouvelle silice a notamment permis le développement de pneus à faible résistance au roulement et dont les autres propriétés (longévité et adhérence) sont maintenues ou améliorées.

Fabrication des silices précipitées

Le schéma 1 résume brièvement le procédé de fabrication des silices précipitées. Les silices précipitées résultent de la

* Centre de recherches Rhône-Poulenc, 52, rue de la Haie Coq, 93300 Aubervilliers. Tél. : (1) 49.37.62.62. Fax : (1) 49.37.61.00.

** Rhône-Poulenc, 15, rue Pierre Pays, BP 52, 69660 Collonges-au-Mont-d'Or. Tél. : 78.98.84.84. Fax : 78.98.84.99.

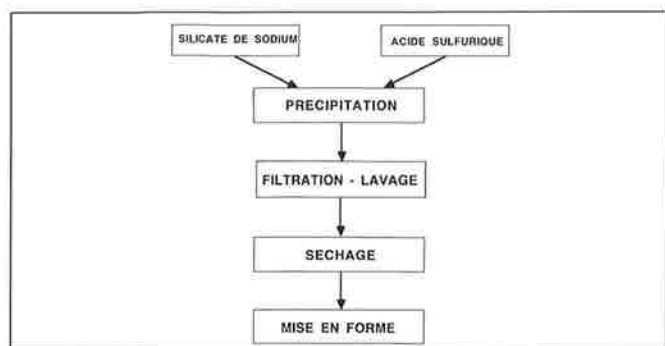


Schéma 1 - Procédé de fabrication des silices précipitées.

neutralisation d'une solution de silicate de sodium par une solution d'acide, le plus souvent de l'acide sulfurique. Cette réaction chimique, dite étape de précipitation est effectuée dans un réacteur agité. On obtient ainsi une silice hydratée amorphe et sans danger pour la santé. Le sulfate de sodium sous-produit est éliminé lors de l'étape de filtration-lavage. La silice est ensuite séchée et, éventuellement, mise en forme pour être utilisable dans son application finale.

De façon simplifiée, on peut dire que l'étape de précipitation détermine la morphologie microscopique des particules, qui sera présentée plus loin, et la dispersibilité de la silice, tandis que les étapes en aval assurent la pureté et la présentation macroscopique de la silice. Toutefois, et nous le verrons plus loin, ces étapes aval ont également une influence très significative sur la morphologie et la dispersibilité des silices.

Morphologie de la silice

Il y a différentes échelles de taille au sein des objets macroscopiques de silice tels qu'issus du procédé de fabrication (schéma 2). La taille des particules ultimes est très faible, typiquement de 5 à 40 nm ; cette taille détermine la surface spécifique des silices qui peut varier de 25 à 350 m²/g. Néanmoins, ces particules ne sont jamais accessibles individuellement, car elles sont chimiquement liées pour former des agrégats de l'ordre de 50 à 500 nm. Ces liaisons chimiques ne peuvent être brisées même dans le cas où un cisaillement très intense est appliqué à un mélange silice-caoutchouc. Ces agrégats sont donc les plus petites entités que l'on peut trouver à l'état dispersé dans le mélange caoutchouc.

Dans le procédé de précipitation, ces agrégats se rassemblent pour former des agglomérats de quelques microns à quelques dizaines de microns. Les liaisons entre ces agglomérats sont

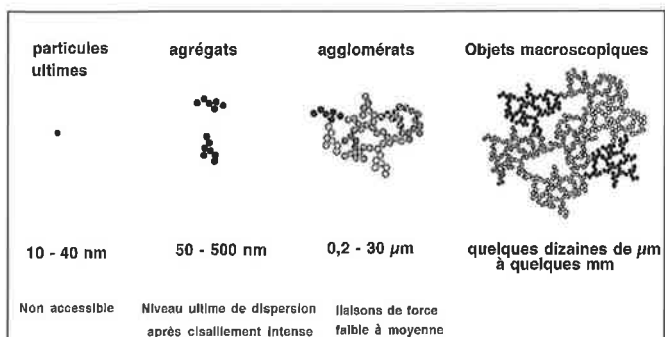


Schéma 2 - Les différentes échelles de taille dans la silice.

pour l'essentiel des liaisons physiques. Néanmoins, ces liaisons sont plus ou moins fortes et peuvent même évoluer vers des liaisons chimiques si la maîtrise du procédé n'est pas parfaite. La dispersibilité de la silice correspond à l'aptitude des agglomérats à se diviser en agrégats sous l'influence d'une énergie mécanique telle que celle apportée lors du mélangeage silice-caoutchouc.

Enfin, la silice est traditionnellement commercialisée sous forme de poudre (10 à 100 µm) ou de granulés (quelques mm). Dans l'industrie du caoutchouc, les poudres ont l'inconvénient d'être difficilement manipulables et d'être génératrices de poussière. Les granulés sont faciles à manipuler mais sont généralement plus difficiles à disperser.

Rhône-Poulenc utilise une technologie spécifique de séchage par atomisation qu'il a développée et brevetée. Celle-ci conduit à des particules sphériques de 250 à 300 µm, appelées microperles qui sont facilement manipulables et non génératrices de poussière.

La mesure de porosité au mercure permet de décrire la morphologie de la silice (figure 1). Les plus grands pores (entre 50 et 100 µm) correspondent à l'empilement des microperles. Le domaine de pores de tailles comprises entre 10 et 0,1 µm correspond à l'empilement des agglomérats. La dernière marche du programme correspond à l'empilement des agrégats. Pour les silices de nouvelle génération de Rhône-Poulenc, cette dernière marche se situe vers 25 nm, ce qui correspond à une taille d'agrégats de l'ordre de 75 à 100 nm. Cette marche centrée sur 25 nm est beaucoup plus raide avec la silice de nouvelle génération de Rhône-Poulenc qu'avec les silices traditionnelles. Cela signifie que la distribution de taille des agrégats est plus étroite et en particulier qu'il y a moins de gros agrégats.

Rhône-Poulenc a ainsi mis au point un procédé global qui permet de :

- créer à la précipitation une silice de morphologie et dispersibilité optimales,
- préserver ces caractéristiques dans les étapes aval du procédé.

Dispersibilité de la silice

Nous avons comparé la dispersibilité de la silice de nouvelle génération de Rhône-Poulenc à celles de silices précipitées traditionnelles de même surface spécifique (170 m²/g) (tableau 1). Les silices A et B (silices traditionnelles) ont été évaluées soit sous forme de granulés, soit sous forme de

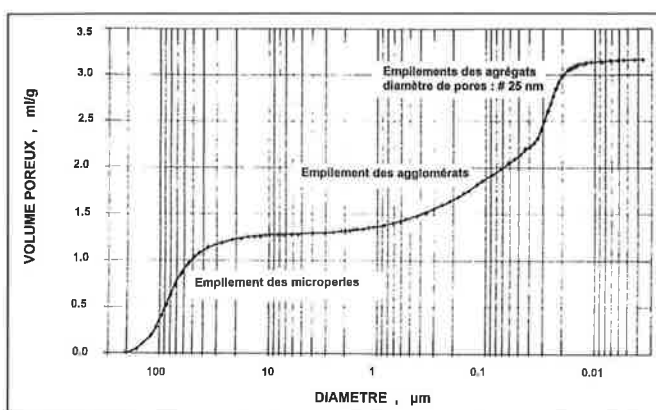


Figure 1 - Porogramme de la silice de nouvelle génération.

Tableau I - Caractéristiques des silices précipitées.

	Présentation (1)	surface spécifique m ² /g BET (2)	taille des objets	humidité % (3)	pH (4)
Silice A	poudre	175	15-20 µm	6,2	6,0
	granulés	173	> 1mm	5,8	6,0
Silice B	poudre	174	15-20 µm	6,8	6,2
	granulés	170	> 1mm	6,4	6,2
Silice RP NGS	micropertes	168	≈ 250 µm	5,9	6,5

(1) Les silices A et B sont des silices traditionnelles.

(2) Mesure de surface à 1 point Iso 5794/1.

(3) Perte de masse après 2 h à 105 °C.

(4) Iso 787/9.

poudre. La silice de nouvelle génération de Rhône-Poulenc est référencée RP NGS dans cet article (nom commercial : Zéosil 1165 MP).

Afin de pouvoir caractériser l'aptitude des silices à se disperser dans le caoutchouc, nous avons développé des tests de laboratoire dont le principe est de décrire directement ou indirectement la répartition granulométrique de la silice après apport d'une certaine quantité d'énergie.

Désagglomération sous ultrasons en milieu aqueux

Ce test consiste à suivre l'évolution de la taille des agglomérats de silice en suspension dans de l'eau et soumis à des ultrasons de puissance contrôlée [7-10].

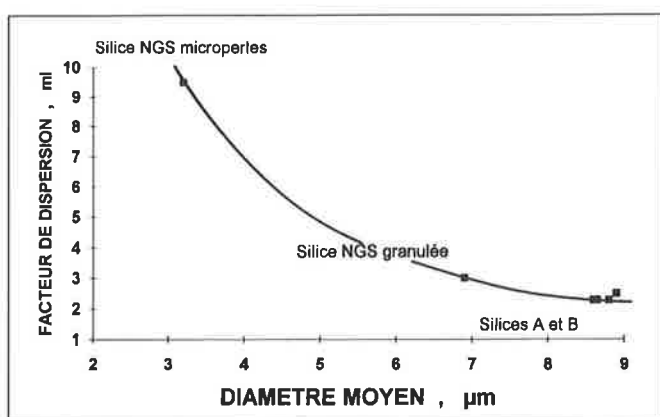
Une suspension de concentration donnée en silice (5 % en masse) subit pendant un certain temps (420 s) un traitement ultrasons (sonde Vibracel 600 W).

A l'aide d'un granulomètre laser, on mesure sur cette suspension diluée la répartition granulométrique des objets de diamètre supérieur à 0,1 µm (limite de la technique granulométrique) : on en extrait un diamètre moyen, le D_{50} .

Le traitement par ultrasons génère, surtout dans le cas des silices dispersibles, des particules très fines (inférieures à 0,1 µm) qui ne sont pas détectées par le granulomètre. Pour évaluer cette quantité de fines, on ajuste le volume de suspension de silice introduit dans le granulomètre de façon à avoir une concentration optique (CO) proche de 0,2.

On en déduit un facteur de désagglomération Fd :

$$Fd = (10 \times \text{volume de suspension introduite}) / CO.$$

Figure 2 - Test ultrasons : relation entre Fd et D_{50} .

Un faible D_{50} et un grand Fd correspondent à une haute dispersibilité de la silice.

Les résultats de ce test sont présentés sur la figure 2.

La silice de nouvelle génération se démarque de façon importante des autres silices avec un Fd plus élevé et un D_{50} plus faible. On constate également que lorsque la silice NGS est granulée, elle se disperse moins bien que la silice NGS "micropertes" (Fd petit et D_{50} plus élevé) mais reste cependant plus dispersible que les silices traditionnelles granulées ou en poudre.

Mesure de viscosité dans la DOP après broyage à sec

On effectue, dans un premier temps, un broyage mécanique à sec de la silice. Puis on prépare, à partir de la silice broyée, une suspension dans la DOP (dioctylphtalate) sur laquelle on effectue une mesure de viscosité. La valeur de la viscosité est un moyen indirect de remonter à la taille des objets présents dans la suspension : plus la silice est facile à disperser, plus la taille des objets obtenus après broyage mécanique est petite et plus la surface développée est grande. Cette augmentation de surface entre la charge et le milieu organique entraîne une augmentation de viscosité.

Le broyage à sec est effectué à 20 000 tours/min dans un broyeur Retsch ZM, avec une vitesse d'introduction de la silice de 25 g/min.

Puis, on prépare une suspension à 8 % en masse de silice broyée dans la DOP dont on mesure la viscosité sur un Brookfield RTV.

La figure 3 représente l'évolution de la viscosité de la silice en suspension dans la DOP en fonction du nombre de broyages successifs. Les suspensions de silice RP NGS ont toujours une viscosité beaucoup plus élevée que les suspensions obtenues à partir des silices traditionnelles. On constate de plus que la dispersion de la silice RP NGS évolue en fonction du nombre de broyages alors que, avec les autres silices, on atteint dès le deuxième broyage un palier de viscosité. Cela signifie qu'en deçà d'une certaine taille, les agglomérats des silices traditionnelles se cassent très difficilement, voire même ne se cassent plus. Cela se traduira par la présence de gros agglomérats non dispersés dans le cas des mélanges de caoutchouc chargés avec des silices traditionnelles. Les deux tests précédents mettent en évidence la dispersibilité beaucoup plus grande de la silice de nouvelle génération de Rhône-Poulenc.

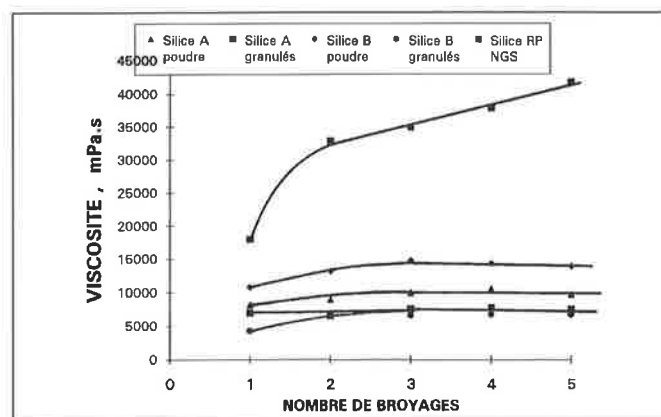


Figure 3 - Résultats du test de viscosité dans la DOP.

Tableau II - Formulation utilisée dans le test de macrodispersion (quantités exprimées en phr).

IR 1205	60
SBR 1509	40
Silice	35
Huile	15
PEG 4000	2,2
Oxyde de zinc	2
acide stéarique	0,5
Santocure NS	1
Accélérateur TMTM	0,5
Soufre T 300	1,5

TMTM : monosulfure de tétraméthylthiurame $((CH_3)_2NCS)_2S$.

NS : N-t-butyl-2-benzothiazolesulfénamide.

Tableau III - Mesure de macrodispersion : procédure de mélangeage, préparation des échantillons et méthode d'observation et d'exploitation.

1- procédure de mélangeage**1re étape**

mélangeur interne	T= 0 min	introduction du IR et SBR à 50 °C et 80 rpm
	T= 1 min	puis de la silice, l'huile, le PEG 4000 et l'acide stéarique
	T=3,5 min	puis du ZnO et du santocure NS
	T=5 min	fin du mélangeage, la température est voisine de 125 °C

2e étape

malaxeur à cylindres	introduction du soufre et du TMTM
----------------------	-----------------------------------

2- Préparation de l'échantillon

Peser 2,7 g de l'échantillon précédemment préparé, le presser à froid entre 2 feuilles de terphane sous 200 bars.

3- Observation

Microscopie optique, grandissement x100, 3 clichés par échantillon.

Macrodispersion dans le caoutchouc

Ce dernier test consiste à préparer un mélange silice-caoutchouc et à observer par microscopie optique sur ce mélange la macrodispersion, c'est-à-dire la proportion et la répartition granulométrique d'objets de taille supérieure à 50 μm .

Afin de quantifier la macrodispersion, on définit un indice de dispersion *ID* dont la formule littérale est :

$$ID = 4a + b$$

a = nombre d'objets de taille supérieure à 125 μm

b = nombre d'objets de taille comprise entre 50 μm et 125 μm .

Plus *ID* est faible, meilleure est la dispersibilité de la silice étudiée.

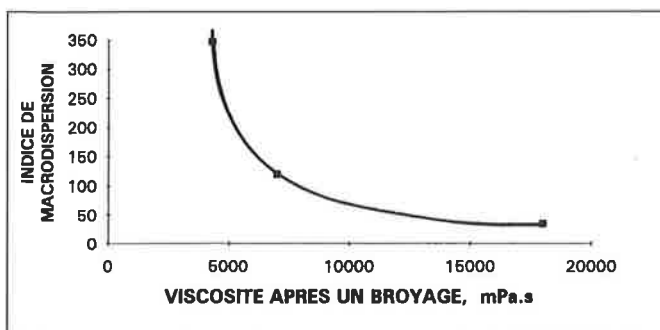


Figure 4 - Corrélation entre indice de macrodispersion et test de viscosité dans la DOP.

Les mélanges silice-caoutchouc ont une formulation adaptée et sont préparés dans un mélangeur interne Banbury (*tableaux II et III*). Afin d'obtenir des échantillons observables en microscopie optique, on presse ces mélanges entre une feuille de terphane et un carton noir qui servira de fond, la silice apparaissant en blanc. Le comptage des particules est effectué sur 1,5 mm² par analyse d'image et permet d'accéder aux valeurs de a et b.

Cette technique utilise la microscopie optique : elle ne donne donc accès qu'à une certaine classe granulométrique représentant la macrodispersion (ici supérieure à 50 μm). Nous estimons toutefois que l'état de microdispersion est corrélé à l'état de macrodispersion. La *figure 4* montre que l'état de dispersion est d'autant meilleur que la viscosité dans la DOP est plus élevée, c'est-à-dire que la dispersibilité est plus grande : la silice RP NGS est évidemment la silice la mieux dispersée.

Conclusion

Tous ces résultats mettent en évidence la meilleure dispersibilité de la silice de nouvelle génération de Rhône-Poulenc. L'étape de précipitation génère une silice de structure et dispersibilité nettement améliorées.

Ces résultats montrent également que la technologie microperle représente une mise en forme idéale de la silice. Elle préserve la structure et la dispersibilité de la silice tout en conduisant à une silice moins génératrice de poussière que les silices granulées (*figure 5*) et très facile à manipuler.

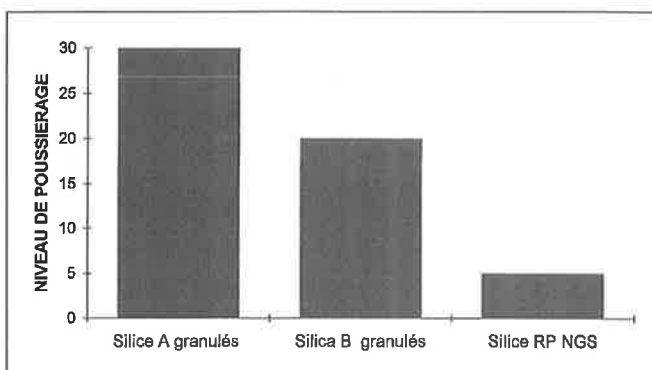


Figure 5 - Comparaison du niveau de dépoussiérage des silices traditionnelles et de nouvelle génération.

Performances des caoutchoucs chargés

Les propriétés mécaniques des caoutchoucs chargés sont plus ou moins sensibles à l'état de dispersion de la charge.

Funt [12] ainsi que Dizon & Papazian [13] constatent, sur les mélanges caoutchouc-noir de carbone, une amélioration de la résistance à la traction, au déchirement et à la fatigue lorsque l'on améliore la macrodispersion.

Nous avons étudié quelques unes de ces propriétés dans des mélanges vulcanisés soit silice-SBR en absence d'agent de couplage (*tableau IV*), soit silice-BR+SBR avec agent de couplage (*tableau V*). (SBR = copolymère styrène-butadiène, BR = polybutadiène *cis*-1,4).

Les conditions de vulcanisation sont définies à partir des résultats rhéométriques à 150 °C mesurés sur un rhéomètre Monsanto M 100 S selon la norme ASTM D-2084.

On obtient :

Tableau IV - Préparation des échantillons en SBR sans agent de couplage.

1-Formulation	
SBR 1509	100
Silice	40
Rosine SP80	10
Oxyde de zinc	2,5
PEG 4000	2
acide stéarique	2
accélérateur MBTS*	1,80
accélérateur DOTG**	0,75
Soufre T300	2

2- Procédure de mélangeage

1re étape dans un mélangeur interne "Farrel Bridge BR" /température initiale = 65 °C

temps (min.)	réactif introduit
0	SBR 1509
1	2/3 de la silice + acide stéarique + PEG + ZnO + SP80
2,5	1/3 restant de la silice
5,5	fin du malaxage/température final = 130 °C

2e étape dans un malaxeur à cylindres à 60 °C

Ajout du soufre + MBTS + DOTG

Homogénéisation : 3 passages sur le malaxeur

Calandrage 2,5 mm d'épaisseur

*MBTS : disulfure de mercaptobenzothiazole.

**DOTG : diorthotolylguanidine.

Tableau V - Préparation des échantillons en SBR +BR avec agent de couplage.

Formulation	
SSBR (Buna VSL 1955 S25)	75
BR	25
Silice	51
Silane X505*	6,1 ou 8,2
CB N330 compensation	2,1 ou 0
Oxyde de zinc	1,82
Acide stéarique	1,1
AOX 6PPD	1,45
Accélérateur CBS**	1,30
Accélérateur DPG***	1,45
Soufre T300	1,1

Procédure de mélangeage

1re étape dans un mélangeur interne "Farrel Bridge BR" / température initiale = 55° C

temps (min.)	réactif introduit
0	SSBR + BR
1	12/3 de la silice + sillane X505
2	1/3 de la silice +CB N330 + acide stéarique + ZnO + 6 PPD
5	fin du malaxage/température final = 165 °C

2e étape dans un malaxeur à cylindres à 30 °C

Ajout du soufre + CBS + DPG

Homogénéisation + 18 coupes A/R

Calandrage 3,5 mm d'épaisseur

*X505 : bis-(triéthoxy silyl propyl-3)-tétrasulfure supporté sur noir de carbone.

**CBS : N-cyclohexyl 2-benzothiazyl sulfénamide.

***DPG : diphenyl guanidine.

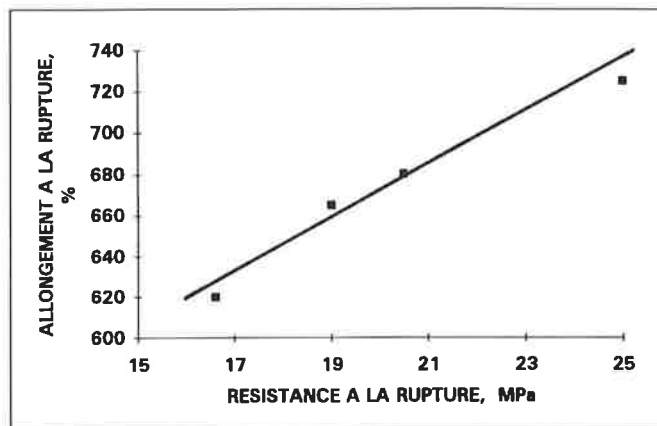


Figure 6 - Corrélation entre résistance à la rupture et allongement à la rupture.

- pour le SBR en émulsion une température de 150 °C pendant un temps égal au T90,

- pour le mélange BR + SBR en solution une température de 150 °C pendant 40 minutes.

Les propriétés en traction sont mesurées selon la norme ASTM D-412.

La dureté (Shore A) est mesurée après 15 secondes selon la norme ASTM D-2240.

La résistance à l'abrasion est déterminée à partir du test Din 53516.

Propriétés spécifiques

Propriétés mécaniques des mélanges SBR sans agent de couplage

On observe qu'une amélioration de la dispersibilité de la silice induit une augmentation de la résistance à la rupture et de l'allongement à la rupture. La figure 6 montre qu'il existe un relation linéaire entre ces deux propriétés, observation également faite par Dizon & Papazian sur des noirs de carbone [13].

Sans agent de couplage, le paramètre qui agit principalement sur la résistance à la traction est l'état de dispersion de la silice dans le caoutchouc et donc sa dispersibilité (figure 7).

La silice de nouvelle génération de Rhône-Poulenc possède une haute dispersibilité. L'état de dispersion plus fin de la silice au sein de l'élastomère permet d'accroître l'interface silice-caoutchouc par rapport à des silices traditionnelles et ainsi améliore les propriétés en traction.

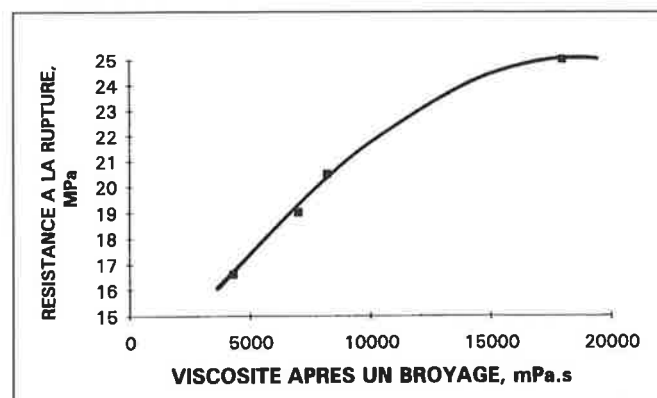


Figure 7 - Corrélation entre résistance à la rupture et test de viscosité dans la DOP.

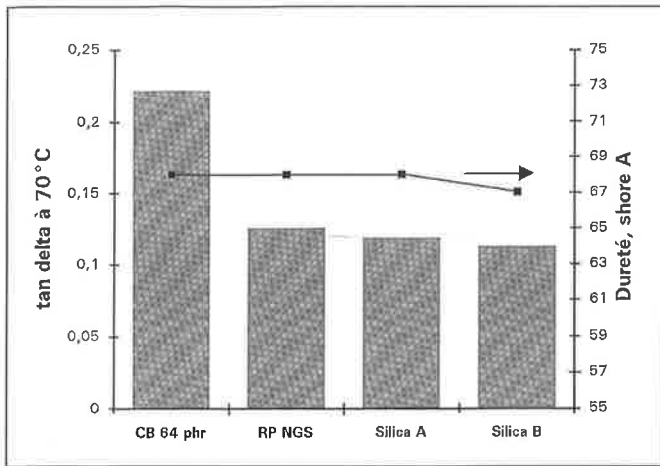


Figure 8 - Comparaison des propriétés dynamiques à 70 °C entre le noir de carbone et les silices (formulation du tableau III sauf utilisation de SSBR Buna VSL 1924 S 25 au lieu de 1955 S 25).

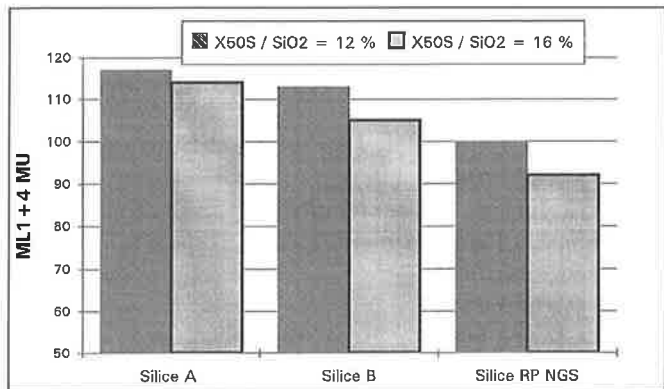


Figure 9 - Viscosité Mooney obtenue avec les différentes silices.

Propriétés mécaniques de mélanges silice-caoutchouc avec agent de couplage, représentatifs des bandes de roulement

L'utilisation de la silice comme charge renforçante pour diminuer la résistance au roulement est de plus en plus revendiquée par les fabricants de pneumatiques [15-21]. La silice remplace partiellement, voire totalement le noir de carbone dans la bande de roulement du pneumatique. On utilise alors un agent de couplage qui permet d'assurer la liaison entre les particules de silice et l'élastomère.

Autrefois, lorsqu'on voulait améliorer la résistance au roulement, c'était en général aux dépens des propriétés d'adhérence sur sol humide [21].

Rappelons que les propriétés de résistance au roulement et d'adhérence sont corrélées aux propriétés dynamiques du caoutchouc et, notamment, au rapport du module visqueux sur le module élastique (tan δ). La résistance au roulement est d'autant meilleure que la valeur de tan δ mesurée à haute température (50 à 70 °C) est faible alors que les propriétés d'adhérence évoluent dans le même sens que tan δ mesurée à basse température (-20 à 0 °C). Quand on remplace le noir de carbone par de la silice, la valeur de tan δ à haute température diminue (figure 8) alors que la valeur de tan δ à basse température ne change pas et même augmente [21] : la silice apporte à la fois une diminution de 30 à 35 % de la résistance au roulement due au pneumatique [17] mais également un maintien, voire une

augmentation des propriétés d'adhérence sur sol humide, plus particulièrement avec la silice NGS(17-21).

Nous avons comparé les silices granulées classiques A et B à la silice de nouvelle génération de Rhône-Poulenc(NGS) dans des formulations SBR + BR en présence d'un agent de couplage (le bis-(triéthoxy silyl propyl-3)tétrasilyle supporté sur du noir de carbone (X50S) (tableau V). Nous avons utilisé deux taux d'agent de couplage X50S : 12 et 16 % par rapport à la silice.

Viscosité Mooney

Quel que soit le taux d'agent de couplage, la viscosité Mooney (figure 9) obtenue avec la NGS est inférieure à celle obtenue avec les silices traditionnelles A et B : ce résultat est significatif d'un meilleur état de dispersion de la silice de nouvelle génération par rapport aux granulés A et B. Cette plus basse viscosité Mooney est importante car elle conduira à des procédés de fabrication de pneumatiques plus faciles à mettre en œuvre. En terme de rhéologie, un gain sur la quantité d'agent de couplage apparaît possible avec la silice de nouvelle génération.

Propriétés mécaniques (traction et abrasion)

Le module à 300 % d'allongement (M300) ainsi que le rapport M300/M100 sont plus élevés avec la silice NGS (figure 10).

La résistance à la rupture est 15 à 25 % plus élevée avec la silice NGS (figure 11).

Enfin, la silice de nouvelle génération de Rhône-Poulenc

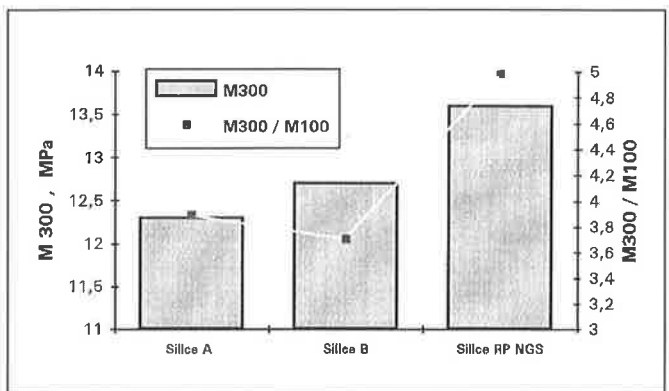


Figure 10 - Modules d'allongement avec les différentes silices.

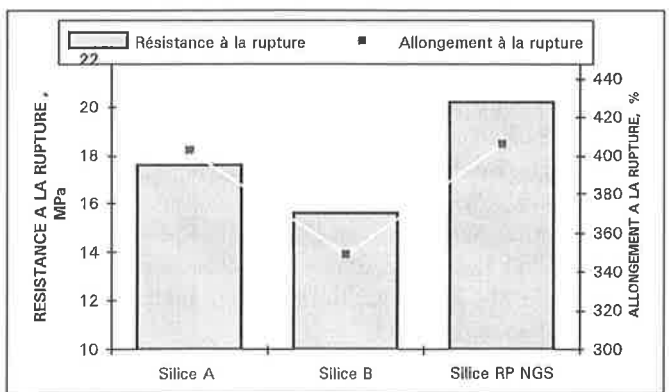


Figure 11 - Résistance et allongement à la rupture (formule SBR solution + BR).

donne une meilleure résistance à l'abrasion. La résistance à l'abrasion tend à décroître lorsque le taux d'agent de couplage diminue ; cependant, la silice NGS reste la plus performante, même avec un taux de X50S de 12 % (figure 12).

Conclusion

La longévité du pneumatique étant directement liée aux propriétés mécaniques que nous venons de décrire, on peut conclure que cette silice de nouvelle génération conduira à une plus grande longévité du pneumatique que les silices traditionnelles. Il apparaît possible de diminuer le taux d'agent de couplage et donc de diminuer le coût de formulation si des propriétés équivalentes à celles obtenues avec des silices traditionnelles sont recherchées.

Conclusion

Nous avons développé des tests de laboratoire permettant de caractériser l'aptitude à la dispersion de la silice dans le caoutchouc. Ces tests mettent en évidence l'aptitude beaucoup plus grande à se disperser de la silice de nouvelle génération de Rhône-Poulenc (Zéosil 1165 MP).

Nous avons également établi des corrélations entre l'aptitude à la dispersion et les propriétés mécaniques des mélanges caoutchouc.

Les résultats de tests de désagglomération sous ultrasons et de mesures de viscosité dans la DOP sont particulièrement bien corrélés à la résistance et à l'allongement à la rupture : ces propriétés sont d'autant plus améliorées que la silice est bien dispersée, ce qui confirme les observations faites sur les noirs de carbone [13].

La substitution du noir de carbone par cette silice de nouvelle génération de Rhône-Poulenc permet d'abaisser fortement la résistance au roulement des pneumatiques tout en préservant ou même améliorant les propriétés d'adhérence. Sa dispersibilité très supérieure à celles des silices traditionnelles améliore les propriétés rhéologiques et mécaniques des mélanges caoutchouc. Il en résulte une mise en œuvre facilitée des mélanges caoutchouc et une longévité accrue des pneumatiques par rapport aux mélanges utilisant des silices traditionnelles.

Références

- [1] Bomal Y., Cochet Ph., Dejean B., ACS Rubber Division, paper 39, Denver, États-Unis, 18 au 21 mai 1993.
- [2] Davies K.M., Lionnet R., Rubbercon'81, Harrogate, England, paper G4, 8 au 12 juin 1981.
- [3] Wolff S., *Tire Sci. Technol.*, 1982, 15, p. 276.
- [4] Wolff S., *Rubber Chem. Technol.*, 1987, 55, p. 967.
- [5] Wolff S., Tan E.H., ACS Rubber Division, paper n°66, New York, USA, 8 au 11 avril 1986.
- [6] Wang M.J., Wolff S., Tan E.H., ACS Rubber Division, paper n°60, Louisville, États-Unis, 19 au 22 mai 1982.
- [7] Ciftioglu M., Akinc A., Burkhart L., *American Society Bull.*, 1986, 65, p. 1591.
- [8] Thoma S.G., Ciftioglu M., Smith D.M., *Powder Technol.*, 1991, 68, p. 63.
- [9] Thoma S.G., Ciftioglu M., Smith D.M., *Powder Technol.*

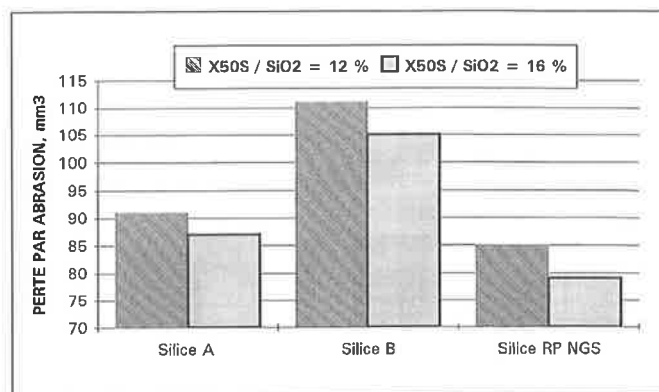


Figure 12 - Perte par abrasion pour les différentes silices.

1991, 68, p. 71.

- [10] Jansen J., Kraus G., *Rubber Chem. Technol.*, 1980, 53, p.48.
- [11] Parkinson C., Matsumoto S., Sherman P., *J. Coll. Interf. Sci.*, 1970, 53, p. 150.
- [12] Funt J.M., *Rubber World*, 1986, fév., p. 21.
- [13] Dizon E.S., Papazian L.A., *Rubber Chem. Technol.*, 1977, 50, p. 765.
- [14] Bomal Y., Gelling I., *Rubber World*, 1993, juin, p. 33.
- [15] EP 501 227, 1992.
- [16] O. Lemaître, French-German Rubber Conference, Mulhouse, France, octobre 1993.
- [17] EP 620 250, 1994.
- [18] EP 623 650, 1994.
- [19] EP 628 597, 1994.
- [20] EP 643 098, 1995.
- [21] Agostini G., Bergh J., Materne T., Akron Rubber Group Meeting, 27 octobre 1994.

Épreuves sélectionnées des Olympiades nationales de la chimie*

Chapitre 3 : Environnement : l'eau, l'air et leurs constituants

A - Dosage de l'azote par la méthode de Kjeldahl (protocole)

I - Documentation

I.1 - Références : Lyon 1989, Grenoble 1991.

I.2 - Index thématique : dosage acidobasique pH-métrique ; oxydoréduction en présence de catalyseur.

I.3 - Utilisation : c'est une méthode de laboratoire qui a des utilisations industrielles. Classes de techniciens supérieurs.

I.4 - Prolongements : techniques d'analyse chimique ; participation à la protection de l'environnement naturel et urbain ; propriétés d'espèces chimiques contenant l'élément azote.

I.5 - Données

Masses atomiques molaires (en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$): H 1,0 N 14,0 O 16,0 S 32,1 Na 23,0

Zones de virage en pH des indicateurs colorés acidobasiques utilisables : hélianthine 4,2 à 6,2 ; phénolphtaléine 8,2 à 10,0 ; bleu de bromothymol 6,0 à 7,6.

Classification des eaux usuelles selon la grille de qualité de référence (tableau 1).

II - But de la manipulation

Il s'agit de mesurer par une méthode quantitative suffisamment précise et sûre la teneur d'une eau quelconque en élément azote présent sous forme réduite (ions ammonium, protéines, acides aminés, polypeptides, urée, toutes substances organiques d'origine essentiellement animale et humaine).

1 - Citer d'autres espèces chimiques que celles qui viennent d'être citées dans lesquelles l'élément azote est présent dans les eaux usuelles.

R : Le diazote dissous, les ions nitrites NO_2^- , et nitrates NO_3^- .

2 - Le réactif de Nessler (tétra-iodomercurate dipotassique, HgI_4K_2) permet d'analyser quantitativement certaines espèces chimiques. Lesquelles ?

R : Le réactif de Nessler donne une coloration jaune ou brune (concentrations

croissantes) en présence de nitrites et de nitrates.

3 - Comment peut-on transformer les matières organiques contenant l'élément azote réduit en ion ammonium dosable ?

R : Le mélange K_2SO_4 (99,5 g) + Se (sélénium, 0,5 g) catalyse l'action de l'acide sulfurique concentré sur les amines et amides. Tous ces composés organiques sont "minéralisés" en ions ammonium.

4 - Quelle réaction chimique permet l'extraction des ions ammonium contenus dans une solution aqueuse, sous forme de gaz ammoniac ? Écrire l'équation chimique correspondante.

R : La soude concentrée déplace l'ammoniac des ions ammonium, sous forme d'un dégagement gazeux. La réaction est quantitative. L'équation bilan s'écrit :

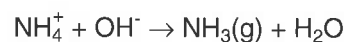


Tableau 1 - Propriétés des eaux usuelles selon leur qualité.

Propriétés	Classement	1 A	1 B	2	3
Conductivité ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) à 20°C		≤ 400	400 à 750	750 à 1 500	1 500 à 3 000
Température		$\leq 20^\circ\text{C}$	20 °C à 22 °C	22 °C à 25 °C	25 °C à 30 °C
pH		6,5 à 8,5	6,5 à 8,5	6 à 9	5,5 à 9,5
O ₂ dissous (mg.L ⁻¹)		> 7	5 à 7	3 à 5	milieu aéré à maintenir en permanence
O ₂ dissous en %		> 90	70 à 90	50 à 70	10 à 20
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)		≤ 3	3 à 5	5 à 10	
Oxydabilité (mg.L ⁻¹)		≤ 3	3 à 5	5 à 8	
DCO (mg.L ⁻¹)		≤ 20	20 à 25	25 à 40	40 à 80
NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)		$\leq 0,1$	0,1 à 0,5	0,5 à 2	2 à 8
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)				< 44	< 44 à 100
N _{total} (au sens de Kjeldahl)		≤ 1	1 à 2	2 à 3	
Dureté totale, en mg.L ⁻¹ (Ca ²⁺ + Mg ²⁺)		< 100	< 200	< 200	< 200

Classement : 1 A (eau d'excellente qualité), 1 B (eau potable), 2 (eau à usage industriel), 3 (eau médiocre) pour le refroidissement, l'irrigation, la navigation.

* Extrait du 2e Recueil d'épreuves sélectionnées des Olympiades nationales de la chimie (5e, 6e et 7e Olympiades). Début de la publication dans le n° 6 d'octobre-novembre 1995 de L'Actualité Chimique, p. 41-49.

III - Mode opératoire

Matériel nécessaire : chauffe-ballon à chauffe réglable pour ballon de 500 mL, éprouvettes graduées de 10 cm³, burette de 25 cm³ ou 50 cm³.

III.1 - Minéralisation

Elle s'opère par action de l'acide sulfurique concentré, en présence de catalyseur. Les matières organiques passent à l'état d'ions ammonium. Le catalyseur au sélénium peut être remplacé par l'adjonction à la solution acidifiée (acide sulfurique concentré) d'une goutte de mercure, ce qui produit du sulfate mercurique.

Prélever 100 cm³ d'eau à analyser, y ajouter avec précaution 10 cm³ d'acide sulfurique concentré et 1 g de catalyseur. Ce mélange est placé dans un ballon de 500 cm³ surmonté d'un réfrigérant vertical. Porter à l'ébullition douce, dans un chauffe-ballon réglable, pendant deux heures. A ébullition modérée, le volume de la solution ne doit pas sensiblement diminuer pendant cette opération, si le montage du réfrigérant est convenablement effectué (figure 1).

Remarques

1. Pour obtenir de bons résultats en manipulation, il faut s'assurer que l'échantillon contient environ entre 0,2 mg et 20 mg d'azote, l'eau stagnante d'une mare convient bien à ce

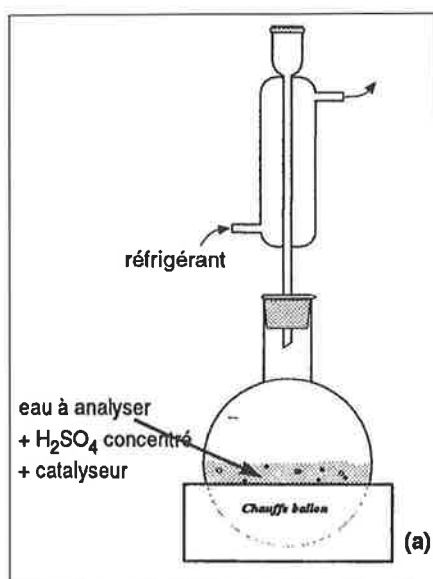


Figure 1 - Dosage de l'azote par la méthode de Kjeldahl : étape de minéralisation.

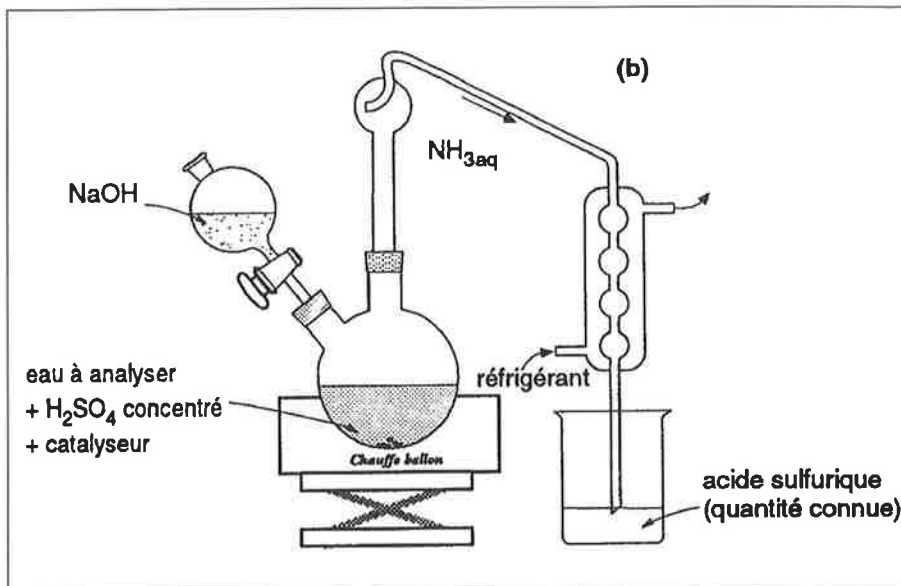


Figure 2 - Dosage de l'azote par la méthode de Kjeldahl : étape de l'extraction de l'ammoniac.

type d'analyse "didactique". A l'inverse, l'eau potable délivrée au robinet du laboratoire ou de la maison, sauf cas anormaux, donnera des résultats négatifs, justement parce qu'il s'agit d'eau potable. Il est conseillé de procéder à un essai préliminaire. On peut également, de manière très artificielle, ajouter à une eau ordinaire une petite quantité d'une amine ou d'une amide.

2 - Le prélèvement de 100 cm³ d'eau à analyser sera réalisé à l'aide de l'éprouvette à pied graduée. Prendre des précautions pour la prise d'acide sulfurique concentré (10 cm³ à l'éprouvette graduée) : il y a échauffement lors du transvasement dans l'eau à analyser. Peser le catalyseur solide, sans précision particulière. En cas de difficulté à mettre en place un réfrigérant à reflux, envisager de placer un flacon de garde, en sortie de colonne verticale, pour récupérer le condensat par barbotage dans de l'eau distillée.

III.2 - Extraction de l'ammoniac

Provoquer le dégagement d'ammoniac, par déplacement à partir des ions ammonium, par addition de soude très concentrée. Il y a d'abord neutralisation de l'acide sulfurique résiduel. Recueillir le gaz ammoniac dans 10 cm³ d'acide sulfurique H₂SO₄ à 5.10⁻¹ mol.L⁻¹. Pour dégager tout l'ammoniac, dans cette opération, maintenir une ébullition tranquille jusqu'à distillation d'environ les deux tiers de la solution initiale (figure 2).

III.3 - Dosage en retour de l'acide sulfurique

Il s'agit, cette fois, d'un dosage acidobasique classique.

Placer la solution d'acide sulfurique et de sulfate d'ammonium obtenue dans le bécher, ajouter quelques gouttes d'indicateur coloré (bleu de bromothymol ou hélianthine, par exemple) ; la soude titrée se trouve dans la burette. Choisir une solution de soude à 7.10⁻¹ mol.L⁻¹ (figure 3).

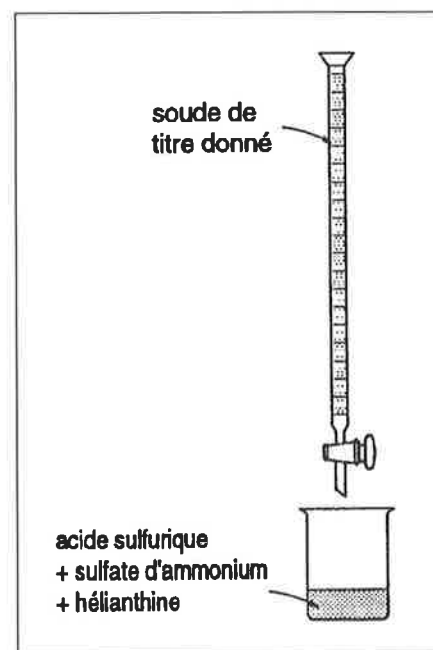


Figure 3 - Dosage de l'azote par la méthode de Kjeldahl : étape du dosage en retour de l'acide sulfurique.

B - Dosage de l'azote total d'une gélatine commerciale par la méthode de Kjeldahl (manipulation)

La manipulation proposée ici est un prolongement du protocole précédent. Il est extrait d'un mode opératoire de classes de BTn et BTS.

La substance protéique utilisée est la gélatine alimentaire que l'on se procure dans le commerce.

I - Minéralisation

a) Dans un matras sec de 30 cm³, introduire :

- une masse *m* (pesée exacte) voisine de 100 mg,
- environ 0,5 g de sulfate de potassium,
- une pointe de spatule du mélange catalyseur (Se + CuSO₄),
- 2 cm³ d'acide sulfurique concentré.

b) Ajouter deux ou trois petites billes de verre, minéraliser sous la hotte, en chauffant énergiquement. Il est recommandé pour ce faire d'employer une rampe de minéralisation. Noter que la solution noircit, puis redevient claire en fin d'opération.

II - Distillation et dosage de l'ammoniac

- Laisser refroidir, puis reprendre par de l'eau distillée. Placer le minéralisat et les eaux de lavage dans le ballon à distiller.
- Ajouter des billes de verre, compléter

avec de l'eau jusqu'à obtenir un volume d'environ 150 à 200 cm³. Alcaliniser par 10 cm³ de solution concentrée d'hydroxyde de sodium (densité approximativement 1,33), en vérifiant l'alcalinisation.

- Distiller dans environ 15 cm³ d'une solution d'acide borique à 40 g/L. Doser par la solution d'acide sulfurique de concentration molaire donnée (environ 0,05 mol/L), en présence de rouge de méthyle (essai E) (figure 4).

- Préparer un témoin (T) servant de témoin de couleur pour l'équivalence, avec 15 cm³ d'acide borique à 40 g/L, deux gouttes de rouge de méthyle, une goutte d'acide sulfurique à 0,05 mol/L, et amener à un volume égal à celui de l'essai E en ajoutant de l'eau.

- Schéma du montage (figure 4).

Verser cette solution de manière à avoir la même couleur dans (T) et dans (E). Arrêter l'opération lorsqu'il n'y a plus de modification apparente : soit *V* le volume versé.

III - Résultats

Calculer le titre massique en azote total de la substance protéique. Sachant qu'un gramme de protéine pure contient 0,16 g d'azote, calculer la pureté de la substance protéique. On supposera que la totalité de l'azote dosé est d'origine protéique.

R : Titre massique en azote total de la gélatine :

$$\% N = 2 \times 14 \times 0,1 \times C_{H_2SO_4} \times V/n$$

On obtient 14,9 ; 15,2 ; 15,9 % avec des puretés respectives de 93 , 95, 96 %.

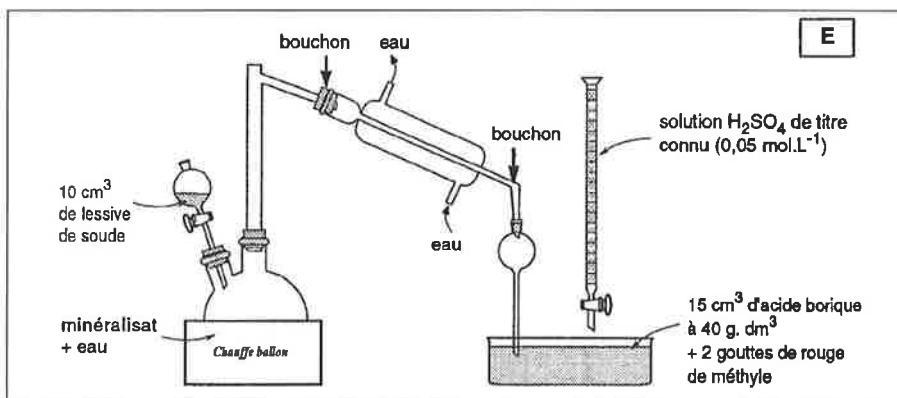


Figure 4 - Distillation et dosage de l'ammoniac (méthode de Kjeldahl).

C - Questions

I - L'eau dans la nature

La réserve d'eau de notre planète est évaluée par les géologues à 1,3.10⁹ km³. Les océans constituent 97,2 % de cette réserve, les calottes glaciaires et glaciers 2,15 % ; 0,625 % de l'eau serait dans le sous-sol, 0,001 % dans l'atmosphère et 0,0091 % en eau douce dans les fleuves, rivières et cours d'eau, lacs et étangs.

Le cycle de l'eau dans la nature peut se schématiser (figure 5).

Chaque année, environ 400 000 km³ d'eau s'évaporent dans l'atmosphère ; la plus grande partie, soit les trois quarts, retombe dans les océans : cette véritable distillation constitue la seule source d'eau douce (figure 6). Les eaux de ruissellement, tout au long de leur parcours terrestre, dissolvent gaz atmosphériques et composés solubles ioniques. Il est donc nécessaire, d'un point de vue scientifique, de distinguer l'eau chimiquement pure qui n'existe pas à l'état naturel, de l'eau douce naturelle des lacs ou des rivières,

par exemple et, en outre, l'eau de source potable, propre à la consommation. Les eaux d'origine tellurique ont des caractéristiques particulières qui diffèrent selon leurs origines, les sources thermales étant le plus souvent en relation étroite avec le volcanisme.

Une eau potable répond à cinq caractéristiques principales ; elle doit être :

- exempte de germes pathogènes,
- limpide,
- sans saveurs désagréables ni odeurs, sans être pour autant insipide (par

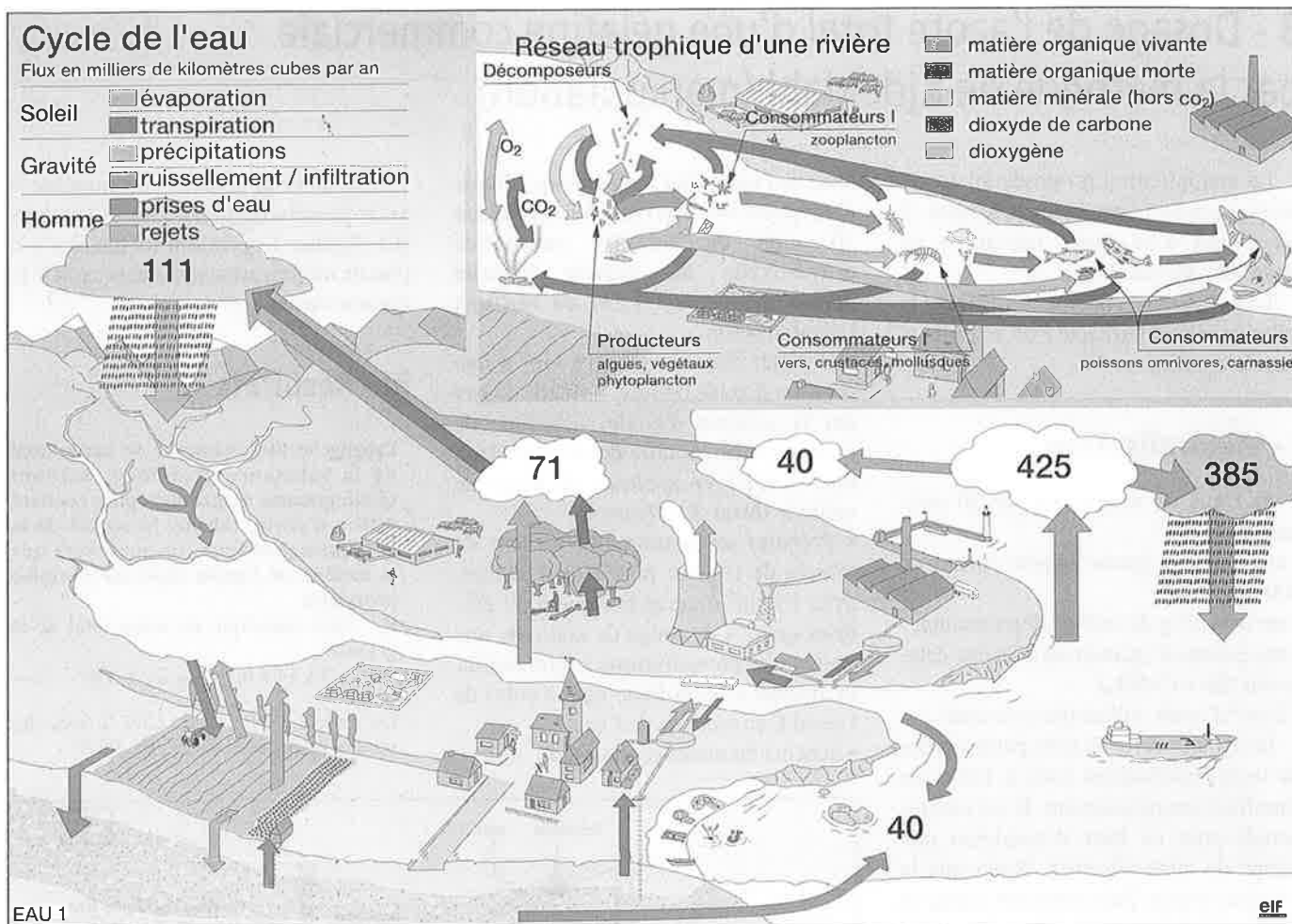


Figure 5 - Cycle de l'eau dans la nature (Dossier Pédagogique Environnement 1992, Elf Aquitaine).

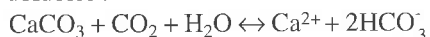
l'absence totale de CO₂ par exemple).
 • incolore, avec une teinte légèrement bleutée sous une épaisseur notable (plusieurs mètres),
 • non agressive vis-à-vis des canalisations métalliques ou conduites en béton.

Remarque : afin de protéger les canalisations (eaux industrielles), on ajuste le pH des eaux transportées afin que la fine couche de carbonate de calcium CaCO₃ qui se forme et qui a un rôle protecteur, ne s'épaississe pas à l'excès au risque d'obstruer par entartrage l'écoulement de l'eau.

L'eau de pluie, bien que résultant d'une distillation naturelle, contient des gaz dissous : CO₂ est le plus soluble, puis O₂ et N₂. On y trouve également des traces non négligeables d'ions nitrite, ammonium et des oxydes d'azote, du dioxyde et du trioxyde de soufre d'origine humaine (rejets industriels et domestiques).

L'eau des rivières et des nappes phréatiques contient divers cations, alcalins et alcalino-terreux, divers anions,

chlorure, carbonate et sulfate. Les carbonates (de calcium, de magnésium) presque insolubles dans l'eau pure, se dissolvent sensiblement dans les eaux chargées de dioxyde de carbone par suite de la formation d'hydrogencarbonates solubles :



On a affaire à une eau qualifiée de «dure». Des réactions similaires ont lieu avec le phosphate de calcium, la dureté ne dépassant pas 50. Les eaux minérales constituent autant de cas particuliers, de par leur composition

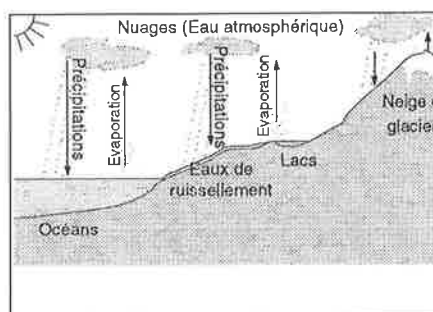


Figure 6 - Évaporation-précipitation des eaux sur la Terre.

rappelée sur les étiquettes des bouteilles commercialisées.

L'eau de mer océanique contient en moyenne 3,6 % de sels dissous dont les deux tiers sont du chlorure de sodium. Sa composition est considérée comme constante en tous lieux et à travers les ères géologiques. Aux quelques dizaines d'éléments présents à l'état de traces, aux substances organiques dissoutes ou colloïdales, il convient d'ajouter la présence, dans un kilogramme d'eau de mer, des quantités suivantes des principaux ions : chlorure (18,98 g), sulfate (2,65 g), hydrogencarbonate (0,134 g) bromure (64,6 mg), fluorure (1,3 mg), sodium (10,56 g), magnésium (1,27 g), calcium (0,400 g), potassium (0,380 g), strontium 13,3 mg), pour un pH constant voisin de 8,2 et une quantité d'acide borique non dissocié de 26 mg.

Quant à la planète elle-même, elle possède une quantité d'eau bien plus importante que celle présente dans les océans. En effet les roches de la croûte terrestre renferment près de 2 % en

masse d'eau de constitution, ce qui équivaut à près de 20 fois la masse des océans. Cette eau engagée dans des combinaisons chimiques stables ne réintègre le cycle qu'après avoir été libérée par les éruptions volcaniques donnant lieu à ce que les géologues appellent de l'eau juvénile.

Pour terminer ces généralités relatives à l'eau en tant que constituant de la Terre, rappelons qu'elle est le seul composé présent simultanément sous ses trois états physiques (solide, liquide, gaz) dans notre milieu naturel.

Questions

1 - Quelle superficie du globe terrestre est recouverte par les océans ? (Bordeaux, 1989)

R : environ les trois quarts de la superficie totale.

2 - Quelle est la proportion d'eau douce par rapport aux réserves totales de notre planète ? (Bordeaux, 1989).

R : environ 3 %.

3 - Où se situent les plus grandes réserves d'eau douce ? (Bordeaux, 1989).

R : Les banquises situées aux pôles, notamment celles de l'Antarctique, constituent les principales réserves d'eau douce.

4 - Citez les principales conditions nécessaires au développement de la vie aquatique. (Bordeaux, 1989).

R : L'absence de pollution bactérienne et une dissolution suffisante de dioxygène sont les deux principales conditions pour que se développe et se maintienne la vie aquatique. La quantité de dioxygène dissoute dans l'eau est proportionnelle à la pression partielle p_{O_2} dans l'atmosphère. Elle décroît avec la température comme le montre ce tableau des teneurs dans l'eau en dioxygène, exprimées en mg/L pour $P_{atm} = 1,013 \cdot 10^5$ Pa.

0 °C	10 °C	20 °C	30 °C
14,5	11,1	8,9	7,2

Comme les eaux naturelles sont rarement en équilibre physico-chimique, cette valeur de saturation présente des écarts qui sont qualifiés de "déficit en oxygène". En ce qui concerne la vie des animaux aquatiques, il faut noter que la teneur en dioxygène baisse quand la température augmente, alors que les besoins vitaux de ces animaux augmentent.

5 - Pourquoi les saumons, poissons fragiles, préfèrent-ils l'eau vive et froide des torrents ? (Bordeaux, 1989).

R : L'eau vive est oxygénée à son maximum du fait des remous, la teneur en dioxygène est plus grande à basse température, l'agitation empêche la pollution ou la prolifération bactérienne.

6 - Les polluants à l'origine de l'acidification des pluies sont essentiellement le dioxyde de soufre SO_2 et le dioxyde d'azote NO_2 . D'où proviennent ces deux composés ? (Rennes, 1989).

R : SO_2 provient des dégagements de combustions industrielles et domestiques, car des traces de produits soufrés subsistent dans les hydrocarbures et surtout dans les charbons utilisés comme combustibles.

NO_2 provient soit de certains rejets industriels et moteurs d'automobiles, soit de l'oxydation du monoxyde d'azote formé dans la haute atmosphère sous l'effet du rayonnement solaire.

7 - En l'absence de pollution, l'acidité des nuages est celle d'une solution aqueuse en équilibre avec les gaz atmosphériques, et en particulier le dioxyde de carbone CO_2 . Ce dernier se dissout partiellement dans le brouillard (ou dispersion colloïdale) eau/air qui constitue tout nuage. On ne considérera, pour les calculs, que les équilibres chimiques suivants :

(1) $CO_2 \text{ gaz} \leftrightarrow CO_2 \text{ dissous}$

$$K_1 = [CO_2] \text{ dissous} / P_{CO_2} = 2,3 \cdot 10^{-7}$$

(2) $CO_2 \text{ dissous} + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$

$$K_2 = 3,4 \cdot 10^{-3}$$

(3) $H_2CO_3 + H_2O \leftrightarrow HCO_3^- + H_3O^+$

$$K_3 = 1,32 \cdot 10^{-3}$$

(4) $HCO_3^- + H_2O \leftrightarrow CO_3^{2-} + H_3O^+$

$$K_4 = 5,6 \cdot 10^{-11}$$

(5) $2H_2O \leftrightarrow OH^- + H_3O^+$

$$K_e = 10^{-14}$$

avec P_{CO_2} = pression partielle de dioxyde de carbone dans l'air (en pascals) et $[CO_2] \text{ dissous}$ = concentration en dioxyde de carbone dissous dans l'eau du nuage (en mol. dm^{-3}).

La pression atmosphérique est égale à 10^5 Pa. L'air contient 0,03 % de CO_2 (pourcentage volumique) et tous les gaz sont considérés comme parfaits.

Estimer le pH de l'eau du nuage dans ces conditions. (Rennes, 1989).

R : $pH \approx 5,7$. Pour obtenir ce résultat, il est légitime d'effectuer certaines approximations, compte tenu des données numériques fournies.

De K_1 , on écrit $CO_{2(g)} = CO_{2 \text{ dissous}}$

$[HCO_3^-] \approx [H_3O^+]$ car K_e et $K_4 \ll K_3$, tous les ions hydronium proviennent de l'équilibre (3).

Il s'ensuit que $K_3 = [H_3O^+]^2 / [H_2CO_3]$ avec $[H_2CO_3] = K_2 \cdot [CO_2] \text{ dissous} = K_2 \cdot K_1 \cdot P_{CO_2}$, avec $P_{CO_2} = 1,013 \cdot 10^5 \times 3,10^{-4}$ car le pourcentage de CO_2 (0,03 %), en volume, est égal au pourcentage exprimé pour les pressions gazeuses.

Numériquement, il vient :

$$P_{CO_2}/p = n_{CO_2}/n_{tot} = \% \text{ en volume} = 3,10^{-4}$$

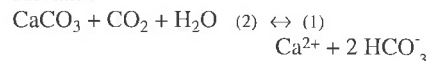
$$[H_3O^+]^2 = K_3 \cdot K_2 \cdot K_1 \cdot P_{CO_2} = 1,32 \cdot 10^{-4} \times 3,4 \times 10^{-2} \times 2,3 \cdot 10^{-7} \times 3,10^{-4} \times 1,0 \cdot 10^5 = 3,6 \cdot 10^{-12} \text{ d'où } [H_3O^+] = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ et } pH = 5,7$$

8 - Quels sont les effluents gazeux à l'origine de l'acidification des pluies ? (Paris, 1989 ; Rouen, 1990).

R : SO_2 , CO_2 , NO

9. Lorsque les eaux de pluie traversent des terrains calcaires, il se forme à la longue des cavités dans le sous-sol calcaire. Quels phénomènes physico-chimiques expliquent cette formation de cavités ? (Lille, 1990).

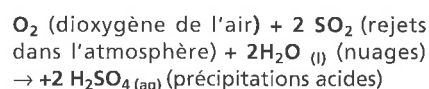
R : Les eaux de pluie sont naturellement acides ($pH = 5,7$) par suite de la dissolution de dioxyde de carbone atmosphérique. Le calcaire essentiellement formé de carbonate de calcium se dissout lentement suivant :



L'hydrogénocarbonate de calcium étant soluble, les cavités se forment donc du fait de la circulation des eaux courantes dans les fissures des terrains calcaires.

L'eau suintant des roches, où elle se trouve sous pression plus ou moins élevée, est donc chargée de dioxyde de carbone ($[CO_2]_{\text{diss}}$ est proportionnel à p_{CO_2} donc à p). En se retrouvant sous la pression atmosphérique, cette eau dégage du dioxyde de carbone, ce qui entraîne le dépôt de carbonate de calcium par déplacement de l'équilibre dans le sens 2 : il y a formation de stalactites et stalagmites. Les variations de température peuvent également intervenir de façon secondaire.

10 - On peut estimer que la réaction à l'origine du caractère polluant des pluies acides, apparu depuis l'industrialisation, est globalement représentée par l'équation suivante :



Si on considère qu'un ensemble d'usines rejette une tonne de dioxyde de soufre par jour, quelle masse d'acide sulfurique pourra retomber sous forme de pluies acides durant une année ? (Nice-Toulon 1989).

R : Les masses molaires de SO_2 et H_2SO_4 sont respectivement de $64 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Une tonne de dioxyde de soufre entraîne la formation de $1\,531 \text{ kg}$ d'acide sulfurique. En admettant que ce complexe industriel fonctionne en permanence, soit 365 jours par an, il entraînera la formation dans l'atmosphère de $558,9$ tonnes d'acide sulfurique. Cet exemple montre bien la nécessité de limiter au maximum les rejets de dioxyde de soufre dans l'atmosphère, ce qui est obtenu grâce à une réglementation très sévère.

11 - On a prélevé un litre d'eau dans un bassin de stockage d'une usine. On fournit à cet échantillon 0,07 g de dioxygène en le diluant dans un grand volume d'eau pure, saturé en ce gaz. Après cinq jours d'incubation à $20^\circ C$, à l'abri de l'air et de la lumière, cette quantité passe à la valeur de 0,002 g de dioxygène dissous. Rappelez la définition de la demande biochimique en oxygène "DBO₅" ; calculer la DBO₅ de cet échantillon. Sachant que l'on tolère le recyclage des eaux usées à condition que leur DBO₅ soit inférieure à 40 ppm, peut-on traiter les eaux de ce bassin après traitement ? (Nice-Toulon, 1989).

R : Du fait de la présence de composés réducteurs, notamment d'origines orga-

nique et bactérienne, dans l'eau, une réaction d'oxydation biochimique s'effectue lentement (il convient de remarquer qu'il ne serait pas possible d'obtenir directement 0,07 g/L de dioxygène, puisque la solubilité à 20 °C est d'environ 8 mg/L. La norme a fixé à cinq jours d'intervalle les deux mesures des concentrations en dioxygène qui permettent de caractériser une eau quant à sa composition "biochimique" : la différence entre les deux mesures est la DBO₅. Pour le litre d'eau en cause, on trouve 0,070-0,002 = 0,068 g/L soit 68 ppm. Cette eau ne répond pas à la condition imposée d'avoir une DBO₅ comprise entre 15 et 40 ppm. Cette dernière valeur de 40 ppm est la valeur maximale définie par la norme pour la quantité de matières en suspension rejetées dans le milieu naturel, ou dans un réseau d'assainissement, sans passage par une station d'épuration.

II - L'eau et la vie. Les eaux minérales

1 - Quel est le besoin journalier d'un individu en eau ? (Toulouse, 1990).

R : 3 litres d'eau par jour sont nécessaires à un adulte ? Ils sont apportés par les boissons et les aliments.

2 - Quelle est la proportion d'eau d'un organisme humain ? Change-t-elle si l'individu est maigre ou obèse ? (Toulouse, 1990).

R : La proportion d'eau constituant le corps humain est pratiquement constante, égale à 70 % de la masse corporelle.

3 - Quels sont les principaux liquides d'un organisme humain qui renferment le plus d'eau ? (Toulouse, 1990).

R : Le sang, la lymphe, les larmes, la salive, les sucs digestifs, le liquide céphalorachidien sont autant de composants liquides du corps humain, leur composition est remarquablement constante. On les appelait autrefois "les humeurs".

4 - Les eaux que nous buvons contiennent chacune un soluté qui les caractérise. Appariez chaque soluté (s) à "l'eau" correspondante : eau sucrée (A), eau de vie (B), eau de Seltz (C), eau minérale (D) ; et pour les solutés (s) : éthanol (ou alcool "bon goût") (a), dioxyde de carbone (b), mélange d'anions et de cations (c), saccharose (d) (Toulouse, 1991).

R : A-d, B-a, C-b, D-c

5 - Appariez, comme dans la question précédente, la caractéristique usuelle (u) à chacune de ces eaux "qu'il ne faut pas boire" : eau précieuse (E), eau de Javel (F), eau régale (G), eau oxygénée (H) et pour (u) : désinfectante (e), solvant de l'or (f), désincrustant cutané (g), antiseptique (h) (Toulouse, 1991).

R : E-g, F-e, G-f, H-h

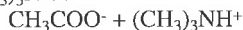
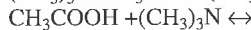
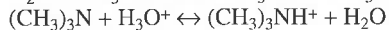
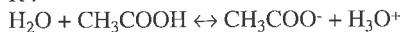
6 - Ecrire les formules chimiques des espèces suivantes, toxiques ou indésirables dans l'eau de consommation : ions nitrate, nitrite, ammonium, phosphate, cyanate ; le phénol, le chlorure de vinyle. (Caen, 1989).

R :



7 - Comme un poisson... dans l'eau". La plupart des poissons contiennent des amines volatiles, entres autres, la triméthylamine (CH₃)₃N dont l'odeur est désagréable. Cette odeur peut altérer le goût du poisson. Pour l'éliminer, on ajoute du vinaigre à l'eau de court-bouillon, lors de la cuisson ; les sels de triméthyl ammonium sont très solubles dans l'eau. Sachant que le vinaigre est essentiellelement de l'acide éthanóique CH₃COOH de pK_a = 4,8 et que le couple (CH₃)₃NH⁺/(CH₃)₃N a pour pK_a = 9,9, écrire l'équation de la réaction possible entre l'acide éthanóique et la triméthylamine. En déduire le rôle du vinaigre ajouté. (Créteil, 1991).

R :



La triméthylamine, responsable de l'odeur désagréable passe en solution sous forme d'ion triméthylammonium au lieu de s'échapper dans l'atmosphère, au cours de l'ébullition.

8 - Rappeler la définition de la dureté d'une eau et du degré hydrotimétrique ; classer les trois eaux minérales suivantes par dureté croissante : Evian (9,8), Vittel (24), Volvic (3) en précisant l'intérêt d'une eau peu dure dans les usages domestiques courants. (Amiens, 1989).

R : La dureté totale d'une eau est donnée par la concentration en ions alcalino-terreux (essentiellement les ions Ca²⁺ et Mg²⁺). Cette concentration, notée N, est exprimée en millimoles.L⁻¹.

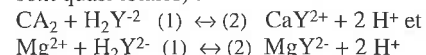
Le degré hydrotimétrique français °TH de cette eau est alors donné par : °TH = 10 N. (1°TH correspond à 10⁻⁴ mol/L d'ions Ca²⁺ et Mg²⁺).

Les eaux courantes ont des degré hydrotimétriques échelonnés entre 0 et 50. Quand une eau a un degré hydrotimétrique élevé > 30), on dit qu'elle est "dure". L'inconvénient d'une eau dure est qu'elle produit, lors d'usages domestiques répétés (ustensiles de cuisine, canalisations), des dépôts calcaires. Par ailleurs, le savon n'y mousse pas.

Les trois eaux minérales (Evian, Vittel Volvic) sont peu dures, du fait de leurs origines géologiques, la moins dure étant l'eau de Volvic.

9 - Quel est le réactif employé pour mesurer la dureté d'une eau ? (Rouen, 1991).

R : Les ions Ca²⁺ et Mg²⁺ sont dosés par une solution du sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique (EDTA) symbolisé par Na₂H₂Y selon les équilibres suivants (dans ce dosage, les réactions (1) sont quasi totales) :



10 - Dans certains pays, on a "fluoré" l'eau potable afin de diminuer les caries dentaires parmi la population, la présence de fluor renforçant, estime-t-on, l'émail des dents. En tenant compte des données suivantes :



Préciser s'il est possible de fluorer l'eau en y ajoutant directement du difluor, écrire l'équation bilan de la réaction qui intervient lorsque du difluor est introduit dans l'eau.

R : Les valeurs des potentiels d'oxydoréduction montrent que le difluor décompose l'eau et la rend acide :



On introduit du fluorure de sodium essentiellement. Un autre agent de fluoration des eaux de consommation est le monofluorophosphate de sodium, de formule PO₃FNa₂. Leur mélange est également employé.

11 - Pour la ville de New York (8,2 millions d'habitants), la consommation annuelle d'eau de boisson par personne est de 6.10³ litres. Quelle masse de fluorure de sodium NaF, à 45 % en masse de fluor, faut-il ajouter pour donner à cette eau de consommation, une concentration en fluor égale à 1 ppm ? (Rouen, 1991).

R : Chaque habitant consomme annuellement 6,10/0,45 = 13,56 g de fluorure de sodium qui nécessite 111 tonnes pour toute la population new-yorkaise, annuellement.

12 - Sous quelle forme se trouve essentiellement présent l'élément azote dans l'eau potable ? Quelle est la teneur à ne pas dépasser ? (Strasbourg, 1991).

R : Les ions nitrates constituent la plus grande partie de l'azote présent dans l'eau, avec le diazote N₂ atmosphérique dissous. Les teneurs à ne pas dépasser, fixées réglementairement par le code de la santé publique (article L19, décret 89-3 du 3 janvier 1989) sont de 50 mg/L pour les nitrates, 0,10 mg/L pour les nitrites et 0,50 mg/L pour les ions ammonium. Le diazote se trouve dissous à 20 °C, à 15 mg/L, mais il n'a pas d'effet nocif sur l'organisme, par voie digestive.

13 - Rappeler la définition de la DCO. En quoi sa détermination est-elle importante ? (Strasbourg, 1991).

R : La demande chimique en oxygène (DCO) est la concentration massique, exprimée en mg/L, en dioxygène équivalente à la quantité d'oxydant (dichromate de potassium) consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'un

échantillon d'eau est traité avec cet oxydant dans des conditions définies (premier recueil, p. 50 et suivantes). Sa mesure permet de connaître la qualité d'une eau vis-à-vis des agents réducteurs qui y sont présents. Les normes fixent des valeurs à ne pas dépasser selon les usages domestiques ou industriels envisagés.

14 - Mots croisés chimiques : E comme EAU (Caen, 1991) (figure 7).

III - Pollution et épuration des eaux

Se reporter aux normes Afnor NF 90-103 de décembre 1975 et NF 90-101, octobre 1988 (cf. premier recueil) pour les définitions, qui sont par ailleurs rappelées dans les parties I et II précédentes.

La DCO est la concentration, exprimée en milligrammes par litre, d'oxygène équivalente à la quantité de dichromate consommée par les matières dissoutes et en suspension, lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant, dans des conditions définies (norme Afnor NF 90-101, octobre 1988).

1 - Pour une eau usée, la DCO égale la DBO ; que peut-on en conclure ? (Concours national, 1989).

R : L'intégralité de la pollution est d'origine biodégradable.

2 - Pour une eau usée donnée, la DCO est supérieure à la DBO ; que peut-on en conclure ? (Concours national, 1989).

R : Une partie de la pollution est d'origine chimique, ou non biodégradable.

3 - La pollution d'un cours d'eau prend souvent un aspect plus dramatique en été qu'en hiver, même à débit constant ; expliquer pourquoi (Concours national, 1989).

R : La solubilité du dioxygène diminue quand la température s'élève donc la dépollution naturelle est moins active, la demande d'oxygène provenant de la pollution porte donc davantage préjudice à la faune et à la flore aquatiques.

4 - Une eau insipide est-elle potable ? (Concours national, 1989).

R : Non, car elle ne contient pas de sels minéraux. Or, ces sels contribuent à lui donner une saveur et à la rendre non agressive vis-à-vis des conduites et canalisations ; ces deux qualités font partie des critères de potabilité d'une eau.

5 - Les agglomérations engendrent une eau polluée, transportée par le réseau d'égoût. Il convient de traiter cette eau polluée avant son rejet dans le milieu naturel : c'est ce rôle que remplissent les stations d'épuration des

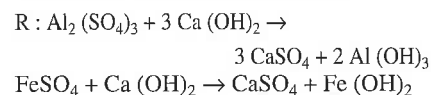
eaux. Après avoir mesuré la pollution devant être prise en charge par la station d'épuration, ce qui détermine la "charge polluante" puis le dimensionnement à donner à la station, deux étapes essentielles sont mises en œuvre.

Le traitement primaire vise à débarrasser l'eau de ses matières en suspension, d'abord par décantation, puis par ajout de produits chimiques, ce qui provoque la formation d'un "floc" qui sera lui aussi extrait par décantation. Le floc est le rassemblement des particules colloïdales et en suspension.

Le traitement secondaire consiste à oxyder, par brassage d'air et par bactéries, les polluants générant la DBO de l'eau. Ceci conduit à "concentrer" la pollution sous forme d'une boue qui après divers traitements (épaississement, stabilisation) peut être soit incinérée, soit utilisée comme engrais. L'eau est alors débarrassée de la majeure partie de ses substances polluantes, elle est rejetée dans le milieu naturel sans inconvénient.

On utilise, pour constituer le "floc", la réaction soit du sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$, soit du sulfate ferreux $FeSO_4$ sur de la chaux $Ca(OH)_2$.

Ecrire les équations de ces réactions.



14 - Mots croisés chimiques : E comme EAU.

1. Cette eau contient l'ion hypochlorite
2. Qualifie une eau qui contient des ions Ca^{2+} et Mg^{2+}
3. Mélange de HNO_3 et de HCl qui peut dissoudre l'or
4. Rôle joué par l'eau pour de nombreux composés
5. Qualifie les propriétés acides et basiques de l'eau
6. Addition d'eau
7. Rôle joué par l'eau dans la réaction $F_2 + H_2O \rightleftharpoons 2F^- + 2H^+ + \frac{1}{2}O_2$
8. Peut qualifier la réaction $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$
9. Méthode permettant, à partir de l'eau, d'obtenir H_2 à la cathode
10. Dans cette eau le deutérium remplace l'hydrogène
11. Rôle joué par l'eau dans la réaction $CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$
12. Phénomène provoqué dans les eaux calmes riches en sels nutritifs (NO_3^- , PO_4^{3-})
13. Rôle joué par l'eau dans la réaction $Na + H_2O \rightarrow Na^+ + OH^- + H_2$

Caen 1991

Réponse :

- 1 JAVEL
- 2 DURE
- 3 REGALE
- 4 SOLVANT
- 5 AMPHOLYTE
- 6 HYDRATATION
- 7 REDUCTEUR
- 8 NEUTRALISATION
- 9 ELECTROLYSE
- 10 LOURDE
- 11 BASE
- 12 EUTROPHISATION
- 13 OXYDANT

Le dernier prix NOBEL français de Chimie

Figure 7 - Mots croisés chimiques : E comme Eau (question n° 14 et sa réponse).

IV - L'atmosphère. L'air et ses constituants

Voici la composition en volumes de l'atmosphère terrestre actuelle, hors vapeur d'eau. Les concentrations de cette dernière sont éminemment variables, tout en restant comprises entre quelques ppm et 1 % :

Gaz principaux

N ₂	78,084 %	Ar	0,934 %
O ₂	20,948 %	CO ₂	340 ppm

Gaz rares

Ne	18 ppm	Kr	1 ppm
----	--------	----	-------

He 5 ppm

Éléments traces

CH ₄	2 ppm	NH ₃	4 ppb
H ₂	0,5 ppm	NO ₂	1 ppb
N ₂ O	0,3 ppm	SO ₂	1 ppb
CO	0,5 à 0,2 ppm	H ₂ S	0,05ppb
O ₃	0,02 à 10 ppm		

La troposphère limitée supérieurement par tropopause (17 km d'altitude à l'équateur, 8 km aux pôles) présente une décroissance thermique d'environ 6,5 °C par kilomètre vertical. La stratosphère la surmonte jusqu'à environ 50 km d'altitude, la température remontant lentement jusqu'à atteindre 0 °C : le dégagement de chaleur y provient essentiellement de l'absorption du rayonnement ultraviolet d'origine solaire par l'ozone stratosphérique. Au-delà de cette altitude se succèdent la mésosphère (jusqu'à environ 85 km d'altitude) puis la thermosphère à l'intérieur de laquelle l'absorption du rayonnement ultraviolet d'origine solaire permet à la température d'atteindre plusieurs centaines de °C, selon l'activité solaire, jusqu'à environ 600 à 800 km. Dans cette dernière zone, la température ainsi définie résulte des calculs effectués à partir des résultats de la théorie cinétique des gaz. En effet, la raréfaction des molécules y est telle que leur libre parcours moyen devient très important (plusieurs dizaines de kilomètres ou davantage). La température ne peut alors s'exprimer qu'en fonction de la vitesse des particules, laquelle varie brusquement lors d'un choc avec une autre particule. La capacité thermique d'un tel gaz raréfié est nulle.

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/kg}$$

$$1 \text{ ppmv} = 1 \text{ cm}^3/\text{m}^3$$

$$1 \text{ ppb} = 1 \text{ } \mu\text{g/kg}$$

$$1 \text{ ppbv} = 1 \text{ mm}^3/\text{m}^3$$

1 - La diazote et le dioxygène réagissent-ils facilement l'un avec l'autre ? Indiquez

une observation justifiant la réponse (Concours national, 1989).

R : Ils coexistent dans l'atmosphère, ce qui montre l'absence de réactivité l'un sur l'autre dans les conditions habituelles. Cependant, lors des orages, ils peuvent réagir en donnant du monoxyde d'azote qui s'oxyde en dioxyde d'azote, puis en acide nitrique.

2 - Quels sont les gaz, dans la liste suivante, présents dans l'atmosphère à des proportions supérieures à 2.10⁻⁴ : He, H₂, Xe, Ar, CH₄, Kr, Ne, CO₂, CO ? (Toulouse, 1991).

R : Ar, CO₂

3 - Écrire les équations bilan de la formation de monoxyde d'azote sous l'action des éclairs orageux, puis de son oxydation en dioxyde d'azote et acide nitrique (Concours national, 1989).

R : N₂ + O₂ → 2 NO (1) puis 2 NO + O₂ → 2 NO₂ (2) et enfin 4 NO₂ + 2 H₂O + O₂ → 4 HNO₃

4 - La masse annuelle d'acide nitrique ainsi apportée par les pluies sur le territoire français métropolitain (550 000 km²) est de 3,85.10⁵ tonnes en tenant compte de toutes les sources d'acide nitrique. Calculer la masse moyenne d'azote apportée annuellement par ces pluies nitriques, à l'hectare (Concours national, 1989).

R : 7 kilogrammes à l'hectare, chaque année.

5 - La teneur atmosphérique en dioxyde de carbone était de 275 ppm au début du XIXe siècle. Que signifie ppm ? (Lyon, 1989).

R : Partie par million, soit un millionième en masse

6 - La teneur atmosphérique actuelle en dioxyde de carbone est 345 ppm. Quelles sont les causes et les conséquences de cet accroissement ? (Lyon, 1989 ; Rouen, 1990).

R : L'activité volcanique constitue une cause importante de l'accroissement de cette teneur en dioxyde de carbone. S'y ajoute depuis un demi-siècle l'activité humaine (moteurs à combustion interne, rejets industriels, chauffage domestique).

L'effet de serre produit un réchauffement général de la basse atmosphère et de la surface du sol. Le phénomène physique de l'effet de serre consisterait en une transparence des gaz atmosphériques à un certain nombre de bandes de fréquences des rayonnements électromagnétiques en provenance du soleil (visible, infrarouge et ultraviolet), mais la réémission par le sol terrestre et la surface des océans vers le ciel entraîne un déplacement des longueurs d'onde des rayonnements vers des valeurs où le dioxyde de carbone et certains autres gaz (méthane, monoxyde d'azote, certains chlorofluorocarbones) sont opaques. Il faut cependant rappeler que le composé le plus opaque et le plus fréquent, bien qu'en teneurs très variables,

est l'eau (vapeur d'eau, nuages et brouillard...). L'énergie solaire retenue ou absorbée du fait de cet effet de serre (effet additionnel par rapport à la simple absorption par le sol) est une fonction croissante des teneurs en CO₂ (pour 55 %) en CH₄ (pour 15 %), en NO₂ (pour 6 %), en CFC et autres gaz (pour 24 %) et évidemment de l'eau présente dans l'atmosphère (une nuit claire est plus froide qu'une nuit caractérisée par un épais manteau nuageux).

7 - Quels sont les facteurs météorologiques (localisés dans la troposphère) propices aux pointes de pollution atmosphériques ? (Lyon, 1989).

R : Régime anticyclonique avec vent très faible et inversion de température : cette conjonction de facteurs favorise la stagnation de la basse couche d'air et la concentration des agents polluants d'origine domestique et industrielle.

8 - 1 m³ d'air contient 330 cm³ de dioxyde de carbone. Exprimer la teneur de l'air en dioxyde de carbone, valeur en ppm, puis en mg.kg⁻¹ (Lille, 1989 ; Rouen, 1990).

R : 330 cm³ de dioxyde de carbone ont une masse m = 44 x 330/24 000 = 0,605 g. La masse d'un mètre cube d'air étant égale à 1,293 kg, il en résulte que la teneur demandée est de 468 mg/kg. En volume, on trouve 330 cm³/m³, soit 330 ppmv (la question 6 et l'introduction indiquent une valeur moyenne sur toute l'atmosphère égale à 340 ppm).

9 - Citer 4 polluants parmi les plus nocifs pour l'environnement, rejetés dans l'atmosphère dans les zones urbanisées et industrialisées (Paris, 1989 ; Rouen, 1990).

R : SO₂, NO₂, CO, CO₂

10 - La proportion de dioxyde de carbone dans l'air reste sensiblement constante au fil des années, malgré l'important dégagement de ce gaz lors des combustions du charbon et des hydrocarbures. Expliquer pourquoi. (Champagne-Ardenne, 1989).

R : Le volume de l'atmosphère est très grand, d'où un effet de dilution important. De plus, la dissolution du dioxyde de carbone dans les eaux (nuages, cours d'eau, océans...) est proportionnelle à la concentration de ce gaz, ce qui tend à réguler les variations de la teneur du dioxyde de carbone atmosphérique, d'autant plus que sa densité relative par rapport à l'air (d = 1,5) a tendance à le maintenir près du sol (le phénomène de la "grotte du chien" est bien connu).

11 - Quels sont les principaux polluants émis par les moteurs à combustion interne utilisant de l'essence ? (Mulhouse, 1990).

R : CO, CO₂, Pb, C_nH_{2n+2}

12 - Citer trois fonctions remplies par les pots d'échappement catalytiques ? (Mulhouse, 1990).

R : Les pots d'échappement catalytiques contiennent du platine favorisant la conversion

du monoxyde de carbone CO en dioxyde, l'oxydation des hydrocarbures incomplètement brûlés et réduit partiellement les oxydes d'azote en diazote.

13. Au pôle Sud, la couche d'ozone localisée entre 15 et 25 km d'altitude joue un rôle fondamental dans la protection de la vie animale terrestre. Expliquer en quoi consiste ce rôle ? (Paris, 1989 ; Toulouse 1991).

R : Cette couche disperse et fractionne le rayonnement ultraviolet solaire, éliminant ainsi quasiment les rayons UV les plus "durs" (de très courte longueur d'onde). Le mécanisme de cette action est le suivant : la molécule d'ozone, activée par les rayons UV de courtes longueurs d'onde ($0,12 \mu\text{m}$ à $0,29 \mu\text{m}$) se rompt en une molécule de dioxygène et un atome libre d'oxygène qui se recombine rapidement, selon l'équilibre (1) (2) :



d'où le bilan de l'équilibre.

Des mécanismes régulateurs faisant intervenir d'autres espèces chimiques plus ou moins stables (NO_x , ClO_x ,...) maintiennent un niveau faible mais suffisant de 4 à 8 ppm d'ozone dans la stratosphère. L'efficacité de la couche d'ozone est telle qu'elle absorbe presque tous les photons UV émis par le soleil qui risqueraient de détruire les cellules vivantes, au sol, par échauffement excessif dû aux réactions qui s'y produiraient.

14 - Dans quelle partie de l'atmosphère (troposphère, stratosphère, mésosphère, ionosphère), la concentration d'ozone est-elle maximale ? (Paris, 1989 ; Toulouse, 1991).

R : La stratosphère

15 - La formule de l'ozone (O_3) a été obtenue historiquement par Soret (travaux de 1865 à 1870). Traitant un volume v_{cm^3} de dioxygène contenant un peu d'ozone par un excès d'essence de cannelle, Soret obtenait une diminution de volume v'_{cm^3} (aux mêmes pression et température). Ce même volume v de mélange gazeux initial, chauffé à 250°C , puis ramené aux conditions initiales de température et de pression, augmentait de $v'/2$. Montrer que les résultats de cette expérience justifient la formule O_3 , en admettant la fixation totale et sélective de l'ozone par l'essence de cannelle et sa décomposition totale en dioxygène à 250°C . (Concours national, 1989).

R : Le mélange gazeux initial contient v'_{cm^3} d'ozone et $(v-v')_{\text{cm}^3}$ de dioxygène. Après avoir été chauffé à 250°C , l'ozone s'est décomposé en dioxygène, ce qui, ramené aux conditions initiales, fournit un volume égal à $v-v' + 1,5 v' = v + v'/2$, si l'on admet la formule O_3 .

16 - Quelle est la densité de l'ozone par rapport à l'air ? (Concours national, 1989 ; Toulouse, 1991)

R : $d = 48/28,9$ soit 1,66.

17 - A quand remontent les premières recherches concernant l'influence de divers polluants sur la couche d'ozone stratosphérique ? (Concours national, 1989).

R : Ces premières recherches accompagnèrent les débuts du développement de l'aviation supersonique commerciale (1970), lors de la mise au point de l'avion franco-britannique "Concorde". Les mesures furent effectuées par ballons-sondes et satellites (consulter la revue *Air et Cosmos*, n° 547, octobre 1974).

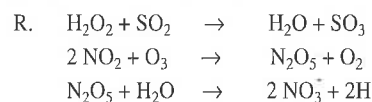
On découvrit que l'ozone est produit à 30 km d'altitude, là où la photochimie est active. Par ailleurs, c'est la synthèse photochimique et catalytique des oxydes d'azote NO qui conduit à la destruction de l'ozone : la demi-vie de l'ozone est de l'ordre de 24 heures à 40 km d'altitude et de plusieurs années à 20 km.

Les avions supersoniques commerciaux Concorde ou Tupolev 144 volent en vitesse de croisière entre 15 et 17 km d'altitude.

18 - Indispensable à la vie sur Terre, l'ozone assure trois fonctions principales. Lesquelles ? (Concours national, 1989).

R : La couche d'ozone intercepte les rayons UV dangereux pour la vie, participe ainsi au réchauffement de l'atmosphère, contribue à l'équilibre thermique de la surface terrestre.

L'ozone est à l'origine de la formation du peroxyde de dihydrogène H_2O_2 qui, en solution dans les nuages, réagit avec le dioxyde de soufre. L'ozone réagit également avec le dioxyde d'azote pour former l'acide nitrique. Ecrire les équations bilan de ces réactions. (Concours national, 1989).



La sécurité dans les laboratoires : adéquation des personnels aux risques

Demi-Journée d'étude organisée par *L'Actualité Chimique* dans le cadre du salon Pollutec 1995

Compte rendu* de Marc David et Raymond Hamelin

Safety in chemical and biochemical laboratories : Personnel to risk adjustment

Safety must be a significant component of the training of chemists and chemical engineers at all levels. Various experiences have been presented during a SFC meeting last October in Paris.

Sécurité, laboratoire, formation.

Safety, laboratory, training.

La sécurité est un sujet trop peu souvent abordé dans l'enseignement ou dans la recherche universitaire. C'est la raison pour laquelle *L'Actualité Chimique* a organisé, il y a deux ans, une demi-journée d'étude sur la sécurité dans les laboratoires après avoir consacré son numéro d'octobre 1993 à ce sujet. Les participants souhaitèrent que des réunions analogues soient plus ciblées. En 1994 fut ainsi traité le problème des déchets de laboratoire et, en 1995, fut examinée l'adéquation des personnels aux risques qu'ils encourent. La réunion fut organisée à Paris dans le cadre du Salon Pollutec 95.

G. Gautret de la Moricière (ingénieur conseil à la Caisse Régionale d'Assurance Maladie d'Ile-de-France) a montré sur un exemple simple (la projection d'un produit classique corrosif dans l'œil lors de l'ouverture d'un flacon) comment les risques pouvaient être analysés par la méthode des «arbres des causes» (tableau I). Ainsi, s'il est bien évident que le port de lunettes de sécurité réduit la gravité de l'accident, l'analyse doit aller plus loin : pourquoi la victime n'était-elle pas consciente du risque ? Les responsables du laboratoire avaient-ils une volonté franche et ferme d'assurer la

sécurité (il n'existe pas seulement des protections individuelles, comme les lunettes, mais aussi des protections collectives, comme les sorbonnes). La prévention de ce genre d'accident peut exiger une meilleure gestion des stocks, un choix plus judicieux des matières premières moins dangereuses, des modes opératoires plus sûrs, etc. Chaque laboratoire devrait afficher une politique de prévention adaptée à ses activités et décidée en commun.

Il est surprenant de réaliser que, il y a 20 ans, la France ne disposait pas de valeurs limites et moyennes d'exposition (seuils au-delà desquels l'exposition aux produits chimiques toxiques, ou radio-actifs devient dangereuse). Les équipes de recherche en toxicologie étaient balbutiantes. Jean-Pierre Guetté (professeur au CNAM et président de la commission de prévention des risques professionnels d'origine chimique, biologique et ambiance physique au ministère du Travail) fut l'un des rares chimistes à avoir insisté auprès des pouvoirs publics pour que soient adoptées des valeurs raisonnables.

La France a en partie comblé son retard face à ses partenaires économiques. Depuis une dizaine d'années, l'initiative vient de Bruxelles : les directives européennes, de plus en plus contraignantes, doivent être transcrites en droit français.

Se mettent en place l'Association Orfila (du nom d'un toxicologue espagnol du début du XIX siècle) qui développe un logiciel portant sur les produits

corrosifs, toxiques et très toxiques, et un service Minitel 36.15 FDS permettant une diffusion plus large des fiches de données de sécurité (FDS).

J.-P. Guetté juge scandaleux que les nouveaux programmes d'enseignement (voir *L'Actualité Chimique*, 1995, n°5, p. 27-45) ne s'intéressent à la sécurité que par une phrase parlant de sensibilisation.

L'apprentissage de la sécurité devrait se faire dès le plus jeune âge ne serait-ce qu'à cause de la diffusion croissante de produits particulièrement dangereux (aérosols, produits d'entretien...). La sécurité doit être assurée par le développement de réflexes.

Au Cnam, l'enseignement de la sécurité passe par un module optionnel de toxicologie fondamentale présenté par M. Rabache (ingénieur au Cnam). Ce module, qui incorpore des notions de biologie et de chimie, se différencie nettement des enseignements de toxicologie des facultés de pharmacie. Il est très dense et fait appel à 15 intervenants sur 90 heures.

Suivent cet enseignement : de futurs médecins, des responsables hygiène et sécurité, des vétérinaires, mais, paradoxalement, peu de chimistes. Son niveau élevé exclut les techniciens supérieurs. Depuis l'année dernière, cet enseignement est également donné au centre associé de Lyon.

Joëlle Guignard (maître de conférences à l'université P. et M. Curie, Paris VI) a présenté la mise en place récente, dans son université, d'un cycle de 15

conférences destinées aux étudiants de licence de chimie. Il devrait, à l'avenir, être plus largement proposé. Il est remarquable que cet enseignement, en option facultative, ait été organisé sous la pression d'une demande des étudiants («*il y a 5-6 ans, personne ne s'intéressait à ces questions*»). Au terme du cycle, chaque étudiant doit remettre un mémoire qui peut lui valoir des points supplémentaires pour l'obtention de la licence.

J. Guignard considère qu'il est crucial que tous les enseignants (de la maternelle à l'université) soient formés à la sécurité. Alors que les enseignants du secondaire bénéficient de 4 ou 5 jours de stage par an sur des thèmes de leur choix (à la vérité, la sécurité est loin d'être le premier choisi), la formation des enseignants du supérieur ne prévoit rien de tel. Elle préconise, au-delà d'une formation de base de tout enseignant, un suivi, par une documentation adaptée, des stages de formation continue («*réguliers et peu onéreux*») et la constitution d'équipes d'enseignants conseillers volontaires qui pourraient répondre aux questions particulières.

Un élément de réponse à ces suggestions a été apporté par J.-P. Alazard (chargé de recherche, unité de prévention du risque chimique, CNRS, Gif-sur-Yvette). Dans son établissement, tout doctorant doit suivre un stage de deux jours et demi.

La plupart des produits chimiques ne sont pas anodins puisque l'une de leurs caractéristiques est d'être réactifs, chimiquement ou biologiquement, d'où des risques de nature soit physico-chimiques soit toxique.

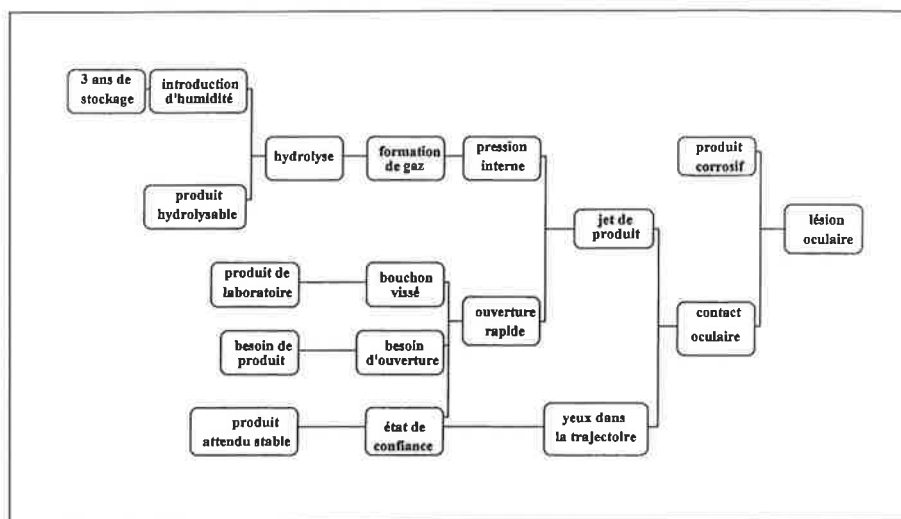
La prévention de ces risques ne s'improvise pas. Elle doit être enseignée en même temps que la chimie elle-même.

Au-delà de cette formation initiale J.-P. Alazard préconise une information régulière par circulation de textes sur l'hygiène et la sécurité et une évaluation systématique des risques sur le lieu de travail.

Jacques Braun et David Lincot (directeur de recherche et maître de conférences) ont apporté l'exemple détaillé de la formation à la sécurité dans une école d'ingénieurs (ENSCP). Pendant les deux premières années, l'apprentissage de la sécurité se fait au cours des travaux pratiques et traite :

- des éléments de caractérisation des risques (point éclair, DLSO...),
- des règles de sécurité et des moyens de prévention,

Tableau I - Exemple d'un arbre de causes. Cas d'une lésion à l'œil.



- de l'emploi des moyens de premier secours (extincteurs...).

Sur leurs comptes rendus, les étudiants analysent les risques des produits qu'ils manipulent.

Au cours de la troisième année, l'aspect théorique de la sécurité est abordé par un cycle de 10 conférences de 2 heures et par la participation à la vie d'un laboratoire dans lequel les étudiants sont initiés à la recherche. A la fin de la 1^{re} et de la 2^e années, les étudiants effectuent des stages industriels devant les familiariser aux pratiques de la sécurité en entreprise. A noter également la participation d'étudiants au comité hygiène et sécurité (CHS).

Formation des techniciens supérieurs

Trois interventions concernaient la formation à la sécurité des techniciens supérieurs. G. Colpin (directeur de l'ENCPB) considère que les programmes des BTS prennent correctement en compte la sécurité, mais leur mise en service exige l'engagement de tous les personnels y compris l'administration de l'école. «*La sécurité est indissociable d'un enseignement de bonne qualité*» (ne pourrait-on pas inverser cette profession de foi ?).

L'enseignement doit porter sur les analyses a priori et a posteriori des risques (tableau II) et, bien évidemment, s'adapter aux domaines enseignés : ainsi les risques liés aux rayonnements ionisants seront plus particulièrement développés pour les BTS techniques physiques ou imagerie médicale et radiologique.

Les difficultés qui limitent l'ensei-

gnement de la sécurité sont liés au caractère pluridisciplinaire des questions abordées, à l'ambition croissante du contenu des programmes, la multiplicité des textes (fiches, réglementations...), enfin la question de sécurité à l'examen. «*La sécurité n'est plus un ensemble des recommandations, mais un ensemble de compétences attendues*».

Le deuxième témoignage relatif à la formation des techniciens supérieurs fut celui de B. Vogrig (professeur agrégé au lycée technique d'Auxerre). Il confirma la difficulté de dégager des créneaux horaires dans des emplois du temps très chargés et l'insuffisance de la formation des enseignants d'origine universitaire.

Le troisième témoignage fut celui de Bernard Montfort (IUT de Besançon), militant de longue date de l'enseignement de la sécurité (cf. *L'Actualité Chimique*, 1979, n°9 p.31-32). Celui-ci a résumé son intervention aux 12^e Jirec (Strasbourg, juin 1995). Il élargit la notion de sécurité à celle de «discipline de travail» au laboratoire qui comprend également la protection de l'environnement, l'organisation et la gestion du laboratoire après une sensibilisation réalisée à l'aide du multimédia de Martel (Cundme, faculté des sciences-Poitiers). Le comportement de chaque étudiant fait l'objet d'une évaluation continue. La notation correspondante représente environ 20 % de la notation finale des TP de chimie organique. Le système proposé, assez complexe et sans doute contraignant pour l'enseignant, est apparemment bien vécu par l'étudiant.

La généralisation de cette expérience n'est certainement pas aisée, la principale

Tableaux II - Le programme d'enseignement doit porter sur les analyses de risques.

Compétences attendues pour risques a priori

Risques incendie ou explosion

- Produits inflammables, comburants, explosifs
- Extincteurs appropriés aux classes de feu - leur manipulation

Risque d'altération de la santé

- Les fiches toxicologiques
- Les effets physiologiques des produits : irritant, corrosif, nocif, toxique, allergisant, cancérigène, tératogène
- Les voies de pénétration dans l'organisme : digestive, percutanée, pulmonaire
- Prévention intégrée : choix d'un produit, éloignement des opérateurs, automatisation
- Protection collective : ventilation, captage à la source
- Protection individuelle : gants, lunettes, bottes, vêtements, appareils respiratoires anti-gaz et anti-poussière
- Prévention médicale

Autres compétences attendues

- Connaissance du cadre juridique et social
- Le risque biologique
- Le risque électrique
- Les risques liés à l'utilisation de machines
- Les risques liés à l'activité physique de l'opérateur

Mise en œuvre d'une méthode d'analyse a posteriori des risques

- Analyse des incidents et accidents
- Mise en évidence logique et argumentée de facteurs potentiels

difficulté pouvant être l'augmentation du nombre d'étudiants qui entraîne une surpopulation des laboratoires. L'encadrement des séances de TP est de plus en plus souvent confié à des personnels temporaires insuffisamment formés (cf. *L'Actualité Chimique*, 1993, n°5, p.11-21).

Formation à distance

Pierre Gauchet, responsable de l'enseignement à distance de l'INRS, a exposé le programme proposé aux animateurs de prévention des PME-PMI. Ceux-ci peuvent-être l'animateur de sécurité, l'infirmière d'entreprise, le responsable de la gestion du personnel, le chargé de la maintenance... En règle générale, la prévention n'occupe l'animateur qu'à temps partiel, il ne peut pas aisément quitter l'entreprise pour suivre un stage, sans parler des contraintes familiales. Une formation à distance les prépare à la recherche des risques, l'élaboration des solutions, à faire passer un message auprès de leur collègues, etc.

L'INRS organise deux sessions annuelles caractérisées par leur souplesse (durée souple entre 4 et 6 mois). Aucune évaluation des résultats. Ce programme concerne 400 à 500

personnes par an inscrites par leurs entreprises. Il ne peut pas être suivi par des enseignants. L'accord INRS -Éducation nationale (1993) traite de cette question, des commissions de programme, de la préparation de supports pédagogiques.

Retenons une conclusion de P. Gauchet : «*La formation n'est qu'un moyen de prévention parmi d'autres. Il ne servirait à pas grand chose de consacrer du temps à une formation du personnel si, parallèlement, il n'y avait pas l'action sur le risque lui-même.*

Conclusion

Que ce soit dans les universités, écoles, lycées ou entreprises, la sécurité exige une formation des personnels à tous les niveaux, en premier lieu des formateurs. Les expériences en cours montrent qu'une prise de conscience est réelle.

Mais sans doute encore trop limitée.

Université Paris Sud XI
Centre Scientifique d'Orsay
Formation Permanente

Stages 96

• Spectroscopie infrarouge par Transformée de Fourier

18 au 22 mars 1996

• Spectrométrie de masse en chimie et en biologie

20 au 24 mai 1996

• Modélisation moléculaire

3 au 7 juin 1996

• Techniques de caractérisation et d'analyse des surfaces par utilisation de la lumière synchrotron

20 au 24 mai 1996

• Pharmacologie et toxicologie moléculaires : Mécanismes de reconnaissance moléculaire et messagers

25 au 29 mars 1996

De la métabolisation aux relations structure-activité

3 au 7 juin 1996

• Synthèses organiques dans des conditions non classiques

10 au 14 juin 96

• DESS instrumentation et méthodes physico-chimiques d'analyse

sept 96 à juillet 97

• DESS pollutions chimiques et environnement

sept 96 à sept 97

Renseignements et inscriptions :
Formation permanente
Centre Scientifique d'Orsay
Les Algorithmes, Bât Euripide
91405 Orsay Cedex.
Tél. : 69.35.60.00.
Fax : 69.41.16.64.

Internet

Pratiques d'accès

Raymond Levet* *ingénieur de l'armement*, Thomas Ortega** *responsable Internet de la SFC*

Internet : Directions for use

Internet may be harsh to start. The aim of these lines is to guide your first steps toward an Internet access, and to help you to exploit it. What is Internet ? What are the services offered by Internet ? How to get an access in France ? Which hardware use ? Which software ? With this article, you will know how to connect you to the SFC information server (<http://www.sfc.fr>) and thus access easily to chemistry related resources.

Internet, informatique, serveur, connexion.

Internet, computership, www.

Internet¹ est un mot qui est entré dans notre vie quotidienne assez brusquement. Tout le monde a entendu les expressions "réseau des réseaux" ou "auto-routes de l'information" dont les médias font depuis quelques mois (quelques années aux États-Unis) un usage immodéré. Néanmoins, ces mots restent pour beaucoup dignes des films de science fiction et, faute d'informations claires, nombreux sont ceux qui n'osent pas plonger dans Internet. Un certain nombre de concepts doivent être clarifiés pour permettre aux non-initiés de se connecter pour profiter de la richesse de cette formidable mine d'informations qu'est Internet.

Qu'est-ce qu'Internet ?

Le réseau Internet, familièrement

* Laboratoire de synthèse organique, École polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex.
E-mail : levet@poly.polytechnique.fr

** 3, rue Chomel, 75007 Paris.
E-mail: ortega@ccr.jussieu.fr

1 voir également *SFC Info*, 1996, p. 3.

appelé le "Net", est un réseau qui connecte entre eux la plupart des réseaux d'ordinateurs de la planète, comme par exemple les réseaux des entreprises ou ceux des universités, avec les autres réseaux. Tous ces ordinateurs, situés dans toutes les parties du globe, peuvent donc échanger des données, et ce sans que les utilisateurs aient à se préoccuper de l'emplacement physique des ordinateurs en question.

Pour pouvoir communiquer, ces ordinateurs parlent, si l'on peut ainsi s'exprimer, la même langue, à savoir qu'ils utilisent tous un protocole nommé IP (Internet protocol). Ce protocole est commun à toutes les machines, qu'il s'agisse de PC, de MacIntosh ou de "grosses" machines Unix, et ces machines sont toutes traitées de la même façon par le réseau quelles que soient leur nature et leur puissance.

Pour achever, rappelons en quelques mots l'historique d'Internet. Historique est un bien grand mot puisque tout commence en 1969 avec le réseau Arpanet institué par les militaires américains pour assurer la communication entre leurs centres de recherche. Dans les années 1970 et 1980, l'usage du réseau sera étendu à tous les centres de recherche et aux universités. Quant à la véritable explosion du réseau et à l'engouement du public pour ce moyen de

communication, ils datent du début des années 1980 avec l'apparition du Web, dont nous aurons l'occasion de reparler plus loin. Internet a cependant conservé des scientifiques, qui se sont penchés sur son berceau, un esprit de liberté un peu anarchique, une philosophie de mise à disposition des informations, et une "structure" un peu expérimentale.

Comment accéder à Internet ?

La théorie veut que, pour des raisons de sécurité, chaque accès à Internet soit strictement privé, c'est-à-dire protégé par un mot de passe personnel (password). Si vous ne possédez pas encore cet accès, qui se concrétise par un nom (login) et ce mot de passe, voici quelques pistes. Mais si vous avez cet accès, passez directement au paragraphe suivant. N'oubliez cependant pas de bien protéger votre mot de passe : vous en êtes juridiquement responsable et toute forfanterie commise à partir de votre accès est sensée être effectuée par vous-même.

Vous exercez votre activité dans un centre de recherche, dans un site où se trouve un centre de recherche, dans une université... grande est alors la probabilité que votre site soit déjà relié à Internet. Il vous faut maintenant savoir

comment vous procurer un formulaire intitulé «demande de compte» qui, si le réseau local de votre site peut et accepte de vous accueillir, vous ouvrira les portes des réseaux mondiaux. En effet, ce formulaire n'est pas diffusé sous forme de tract à la sortie des métros, bien au contraire ! Vous devez avant tout essayer de chercher autour de vous quelqu'un qui utilise Internet, soit pour du courrier électronique, soit pour consulter des bases de données, soit pour faire de la modélisation moléculaire... Essayez donc de discuter avec lui de la manière dont il a obtenu son accès, demandez-lui où s'adresser. Il vous donnera peut-être toutes les informations utiles. Si vous ne trouvez pas autour de vous de pratiquant d'Internet, cherchez alors conseil auprès des laboratoires voisins de modélisation moléculaire, de chimie du solide, et ensuite élargissez votre champ de recherche aux laboratoires d'informatique, aux centres de calcul.

Si vous êtes enseignant dans un lycée ou un collège, la plupart de ceux-ci sont en voie de branchement. Il en est de même des écoles d'ingénieurs. Si votre site n'est pas encore raccordé, insistez donc pour qu'il le soit rapidement (en ayant un ordre de grandeur de ce que signifie le mot rapidement) !

Si vous travaillez dans un milieu industriel, contactez les responsables de votre réseau informatique.

Si vous êtes étudiant en premier et deuxième cycle, il est probable que vous ayez des difficultés pour obtenir un accès dans votre université.

Si vous n'avez pas pu obtenir, pour différentes raisons, que votre université, votre lycée ou votre centre de production vous offre un accès, il vous faut vous adresser à un prestataire de service. Son métier est de vous louer, pour somme souvent modique, un accès à Internet. Vous pourrez alors y accéder depuis chez vous au moyen de votre ligne téléphonique habituelle. Si vous souhaitez raccorder votre entreprise ou votre école, il vous conseillera. Il vous assistera aussi dans le choix et dans l'installation de votre matériel. C'est aussi une solution si le réseau local qui vous accueille ne permet pas que vous vous connectiez par téléphone et que vous souhaitez utiliser votre ordinateur favori depuis votre salon.

Quel matériel ?

Pour commencer, il vous faut un micro-ordinateur. Que celui-ci soit chez vous ou sur votre lieu de travail importe peu. Si cet ordinateur est un compatible PC, qu'il utilise Windows ou OS/2 serait très utile, voire indispensable.

Si vous utilisez un réseau pour accéder à Internet, et que ce réseau existe déjà, vous n'avez pratiquement rien à y ajouter, sinon il vous faut contacter votre responsable informatique.

Si vous souhaitez accéder à Internet de chez vous ou par l'intermédiaire d'un prestataire de service au moyen d'une ligne téléphonique, il vous faut vous équiper d'un modem. Le modem est chargé de faire la liaison et la conversion entre la ligne de téléphone et les 0 et les 1 de votre ordinateur. Il peut se présenter sous la forme d'un boîtier que vous branchez sur une prise série à l'arrière de l'unité centrale de votre compatible PC (sans rien débrancher des prises existantes, choisissez toujours celle qui comporte le plus petit numéro) ou sur la prise modem de votre Macintosh (surmontée d'une figurine en forme d'ancien combiné téléphonique).

Vous pouvez aussi utiliser une carte modem qui se place à l'intérieur de l'unité centrale de votre PC, cette solution est toutefois plus complexe que le boîtier externe car il faut faire un peu de chirurgie à ordinateur ouvert, mais c'est la meilleure solution si toutes les prises sont déjà utilisées. Demandez un modem qui fasse au moins du V32bis et qui soit compatible Hayes étendu. Cette formule magique impressionnera toujours le revendeur, et vous obtiendrez un produit satisfaisant. Il vous est recommandé de choisir un modem possédant un débit élevé : 14 400 bauds semble un bon moyen. Cependant certains prestataires de service, et certaines entrées de réseau, acceptent maintenant des débits de 28 800 bauds : cette vitesse n'est pas encore tout à fait entièrement normalisée : renseignez-vous directement auprès de votre accès avant d'acheter ce type de modem. Veillez en outre à ce que votre modem soit bien agréé par France Télécom. Toutes ces indications sont portées sur le boîtier, posez des questions à votre vendeur, aux responsables des connexions distantes de votre réseau, à

votre prestataire de service qui saura vous conseiller. Ces gens sont toujours prodiges de conseils dès qu'on leur pose une question : munissez-vous d'un calepin ou d'un magnétophone pour tout retenir.

Les services d'Internet

Après ces éclaircissements sur la nature du réseau et la façon de se connecter, voyons maintenant ce que l'on peut espérer pouvoir faire avec. De même que les lignes téléphoniques permettent non seulement d'échanger des conversations mais aussi des télécopies, le réseau Internet est le support de plusieurs services.

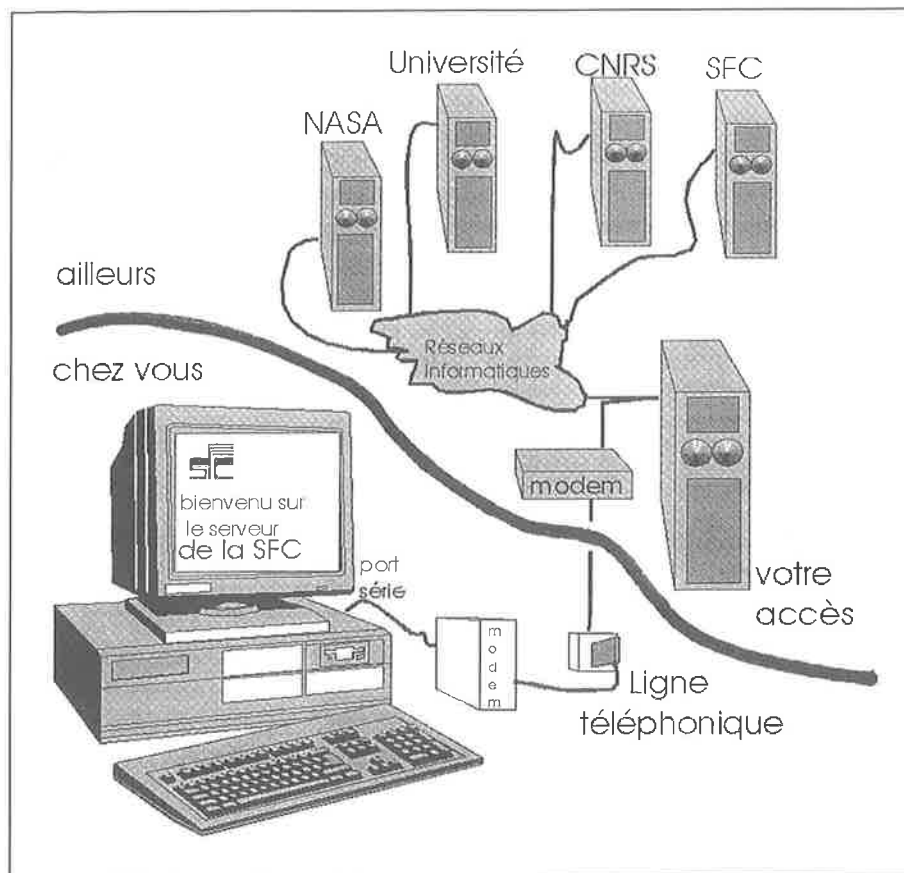
Les services principaux Internet sont le courrier électronique, les transferts de fichiers, la connexion à distance, et enfin, le World Wide Web. Mais tout de suite, une bonne nouvelle : la plupart de ces services peuvent être exploités gratuitement dès que l'on possède un accès au réseau et ce avec des logiciels qui sont généralement eux aussi gratuits (et qui sont disponibles sur Internet !).

Le courrier électronique (e-mail)

Il s'agit du plus simple des services sur Internet. Comme son nom l'indique très bien, il s'agit d'un outil de communication destiné à l'échange de messages écrits. Ce moyen possède, par rapport à la poste traditionnelle, plusieurs avantages. La transmission des données s'effectue au plus en quelques dizaines de minutes quelle que soit la destination du courrier dans le monde. La gratuité des communications est un avantage énorme dès que vous souhaitez envoyer des messages à des correspondants lointains. Vous pouvez, de plus, attacher à ces courriers toutes sortes de documents électroniques comme des pages de texte (c'est ainsi qu'a été élaboré cet article) avec des illustrations, des programmes ou encore des fichiers de données. Les correspondants sont dans ce système repérés grâce à leur adresse électronique qui est généralement de la forme :

untel@machine.domaine.pays

Sur le plan pratique, il suffit de posséder un logiciel de courrier. Le plus populaire actuellement semble être Eudora qui a l'avantage de redonner à l'utilisateur l'environnement de travail d'un trai-



Accès à Internet au travers d'une simple ligne téléphonique.

tement de texte (une version française existe pour MacIntosh). Une fois le logiciel configuré (cela est expliqué dans la documentation fournie pour lui indiquer le chemin d'accès au réseau), il n'y a plus qu'à taper ses messages et les adresses des correspondants. Pour les stations sous Unix, il suffit d'utiliser la commande mail.

Les transferts de fichier

Ils sont désignés par les informaticiens par les initiales ftp (file transfert protocol). Cet outil consiste à mettre en communication deux ordinateurs, puis à permettre l'échange des fichiers présents sur les disques de ces machines. On distinguera deux types de ftp : les ftp sur des machines pour lesquelles on possède un code d'accès et les ftp "anonymes". Les premiers servent tout simplement à transférer ses documents sans avoir à manipuler disquettes ou bandes magnétiques et sont bien connus de tous les utilisateurs de "grosses" machines. Les seconds sont également très intéressants car ils permettent de se connecter sur des serveurs pour lesquels on n'a pas d'autorisation particulière sans avoir à fournir

d'autre identité que «anonymous», sans code d'accès (d'où leur nom). Les bonnes manières veulent cependant que l'on indique son adresse électronique exacte comme mot de passe. Les serveurs de ftp anonymes sont très nombreux et contiennent toutes sortes de fichiers qui peuvent vous intéresser : logiciels du domaine public, documents, images...

Il existe de nombreux logiciels de ftp, plus ou moins conviviaux. On peut citer Win_FTP sur les PC sous Windows, ou FTP-PM sous OS/2, et Fetch sur MacIntosh. Pour les stations sous Unix, il suffit d'utiliser la commande ftp.

La connexion distante

Il s'agit, par l'intermédiaire du réseau, de se connecter sur une machine éloignée et de l'utiliser directement comme si on y était. Ceci est particulièrement utile pour utiliser une machine puissante à partir d'un simple ordinateur personnel. Cet outil nécessite bien évidemment que vous soyez autorisé à utiliser la machine distante sur laquelle vous souhaitez vous connecter. Le mieux est de vous renseigner auprès du gestionnaire de la machine en question.

Le World Wide Web

C'est le plus récent, mais aussi le plus spectaculaire, des services d'Internet. Le World Wide Web, souvent désigné par WWW ou W3 et traduit par nos amis québécois par "toile d'araignée mondiale" est un ensemble de millions de pages, sur tous les sujets possibles et imaginables, qui sont reliées entre elles par des liens informatiques.

Concrètement, l'on démarre par la page de son choix. Par exemple, supposons que nous choisissons de démarrer par le serveur de la SFC. Dans la page d'accueil, sont proposées plusieurs rubriques. Certains mots sont affichés de manière différente à l'écran (en couleur, soulignés...) par exemple L'Actualité Chimique : cela signifie qu'il s'agit d'un lien avec une autre page. Il suffit que vous cliquiez dessus avec la souris pour être immédiatement expédié à la page en question et l'on se retrouve à la présentation de *L'Actualité Chimique*. C'est ce système que les informaticiens désignent sous le nom d'hypertexte. Vous pouvez ainsi de proche en proche parcourir les différents pages d'un serveur et même "aller" sur d'autres serveurs qui possèdent des liens sans avoir à faire autre chose que choisir et cliquer avec sa souris. Ajoutons que la plupart des pages sont agrémentées d'images en couleurs, voire de séquences de film ou de sons. C'est ce par quoi un débutant doit absolument commencer à notre avis pour se familiariser avec le "Net".

D'un point de vue pratique, il faut, pour accéder à Internet, un logiciel vulgairement appelé browser (ou en français butineur, explorateur, navigateur ou encore brouteur) dont le plus populaire aujourd'hui s'appelle Netscape. Sous OS/2 vous pouvez utiliser WebExplorer. Une fois le logiciel configuré, vous démarrez à la page que vous avez choisie et il n'y a plus qu'à se diriger avec les liens hypertextes. Lorsque vous avez trouvé une adresse intéressante, le logiciel est capable de conserver cette adresse pour pouvoir y retourner sans avoir à refaire tout le cheminement. Vous pouvez de même accéder directement à une page dont vous possédez l'adresse : n'hésitez donc pas à faire profiter vos amis de vos "bonnes adresses", en les prévenant par courrier électronique évidemment ! Vous pouvez

également utiliser des outils de recherche sur le Web par mots clefs : ils vous permettront certainement de découvrir la page qui vous intéresse ou bien vous feront parcourir des dizaines de pages dont vous n'auriez pas soupçonné l'existence autrement, et qui se révèlent souvent plus intéressantes que ce que l'on cherchait au départ. Au passage vous pouvez récupérer de nombreuses données en les recopiant sur le disque de votre machine. Netscape, qui est un logiciel fort bien fait, permet également de faire du courrier électronique et d'accéder aux serveurs ftp anonymes dont la plupart possèdent maintenant des liens avec le Web. Quant au Web, il grandit tous les jours de plusieurs serveurs et l'on peut dire sans se tromper qu'il deviendra rapidement un passage obligé dans toute

recherche de documents.

D'autres services sont disponibles sur Internet, parmi lesquels on citera les serveurs Gopher qui permettent d'améliorer la convivialité des transferts de fichier, les serveurs Archie pour rechercher des fichiers à transférer, des listes de diffusion qui permettent de recevoir des informations périodiques par courrier électronique, ou Usenet qui regroupe par thèmes des discussions à travers le réseau.

Conclusion

Puisqu'en informatique rien ne remplace la pratique, à vos claviers et à vos souris ! Pourquoi ne prendriez-vous pas contact avec le monde d'Internet en

commençant par le serveur de la SFC, (<http://www.sfc.fr>)?

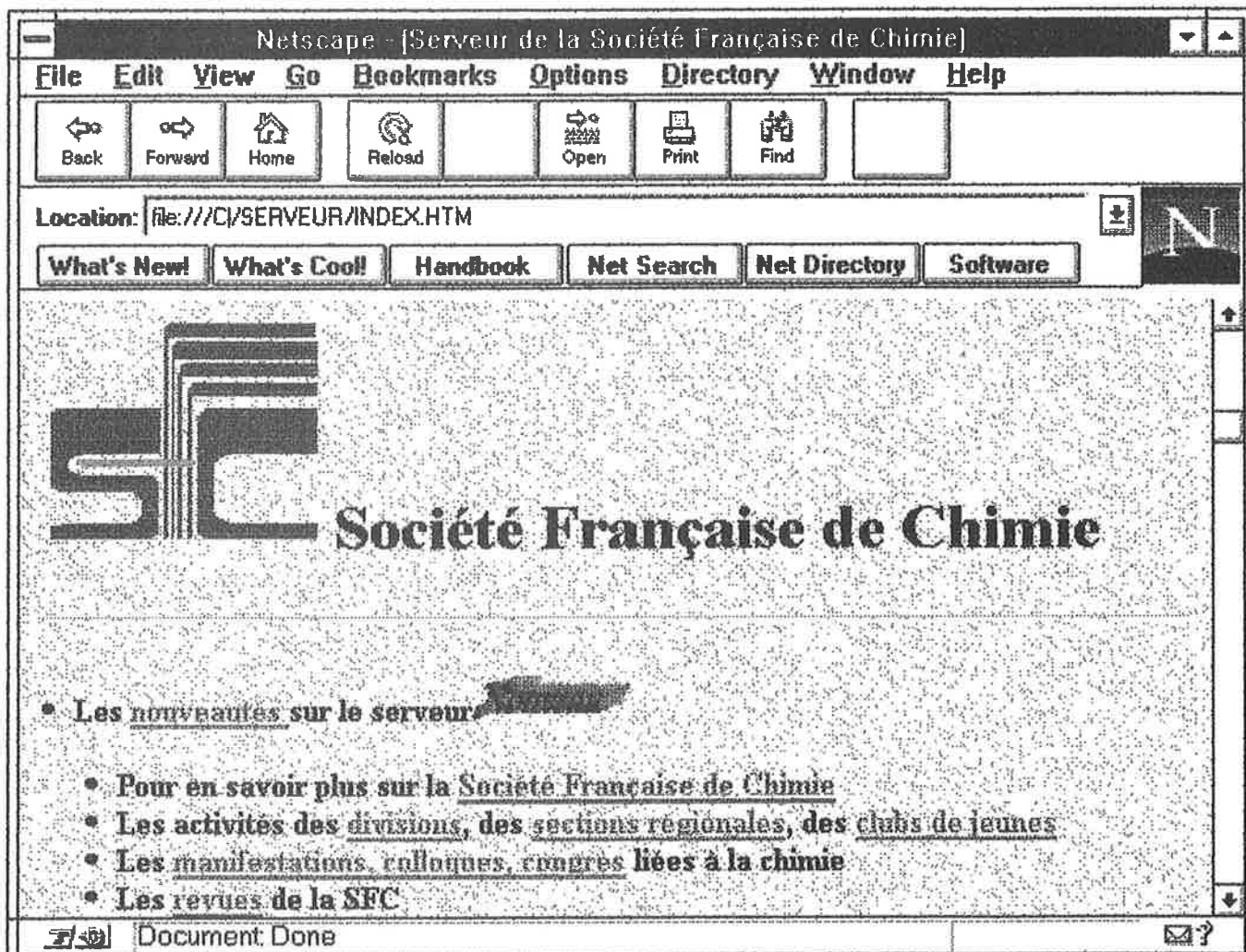
Enfin, n'oubliez jamais qu'un des grands principes Internet est la réciprocité. Les utilisateurs du réseau vous fournissent gratuitement le résultat de longues heures de programmation. N'hésitez pas à votre tour à faire profiter les autres de vos conseils et découvertes. En particulier, pour le serveur SFC qui est encore un très "jeune" serveur, les auteurs de l'article sont prêts à accueillir vos suggestions et questions. C'est ça l'interactivité !

Références

Levine J. R., *Internet pour les Nuls*, Sybex, 1995.

Krol Ed, *The Whole Internet*, O'Reilly and associate, Inc., 1994.

Serveur de la Société Française de Chimie : <http://www.sfc.fr>



EXTRAIT DU PROCÈS VERBAL DE
LA SÉANCE DU 10 JANVIER 1896

(Soc. Chim., 1896, 3e série, t. XV, p. 130)

Henri Moissan, président de la Société Chimique
de Paris en 1896 et 1902

M. Moissan est nommé président pour 1896 [...].

En conséquence, le bureau et le conseil sont ainsi constitués pour 1896 :

Président : M. Moissan.

Vice-présidents : MM. Béchamp, Suilliot, Tanret et Riban.

Secrétaires : MM. Verneuil et Béhal.

Vice-secrétaires : MM. Lindet et Bigot.

Trésorier : M. Petit.

Archiviste : M. Cloëz.

Membres du conseil : MM. Friedel, Schutzenberger, A. Combes, Hanriot, Scheurer-Kestner, Engel, Adrian, Joly, Grimaux, Maquenne, Wyruboff et Lauth.

Membres du conseil non résidents : MM. Haller, Barbier, Raoult et Kolb.

SUR LA DÉCOMPOSITION DES
ACIDES-PHÉNOLS DÉRIVÉS DU
BENZÈNE ET DU NAPHTALÈNE ;
PAR M. P. CAZENEUVE

(Soc. Chim., 1896, 3e série, t. XV, p. 72)

En 1892 nous avons présenté à l'Académie des sciences quelques considérations sur l'instabilité du carboxyle dans les acides-phénols. Nous avons montré, en particulier, qu'en présence des amines aromatiques, les acides-phénols perdaient leur acide carbonique à une température relativement basse. Nous avons insisté sur l'exemple de l'acide gallique donnant du pyrogallol dès 115° au sein de l'aniline avec pert de CO² - c'est même là une frappante expérience de cours - tandis qu'au sein de l'eau cette transformation a lieu vers 200°.

[...] Il nous a paru intéressant de dégager des faits les règles générales qui président à ce départ d'acide carbonique dans ces molécules à chaîne

1896
Il y a cent ansDANS LE BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS

fermée oxybenzéniques carboxylées, départ faisant contraste avec la stabilité dans les analogues en chaîne longue (acides-alcools). Dans la série du naphthalène, nous avons fait quelques observations encore incomplètes qui offrent un certain intérêt.

Si nous établissons des règles, il faut convenir que nous ne sommes pas en mesure de donner une explication rationnelle des faits. Pourquoi l'acide gallique, par exemple - et d'autres phénols carboxylés se comportent de même - se décompose-t-il plus facilement au sein des amines aromatiques qu'au sein de l'eau, et plus facilement au sein de cette dernière lorsqu'elle est pure que lorsqu'elle est fortement alcalinisée ? Dans l'état actuel de nos connaissances, ces résultats échappent à une interprétation plausible. Pour ce qui est de la stabilité en présence des alcalis, tout au plus peut-on invoquer la recombinaison inverse synthétique de l'acide carbonique au fur et à mesure de la décomposition.

I. - Une première règle peut se formuler ainsi : L'instabilité du carboxyle soudé au noyau benzénique croît avec le nombre des oxhydriles qui figurent dans la molécule [...].

II. - Une deuxième règle peut être formulée :

L'instabilité du carboxyle dans les acides phénols augmente avec le nombre des substitutions halogénées ou autres dans le noyau [...].

III. - Les acides phénols en ortho : CO²H (1) et OH (2), perdent plus facilement CO² que les acides phénols en para : CO²H (1) et OH (4), et ces derniers plus facilement que ceux en méta : CO²H (1) et OH (3), lesquels, d'ailleurs, offrent une stabilité très grande [...].

IV. - L'éthérisation du carboxyle, sa combinaison anilidée, aussi bien que l'éthérisation des groupes phénoliques donnent de la stabilité à la molécule [...].

V. - Nous arrivons maintenant à des conclu-

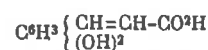
sions assez imprévues qu'on peut traduire dans la proposition suivante :

Les acides phénols perdent plus facilement leur acide carbonique, chauffés au sein des amines aromatiques ou autres qu'au sein de l'eau. En revanche, les alcalis caustiques donnent de la stabilité à la molécules [...].

VI. - S'il nous a été permis d'établir quelques règles sur les conditions de décomposition dans les acides phénols monocarboxylés, nos observations sont encore insuffisantes à l'égard des acides phénols, diacides ou dicarboxylés [...].

VII. - L'exemple de l'acide caféique nous montre maintenant qu'il n'est pas nécessaire pour que le carboxyle soit instable qu'il soit soudé directement au noyau.

Dans cet acide, dont nous rappelons la formule



le carboxyle est à l'extrémité d'une chaîne grasse. De 110 à 120° au sein de l'aniline, cet acide se décompose. Il perd CO² et donne un phénol nouveau sans doute de la formule



c'est-à-dire un diphénol dérivé du styrolène, que nous avons isolé, mais que nous n'avons pu encore faire cristalliser. Sa caractéristique est de précipiter en solution aqueuse le perchlorure de fer en rouge acajou, tandis que l'acide caféique précipite en vert.

Au sein de l'alcool, il donne cette même coloration acajou sans précipitation.

VIII. - Par opposition à cette instabilité relative du carboxyle dans les acides-phénols, on peut constater une stabilité beaucoup plus grande dans les acides-alcools, qu'il s'agisse de groupements alcooliques, primaires, secondaires ou tertiaires. Les acides glycolique, lactique, tartrique, citriques, chauffés tour à tour au sein de l'aniline à 240° pendant une heure n'ont point perdu d'acide carbonique. Il se forme des anilides.

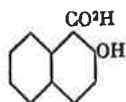
L'acide quinique lui-même, qui est en chaîne fermée, mais qui renferme des groupements alcooliques CH-OH au lieu de groupements phénoliques est un corps stable au sein de l'aniline. Il ne perd aucune trace de CO² à 240°.

Il en est de même des acides bibasiques, soit en chaîne longue, soit en chaîne fermée (acide succinique, phtalique, etc.), on obtient des anilides également.

IX. - Dans la série du naphthalène ou naphthaline, nous n'avons pu étudier, faute d'avoir en mains tous les dérivés phénoliques carboxylés, que les acides naphthoïques α et β et les acides α oxy α naphthoïques, β oxy β naphthoïque. Ces derniers perdent plus facilement CO² que les premiers [...].

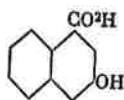
Nous ferons remarquer que précisément dans ces acides oxynaphthoïques, le carboxyle et l'OH sont en ortho, l'un par rapport à l'autre.

Une autre observation mérite d'être signalée et montre que dans la série du naphthalène, les règles générales présidant à la décomposition des acides-phénols concordent avec celles dans la série du benzène. Si on fait réagir un diazo d'amine sur l'acide oxynaphtoïque



l'acide carbonique se dégage à froid, dans la réaction, avec fixation du groupe amine et formation d'azoïque.

La soudure n'a pas lieu sur l'oxynaphtoïque en méta dans lequel l'acide carbonique est stable.



X. - Nous poursuivons en ce moment l'étude de l'action de l'aniline sur l'acide camphorique, acide-alcool, d'après Friedel, acide bibasique, d'après d'autres chimistes.

D'ores et déjà, nous relaterons le fait de sa grande stabilité au sein de l'aniline sans dégagement d'acide carbonique, malgré une chauffe de trois heures à 240°. Le départ de CO² aurait autorisé une distinction profonde entre cet acide et les acides bibasiques proprement dits. Sa stabilité ne permet au contraire aucune déduction, vu que les acides-alcools à ce point de vue se rapprochent des acides bibasiques [...].

De l'ensemble des faits précédents on peut tirer quelques conséquences :

1° La chauffe au sein de l'aniline d'un acide phénol, lorsque le carboxyle sera en ortho ou en para, par rapport à l'OH phénolique permettra de passer de l'acide phénol au phénol correspondant.

Dans certains cas, ce sera là un mode de préparation pratique ;

2° L'inaltérabilité d'un acide phénol au sein de l'aniline à 240° autorise l'hypothèse de la position méta de l'OH par rapport au carboxyle. C'est le cas de l'acide gaïacol carbonique.

On peut donc, soit de la stabilité, soit de l'instabilité des acides complexes au sein de l'aniline, à des températures variables, arriver à des présomptions intéressantes aussi bien sur la fonction que sur la position des groupes fonctionnels.

SUR UN NOUVEL ACIDE DU CHROME, L'HYDRATE SULFO- CHROMIQUE ; PAR M. A. RECOURA

(Soc. Chim., 1896, 3e série, t. XV., p. 315)

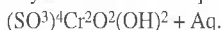
[...] *Sulfochromites*. - J'ai démontré expérimentalement que, dans ces précipités, l'oxyde

métallique est combiné directement à l'oxyde de chrome, comme dans les chromites, et non avec l'acide sulfurique, de telle sorte qu'il convient de représenter ces composés par les formules (SO³)⁴Cr²O³.CuO et (SO³)⁴Cr²O³.K²O. Ces composés correspondent aux chromites Cr²O³.CuO et Cr²O³.K²O. On peut les considérer comme des chromites à radical complexe. Je les appelle des sulfochromites.

On sait que les chromites sont les sels de l'hydrate chromique incomplet Cr²O³.H²O ou Cr²O².(OH)². On doit donc considérer les sulfochromites comme les sels de l'hydrate (SO³)⁴Cr²O²(OH)². Cet hydrate serait un véritable acide du chrome, acide bibasique à radical complexe, correspondant à l'hydrate chromique Cr²O².(OH)². Je l'appelle hydrate sulfochromique.

Ce n'est point là une simple hypothèse, car je suis parvenu à préparer cet hydrate et à en dériver directement ses sels, les sulfochromites.

Préparation et propriétés de l'hydrate sulfochromique. - L'acide chromotétrasulfurique solide Cr²(SO⁴)³.(SO⁴H²)⁴, maintenu à une température de 140-150°, jusqu'à ce qu'il ne change plus de poids, perd 3 molécules d'acide sulfurique. Le composé restant est une poudre grise. C'est l'hydrate sulfochromique

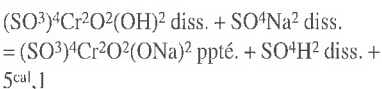


En effet, il renferme pour 1 molécule Cr²O³, 4 molécules SO³ [...]. De plus, il est soluble dans l'eau en donnant une dissolution opaline vert jaunâtre, et cette dissolution a la propriété de précipiter toutes les solutions métalliques, par exemple, la solution de cuivre, en donnant le précipité de sulfochromite de cuivre (SO³)⁴Cr²O³.CuO(2) et la liqueur renferme une quantité d'acide libre équivalente à CuO.

Ce composé est, comme je l'ai déjà fait remarquer, un acide de chrome, acide bibasique, analogue à l'hydrate chromique Cr²O².(OH)² auquel correspondent les chromites.

Les sulfochromites sont des chromites à radical complexe. Mais la présence dans la molécule d'hydrate chromique du radical oxygéné (SO³)⁴ a pour effet d'augmenter considérablement les propriétés acides de cet hydrate. L'hydrate chromique Cr²O².(OH)² est, en effet, un acide très faible. Les chromites alcalins, les seuls solubles, sont fort instables.

Au contraire, l'hydrate sulfochromique (SO³)⁴Cr²O².(OH)² est un acide énergétique, qui décompose tous les sulfates, et sa chaleur de neutralisation est très notablement supérieure à celle de l'acide sulfurique, comme cela résulte de la mesure suivantes :



La chaleur de neutralisation de l'hydrate sulfochromique par la soude dépasse donc de 5^{cal},1 celle de l'acide sulfurique.

On remarquera, en outre que, tandis que l'hy-

drate Cr²O².(OH)² peut à volonté fixer des oxydes pour donner des chromites, ou fixer des acides pour donner des sels de chrome, c'est-à-dire est un hydrate indifférent, il n'en est pas de même de l'hydrate (SO³)⁴Cr²O²(OH)² ; il fixe les oxydes avec une grande énergie, comme nous venons de le voir ; mais il ne peut se combiner avec les acides, car, quand on verse dans sa dissolution un acide fort, on en précipite l'hydrate sulfochromique lui-même sous forme d'une matière gélatineuse.

Ainsi donc, dans les sulfochromites, l'oxyde de chrome présente cette propriété curieuse qui n'a encore été observée, je crois, chez aucun hydrate métallique, de fixer simultanément des groupes acides (SO³)⁴ et des groupes basiques comme CuO, K²O, etc., comme cela a lieu pour les composés à fonction complexe que l'on rencontre en chimie organique.

Isométrie des sulfochromites et des chromosulfates. - Pour terminer l'étude de ce composé, je ferai remarquer que l'hydrate sulfochromique (SO³)⁴Cr²O²(OH)² est isomère de l'acide chromosulfurique [Cr²(SO⁴)⁴]H², mais il en diffère profondément en ce que ses sels, les sulfochromites, sont absolument insolubles, tandis que les chromosulfates sont très solubles. Cette insolubilité des sulfochromites provient vraisemblablement de ce que, dans ces composés, l'oxyde métallique est combiné directement à l'oxyde de chrome [...].

EXTRAIT DU PROCÈS VERBAL DE LA SÉANCE DU 14 FÉVRIER 1896

(Soc. Chim., 1896, 3e série, t. XV, p. 337)

Présidence de M. Moissan

[...] M. Beilstein fait hommage à la société de son livre *Handbuch der organischen Chemie*.

M. Poulenc (Camille), fait hommage à la société d'un volume intitulé : *Les nouveautés chimiques*.

Industrie

FLUOROÉLASTOMÈRES
VITON

DuPont Elastomères augmente sa capacité mondiale de fluoroélastomères Viton sur les sites de Deepwater (New Jersey) aux États-Unis et de Dordrecht en Hollande. Le groupe a décidé d'investir plusieurs millions de dollars, sur une période de deux ans, afin d'optimiser l'efficacité de ses fabrications pour améliorer la qualité, la fiabilité et le conditionnement des produits. La capacité actuelle va augmenter progressivement de 50 %.

Cette augmentation répond à la demande croissante d'élastomères fluorés Viton suscitée par les normes antipollution dans l'automobile et l'industrie chimique.

• Du Pont de Nemours (France) SA,
137, rue de l'Université,
75334 Paris Cedex 07.
Tél. : (1) 45.50.65.50.
Fax. : (1) 47.53.09.65/66.

LA MÉCANIQUE DES
FLUIDES NUMÉRIQUES
APPLIQUÉE
AU GÉNIE DES PROCÉDÉS

Les Rencontres scientifiques de l'Institut Français du Pétrole (IFP) se tiennent deux fois par an sur un thème de recherche ciblé. Elles permettent des échanges de point de vue, d'expériences et d'informations entre une centaine de spécialistes issus des milieux universitaires et industriels, français ou étrangers, du domaine choisi. Avec une audience volontairement limitée, ces Rencontres sont également l'occasion pour l'IFP de confronter la qualité et les résultats de ses travaux de recherche face à la communauté scientifique internationale.

L'IFP a retenu la mécanique des fluides numérique appliquée au génie des procédés comme thème de la Rencontre scientifique qui a eu lieu dans son Centre d'études et de développement industriels René Navarre de Solaize, près de Lyon, les 7 et 8 novembre derniers.

Deux ans après une première Rencontre sur le même thème, l'IFP a voulu faire le point sur l'application de cette discipline scientifique, habituellement réservée au secteur aéronautique et à l'espace, au domaine du génie des procédés. En effet, la recherche et développement menée par l'IFP implique la maîtrise de la mécanique des fluides numérique, notamment pour les travaux relevant de la production pétrolière (ex. : polyphasique) ou du raffinage et de la pétrochimie (ex. : craquage catalytique, vapocraquage...). Réputé internationalement dans ce domaine - avec 1 100 références industrielles, l'IFP s'est imposé comme l'un des plus importants bailleurs de licences au niveau mondial - l'Institut est, naturellement, au premier rang pour faire progresser ces recherches vers des applications industrielles.

Cette rencontre scientifique était très largement placée sous le signe de l'international. Ainsi, les professeurs H. van den Akker (université de Delft, Pays-Bas), R. Fox (Kansas State University, États-Unis), G. Froment (université de Gand, Belgique), A. Lübbert (université de Hanovre, Allemagne), P. Hutchinson (Cranfield Institute of Technology, Grande-Bretagne), M. Deville (École Polytechnique de Lausanne, Suisse) ont participé aux travaux indiquant l'état de leurs propres recherches. Les conférences des professeurs J. Villermaux (École Nationale Supérieure des Industries Chimiques de Nancy), M. Lance (École Centrale de Lyon), de chercheurs de l'IFP (P. Trambouze, G. Ferschneider, Ph. Mege) et la présence d'industriels français tels que O. Simonin (Électricité de France) ont également enrichi les échanges.

Les textes des conférences seront publiés dans un numéro spécial de la *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, à paraître début 1996.

• Séverine Jahan, IFP, BP 311,
92506 Rueil-Malmaison Cedex.
Tél. : (1) 47.52.62.07.
Fax : (1) 47.52.70.96.

FAIRE ÉVOLUER
LES STRUCTURES
D'HOMOLOGATION

Les produits de protection des plantes ne peuvent être mis sur le marché en France pour être utilisés par les agriculteurs que s'ils ont fait l'objet d'une autorisation de vente. Depuis le 25 juillet 1993, une procédure européenne d'homologation est entrée en vigueur. Elle repose sur les deux principes essentiels suivants :

- les matières actives des produits sont évaluées par un comité européen (comité phytosanitaire permanent) et sont inscrites sur une liste communautaire,
- les produits commerciaux tels qu'ils sont mis sur le marché sont évalués par chaque état membre.

Cette directive européenne d'homologation entraîne pour les différentes autorités nationales un surcroît de travail considérable avec, en particulier, la nécessité de remettre à Bruxelles d'épais rapports d'expertise (monographies) quand elles sont chargées de l'instruction du dossier d'une substance active (nouvelle ou ancienne).

En France, les structures actuelles ne permettent plus de faire face à cette nouvelle situation car elles ne sont plus adaptées à la nouvelle charge de travail et ceci entraîne un retard dans l'évaluation des dossiers. Cette situation risque d'entraîner un retard de l'apparition des nouveaux produits en France, par rapport aux autres pays européens, qui pourront atteindre trois campagnes !

Si rien n'est fait, on en arrivera à la situation paradoxale que les agriculteurs français auront à leur disposition les produits à base de nouvelles substances actives trois ans après leurs collègues britanniques, allemands ou belges, les pénalisant ainsi en entravant leur compétitivité.

L'amélioration rapide de nos structures d'homologation se révèle donc être un enjeu commun à toute la filière agricole française.

• D. Auber, J. My, UIPP (Union des Industries de Protection des Plantes), 2, rue Denfert-Rochereau,
92100 Boulogne-Billancourt.
Tél. : 46.05.50.52. Fax : 48.25.16.88.

PRIX DE L'INNOVATION
RHONE-POULENC

Exceptionnellement, en 1995, le jury a décerné deux prix de l'innovation :

• En chimie

Rhône-Poulenc vient de décerner le Prix de l'innovation 1995 aux produits de performance Actalys, à base de terres rares, qui améliorent l'efficacité et la longévité des pots catalytiques des véhicules à moteur essence. Ces nouveaux produits s'appuient, en particulier, sur la grande stabilité thermique et les remarquables propriétés catalytiques des terres rares.

• En Agro

Le secteur Agro de Rhône-Poulenc a mis au point des cultures tolérantes à deux herbicides de la famille des oxynils, le bromoxynil et l'ioxynil.

Employés à faibles doses, ces herbicides contrôlent les mauvaises herbes à feuilles larges (dicotylédones) et sont rapidement détruits dans le sol. Jusqu'à présent, ils ne pouvaient pas être utilisés pour contrôler les mauvaises herbes dans les cultures dicotylédones telles que colza, coton, tabac, etc. qui ne possèdent pas ce système de dégradation.

La tolérance dans ces cultures dicotylédones a été obtenue en trois étapes :

- La première, réalisée en collaboration avec la société californienne Calgene Inc, a conduit à l'identification d'une bactérie du sol (*Klebsiella ozaenae*) produisant une nitrilase similaire à celle des céréales.

- La seconde a consisté à isoler le gène correspondant et à le rendre capable de s'exprimer dans les plantes.

- Dans la dernière étape, ce gène a été introduit dans le colza, le coton et le tabac.

• Rhône-Poulenc, 25, quai Paul Doumer 92408 Courbevoie Cedex.
Tél. : (1) 47.68.12.34.

LES INNOVATEURS
DU GROUPE ELF

Depuis plus de 10 ans, Elf Aquitaine encourage et distingue les innovations de ses équipes dans tous les domaines technique,

commercial, administratif...

Ainsi, depuis 1985, Elf Aquitaine a récompensé 658 lauréats.

Parmi les innovations primées en 1995 :

- *Altuglas : la transparence et l'économie*

Obtenir que la qualité du produit et le taux de polymérisation soient parmi les meilleurs au niveau industriel, tout en diminuant les coûts de production (Elf Atochem).

- *La machine à laver les oiseaux*

Imaginer et valider un concept d'automate destiné au lavage des oiseaux pollués utilisant une base lavante mise au point spécialement au sein du groupe. Une contribution désintéressée à la protection de l'environnement (direction environnement & sécurité groupe).

- *Prix scientifique*

André Lantz, le fluor et la couche d'ozone

Spécialiste internationalement reconnu en matière de dérivés du fluor, André Lantz a consacré 25 ans de sa vie à cet élément pas comme les autres, avec pour point d'orgue la mise au point des substituts aux CFC d'Elf Atochem (Elf Atochem).

La brochure "Les trophées Elf 1995" résume les travaux et les résultats des innovateurs primés, tout en montrant la diversité et la richesse de leur engagement. Elle est disponible sur simple demande.

- **Elf Aquitaine, Tour Elf, Cedex 45, 92078 Paris La Défense.**
Tél. : 47.44.37.76.
Fax : (1) 47.44.68.21.

EURO CHLOR NOMME UN DIRECTEUR SCIENTIFIQUE

Le professeur André Lecloux a été nommé au nouveau poste de directeur scientifique d'Euro Chlor, la fédération européenne des producteurs et utilisateurs de chlore. Cette nomination a pour objet de renforcer la recherche dans les domaines de la toxicologie et de l'environnement.

Au siège d'Euro Chlor à Bruxelles, le professeur Lecloux se concentrera sur le développement du projet Compass (Coordinated Orbital Monitoring Programme Alarm Security System) visant à identifier rapidement les questions surgissant dans le domaine de la recherche mondiale en matière de

chlore ; il s'occupera également de la coordination de l'évaluation par Euro Chlor des risques liés à 25 produits chimiques importants et participera aux recherches internationales sur les substances susceptibles d'avoir des effets œstrogènes.

- **Euro Chlor, avenue E. Van Nieuwenhuysse 4, Box 2, B-1160 Brussels, Belgique.**
Tél. : +32 (2) 676.72.11.
Fax : +32 (2) 676.72.41.

FÉDÉRATION DE LA PLASTURGIE

L'Assemblée générale de la Fédération de la Plasturgie a nommé à sa présidence Emmanuel Paturle, président fondateur de la société Multibase. Il succède à Jean Heaume. Ce dernier, nommé président d'honneur, demeure membre du comité directeur et, notamment, en charge des relations avec le CNPF, dont il est membre du conseil exécutif.

Depuis 1993, Emmanuel Paturle est président du Pôle Européen de Plasturgie (PEP) ainsi que de l'École Supérieure de Plasturgie d'Oyonnax.

- **Fédération de la Plasturgie, 65, rue de Prony, 75854 Paris Cedex 17.**
Tél. : (1) 44.01.16.16.
Fax : (1) 44.01.16.55.

MÉDICAMENTS BASÉS SUR LA CHIMIE COMBINATOIRE

Solvay Duphar, filiale du groupe Solvay (Bruxelles, Belgique), société active dans le domaine de la santé humaine, et Arqule, Inc (Medfor, Massachusetts, États-Unis) ont conclu un accord visant à développer de nouveaux composés pharmaceutiques en recourant aux techniques de pointe d'Arqule en matière de chimie combinatoire.

Solvay à l'intention d'utiliser dans deux directions cette technologie : l'une sera de tester intensivement de nouveaux composés, l'autre sera d'affiner la mise au point de produits "candidats" spécifiques.

- **Dominique Clerbois, Solvay SA Corporate Communications, rue du Prince Albert 33, B-1050 Bruxelles, Belgique.**
Tél. : +32 (2) 509.60.16 ou 509.72.30.
Fax : +32 (2) 509.72.40.

RHÔNE-POULENC RENFORCE SA PRÉSENCE EN CORÉE

Rhône-Poulenc prend le contrôle à 100 % de sa filiale Kofran. Cette reprise constitue une étape importante dans la stratégie de développement en Asie de Rhône-Poulenc, dans le domaine des silices précipitées et de l'acide adipique, pour lesquelles le groupe détient des positions de leader mondial.

Dans le domaine des silices précipitées, Rhône-Poulenc renforce ainsi ses activités en Corée (65 000 tonnes de capacité) comme en Chine (20 000 tonnes en construction), et va pouvoir mener une stratégie commune forte pour l'ensemble des marchés asiatiques. Pour l'acide adipique, la reprise de Kofran s'accompagne de l'étude d'une augmentation de 20 000 tonnes de capacité sur le site d'Orsan en Corée. L'objectif de Rhône-Poulenc est de jouer un rôle majeur dans la croissance des marchés des intermédiaires nylon et polymères en Asie, comme en Europe et en Amérique du Sud, où le groupe détient déjà des positions de leader.

- **Rhône-Poulenc Chimie, 25, quai Paul Doumer, 92408 Courbevoie Cedex.**
Tél. : (1) 47.68.08.47/23.78.
Fax : (1) 47.68.14.44.

ANNUAIRE OFFICIEL DES PLASTIQUES

La nouvelle édition 1995 de *France-Plastiques* (annuaire officiel des plastiques) est disponible. Publié sous l'égide de la Fédération de la Plasturgie, cet ouvrage présente le marché complet de l'industrie des plastiques en France :

- Matières premières (plastiques, adjuvants, demi-produits).
- Équipements (machines, matériels, outillages, fournitures).
- Services.
- Transformation - classement des transformateurs : par article, pièce ou objet fabriqué, par procédé de fabrication, par situation géographique.
- Marques de fabrique.
- Documentation.

Outre les informations clas-

siques, le lecteur trouvera dans cet ouvrage tous les renseignements, concernant les activités et les fabrications des entreprises.

- **CEPP publications, 25, rue Dagorno, 75012 Paris.**
Tél. : (1) 43.47.30.20.

LE MARCHÉ DES ÉQUIPEMENTS D'ÉPURATIONS DES EAUX ET DES EAUX USÉES

Un rapport de Frost & Sullivan examine la position actuelle et future de six catégories de produits vendus dans huit zones géographiques et constate : " Les perspectives sont excellentes à tous les niveaux du marché des équipements d'épuration, mais surtout dans le secteur des équipements de traitement des boues et le secteur des procédés biologiques et physico-chimiques". Ces segments de marché bénéficient de l'application des directives sur la qualité des eaux - directives que la Communauté européenne a publiée dans les manuels suivants : *Traitement des eaux usées* et *Normes pour eaux de bain*.

Dans la répartition géographique du marché, l'Allemagne constitue le marché le plus étendu, et emporte 30,1% du total. L'Espagne et le Portugal afficheront la plus forte progression à partir de la base la plus faible de l'Europe. Ces deux pays essaient de combler le retard et de suivre les dernières directives.

- **Frost and Sullivan, 8, rue de l'Arcade, 75008 Paris.**
Tél. : (1) 47.42.91.27.
Fax : (1) 47.42.91.29.

UN BIMESTRIEL SUR LA QUALITÉ, LA FIABILITÉ ET LA MESURE

En septembre 1996 sortira le 1er numéro d'une revue bimestrielle publiée par Springer : *Accreditation and Quality Assurance*. Le journal permettra une coopération fructueuse au niveau national et international entre les organismes opérant dans les domaines de l'accréditation, de la certification, de la validation, de l'assurance qualité et de la traçabilité.

- **Springer, 26, rue des Carmes, 75005 Paris.** Tél. : (1) 43.25.02.25.
Fax : (1) 44.41.15.94.

Environnement

ENVIRONNEMENT ET IFP

Les problèmes d'environnement ont atteint un niveau d'importance qui impose à l'IFP de les prendre en compte dans son action. Il est proposé, dans le rapport Environnement et IFP, un plan d'action dans les domaines de l'environnement. Les grands axes de ce plan sont :

- Le devoir de prendre en charge les problèmes d'environnement liés aux industries pétrolières et par-pétrolières, liés à l'utilisation des produits pétroliers, en particulier dans le secteur des transports, et liés aux dérivés des produits pétroliers comme les plastiques dans les déchets urbains ou automobiles.

- La participation à quelques actions à l'échelle mondiale (l'augmentation de l'effet de serre, les pluies acides...), en apportant une contribution dans les domaines scientifiques que l'IFP maîtrise.

- La démonstration d'une action complète de dépollution d'un sol.

- La participation à l'amélioration des connaissances sur l'océan profond et sur son rôle à l'échelle du système terre.

- Une ouverture sur la toxicologie en participant au développement de compétences pointues en chimie complexe du vivant.

• IFP, BP 311,
92506 Reuil Malmaison Cedex.
Tél. : (1) 47.52.60.00
Fax : (1) 47.52.70.00.

LES DÉCHETS EN ILE-DE-FRANCE

Devant l'accueil réservé à la première édition, aujourd'hui épuisée, du *Guide pratique des déchets en Ile-de-France*, Afinege, en partenariat avec l'Ademe, l'Agence de l'eau Seine-Normandie, la Chambre de commerce et d'industrie de Paris et l'Ordif, a publié une édition enrichie de nouveaux développements en particulier sur les déchets informatiques et bureautiques, le gaz CFC, l'amiante...

Il répond à tous ceux qui veulent limiter la production de déchets,

recupérer, recycler, valoriser leurs sous-produits, définir les filières et centres de traitement adaptés à la nature des déchets, traiter ou faire traiter leurs déchets dangereux en conformité avec les procédures légales en vigueur de telle manière que seuls "les déchets ultimes" soient livrés au centre de stockage.

• Prix : 130 F TTC (port inclus),
Afinege, Immeuble Le Diamant A,
92909 Paris-La-Défense Cedex.
Tél. : (1) 46.53.11.89.

LE PENTANE COMME AGENT GONFLANT

La société Fisher Profil GmbH, Neiphen (Allemagne) a produit des panneaux sandwich (tôle/mousse rigide PUR) où l'agent gonflant R11 (CFC : trichlorofluorométhane) a été remplacé par du pentane. Les systèmes de matières premières PUR de Bayer ont été modifiés de manière à obtenir les valeurs exigées pour les classements de conductibilité WD et WS 025 de la norme DIN 18164.

Le pentane agit d'abord comme agent gonflant mais demeure, après la fabrication de la mousse rigide PUR, à l'intérieur des cellules de mousse fermées, où il agit comme gaz isolant.

• Bayer AG, Konzernzentrale
Öffentlichkeitsarbeit, D-51368
Leverkusen, Allemagne.
Tél. : +49 (214) 301.
Fax : +49 (214) 30.89.23.

DÉCONTAMINATION ET RÉHABILITATION DES SOLS

L'Atelier international sur les techniques de décontamination et de réhabilitation des sols pollués par les produits chimiques, organisé par Interchimie 95 (Association pour l'Exposition Internationale du Génie des Procédés), en collaboration avec l'UPDS (Union Professionnelle des Entreprises de Dépollution de Sites) et l'Ademe (Agence pour l'Environnement et la Maîtrise de l'Énergie) s'est tenu au Parc des Expositions de Paris-Nord Villepinte, du 5 au 7 décembre 1995, sous les auspices du groupe de travail de l'industrie chimique de la commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU).

Cet atelier est une retombée directe d'un important projet pilote de la CEE visant à décontaminer plusieurs sites pollués par des produits chimiques dans des pays d'Europe centrale et d'Asie centrale.

Tirant les conclusions de cet atelier, Pierre Fillet, commissaire général d'Interchimie et président de l'atelier, a développé une idée de programme d'action en plusieurs points. Il a notamment insisté sur la nécessité d'acquérir de solides connaissances scientifiques de base dans le domaine relativement neuf de la dépollution, que ce soit pour développer des technologies nouvelles ou pour améliorer les technologies existantes afin de les rendre plus accessibles et moins chères. L'acquisition de ces connaissances doit être financée par la recherche publique et ses résultats doivent être rendus largement accessibles. La diffusion des connaissances technologiques existantes devra être organisée au moyen d'un réseau gérant le flux d'informations, par la mise sur pied de séminaires scientifiques et la publication dans des revues spécialisées. La législation doit être adaptée aux possibilités des entreprises, et ces dernières doivent être associées à l'élaboration des réglementations. Dans le domaine de l'éducation, il faudra former des éducateurs compétents, écrire des ouvrages pour l'enseignement, recenser les universités et écoles supérieures offrant des formations adaptées. La mise en œuvre de cette politique nécessitera des moyens, mais au départ il faudra mettre en place une structure légère, si possible dans le cadre de la CEE.

• André Orban, Commission économique des Nations Unies pour l'Europe, Division de l'industrie et de la technique, Section des industries chimiques, Palais des Nations, bureau 401-11,
CH-1211 Genève 10, Suisse.
Tél. : +41 (22) 917.32.57.
Fax : +41 (22) 9 17.01.78.

RHÔNE-POULENC ENVIRONNEMENT SERVICES S'ENGAGE DANS LA DÉPOLLUTION DES SOLS

Rhône-Poulenc Environnement Services, l'une des entreprises du

secteur Chimie de Rhône-Poulenc, s'engage dans le domaine de la dépollution des sols qui constitue, en Europe, un marché émergent en croissance de 15 à 30 % par an.

Son objectif est de développer des procédés de dépollution in situ, plus économiques et respectueux de l'écosystème des sols que les techniques actuelles (excavation des sols, suivie d'une mise en décharge ou d'une incinération), en se concentrant essentiellement sur le traitement des sols pollués par des produits organiques qui représentent la principale cause de la pollution des sols dans le monde.

Pour préparer l'avenir à moyen et long terme, Rhône-Poulenc Environnement Services lance un important programme de recherche-développement et d'industrialisation de nouvelles technologies, d'un montant de 50 millions de francs sur cinq ans.

• Rhône-Poulenc, Secteur Chimie,
25, quai Paul Doumer,
92408 Courbevoie Cedex.
Fax : (1) 47.68.14.44.

DÉCONTAMINATION DES SOLS

La société APSR développe des techniques de dépollution des sols permettant de détruire les pollutions minérales et organiques. Elles établissent également avant toute intervention, un diagnostic déterminant la nature des pollutions ainsi que le volume considéré comme pollué.

Les solutions proposées par APSR pour les pollutions minérales sont classiques. Concernant les pollutions organiques, APSR a développé un ensemble de bactéries, champignons et levures permettant de manière rapide et efficace la dépollution des sites.

Compte tenu des résultats positifs et des coûts économiques et attractifs de ces techniques, l'avenir des micro-organismes semble assuré, et dans ce sens, APSR compte développer ses recherches ainsi que la vente de micro-organismes préconditionnés.

• APSR, Aqua Pur System,
15, rue Barodet, 69004 Lyon.
Tél. : 72.00.88.95.
Fax : 78.29.33.80.

VALORISATION DES DÉCHETS DE L'AUTOMOBILE : UN APPEL A PROJETS

Deux millions de véhicules sont retirés de la circulation chaque année en France. 75 % en poids de ces véhicules sont aujourd'hui recyclés, le reste, soit 400 000 tonnes par an rejoint les décharges.

En 1993, les professions concernées par le traitement des véhicules hors d'usage (constructeurs, ferrailleurs, récupérateurs, entreprises de broyage...) ont signé un accord cadre dans lequel il s'engageait à réduire la mise en décharge des déchets issus de ce traitement à 15 % du poids des véhicules en 2002 et à 5 % en 2015.

Dans ce contexte, l'Ademe lance un appel à projets destiné à encourager les investissements nécessaires à la valorisation des déchets de l'automobile.

Les candidats doivent retirer un dossier auprès des délégations régionales de l'Ademe (liste disponible sur Minitel 3615 Ademe ou par téléphone).

Date de dépôt du dossier : 30 avril 1996, auprès de la même délégation régionale.

• Ademe, Centre de Paris-Vanves, 27, rue Louis Vicat, 75737 Paris Cedex 15.
Tél. : (1) 47.65.20.00.
Fax : (1) 46.45.52.36.

DÉPOLLUTION AUTOMOBILE

Jean-René Fourtou, président-directeur général de Rhône-Poulenc, a reçu le Trophée de la volonté écologique, pour le développement de la technologie Eolys qui permet d'éliminer plus de 90 % des particules de carbone émises par les moteurs Diesel.

Les expérimentations en cours ont confirmé l'efficacité du système et son adaptabilité à tous les types de véhicules. Rhône-Poulenc poursuit ses développements techniques avec l'industrie automobile pour préparer l'équipement en première monte des véhicules de nouvelle génération, à l'horizon 2000. Cette technologie sera par

ailleurs mise sur le marché dès 1996 pour l'équipement des flottes de véhicules urbains.

Outre le développement de la technologie Eolys de dépollution Diesel, Rhône-Poulenc a également mis au point une nouvelle gamme de produits de performance Actalys qui permet d'améliorer l'efficacité et la longévité des pots catalytiques des véhicules essence.

Enfin, parmi les développements récemment réalisés par Rhône-Poulenc, on peut également citer la nouvelle génération de silices pour pneumatiques qui permet une économie de consommation de carburant de 5 à 8 % (cf. *L'Actualité Chimique*, janvier-février 1996, p. 42). D'autres innovations dans le domaine des fils polyamide et polyester, des aimants à base de terres rares et des silicones ont permis la mise au point d'airbags plus performants.

Rhône-Poulenc, 25, quai Paul Doumer, 92408 Courbevoie Cedex.
Tél. : (1) 47.68.08.47/23.78.
Fax : (1) 47.68.14.44.

VALORISATION DES EMBALLAGES PLASTIQUES MÉNAGERS

35 projets de recherche & développement sur la valorisation des emballages plastiques usagés ont été sélectionnés, depuis 2 ans et demi, par Valorplast, qui réunit en France la filière industrielle de l'emballage plastique ménager.

Ces programmes ont des finalités très concrètes.

Le tri complémentaire des emballages pré-triés par les collectivités locales a, par exemple, fait l'objet d'un concours financier de 43 MF. Savoir trier des bouteilles plastiques à grande vitesse en obtenant un taux de pureté élevé (99,98 %) était le dernier obstacle technique à l'essor du recyclage des bouteilles et flacons plastiques. Ce tri est d'ores et déjà mis en œuvre par la société Micronyl Wedco sur deux sites industriels.

La régénération du PEHD, utilisé pour les flacons de produits lessiviels, est aujourd'hui maîtrisée par la société Sorepla. La réutilisation de PEHD régénéré pour la production de nouveaux emballages est aujourd'hui effective.

Le recyclage du PET et du PVC sont aujourd'hui couramment pratiqués sous forme de fibres textiles, de tubes, d'écrans anti-bruit. Des développements sont en cours pour les plastiques mélangés en substitution du bois et du béton.

• Valorplast, 14, rue de la République, Le Diamant A, 92909 Paris La Défense Cedex.
Tél. : (1) 46.53.10.95.
Fax : (1) 46.53.10.90.

UN SAC POUBELLE COMPOSTABLE

Fardem Belgium NV est la première entreprise européenne à lancer un sac poubelle certifié 100 % biodégradable. Spécialisée dans la production de sacs poubelles et de matériaux d'emballage, cette entreprise a reçu la marque de conformité OK Compost pour ce nouveau produit. Ce sac compostable est à base d'amidon et de plastique biodégradable. Son développement a été possible grâce à la collaboration de Fardem Belgium avec le producteur allemand de matières premières Biotec (Emmerich). Ce dernier a apporté l'expérience nécessaire dans les plastiques biologiques, tandis que Fardem a réalisé la transformation de nouvelles matières premières en matériaux d'emballage.

• Marcel Sear, Fardem Belgium, Toekomstlaan 18, B-2340 Beerse, Belgique.
Tél. : +32 (14) 622.977.

SACS RÉUTILISABLES A VIE

Dès 1996, l'ensemble des centres E. Leclerc vont proposer à leurs clients de modifier leurs habitudes en matière de transport de leurs achats ; c'est-à-dire de remplacer leurs sacs sortie de caisse habituels par un sac plastique plus grand, plus solide et réutilisable.

Ce nouveau sac sera consigné une première fois 1 franc et, ensuite, sera échangé gratuitement, chaque fois que nécessaire, dès qu'il sera hors d'usage (abîmé, percé ou déchiré).

Les sacs récupérés seront recyclés pour être intégrés à la fabrication de sacs poubelle vendus sous le label NF Environnement.

• Laurence Guillerm, 7, rue du Pasteur Wagner, BP 93, 75522 Paris Cedex 11.
Tél. : (1) 49.29.12.12.
Fax : (1) 48.06.55.65.

RECYCLAGE DU POLYCARBONATE

La société Bayer AG reprend tous les CD, CD-Rom et autres supports informatiques en Makrolon (PC) vendus sur le marché. Cette offre de reprise vaut également pour les supports informatiques en polycarbonate provenant d'autres producteurs de matières plastiques.

Les pièces triées sont transportées, à l'état broyé, dans l'usine de Dormagen. C'est là que Bayer possède la première unité de recyclage de disques compacts d'Europe. La régénération du polycarbonate s'y fait par voie chimique à l'échelle industrielle.



Les supports informatiques sont composés de polycarbonate, d'une couche d'aluminium métallisée sous vide, d'un revêtement protecteur et d'une impression en surcharge. Un procédé permet de séparer, sans résidus, ces différentes couches du polycarbonate, et de les éliminer en respectant l'environnement. La substance broyée pure est alors régénérée pour donner des produits recyclés de Makrolon ou de Bayblend.

• Bayer AG Konzernzentrale Öffentlichkeitsarbeit, D-51368 Leverkusen, Allemagne.
Tél. : +49 (214) 30 1.
Fax : +49 (214) 30.89.23.

MATÉRIAUX POLYMÈRES. ENJEUX ET PERSPECTIVES

Observatoire Français des Techniques
Avancées (Ofa)
Masson, 1995

Le rapport de synthèse intitulé « Matériaux polymères : enjeux et perspectives » rassemble les conclusions et les recommandations d'un groupe de réflexion organisé par l'Observatoire Français des Techniques Avancées. Une vingtaine de spécialistes, universitaires ou industriels, ont participé à sa rédaction, en prenant l'avis de 60 experts en France et à l'étranger. Cet ouvrage collectif de plus de 300 pages, illustré de nombreux graphiques, tableaux et équations chimiques, et s'appuyant sur plusieurs centaines de références bibliographiques, constitue une somme impressionnante de l'état de la science des polymères, dans ses nombreuses spécialités. Les nouvelles architectures macromoléculaires, les nouveaux procédés de polymérisation, les matériaux polymères multiphasés, les polymères spéciaux et l'évolution des polymères dans leur milieu sont abordés sous forme de contributions par les diverses équipes de rédacteurs. Écrit par des spécialistes, l'ouvrage demande bien entendu

un bagage de connaissances suffisant dans le domaine des polymères pour en apprécier tous les aspects, mais les recommandations du groupe s'adressent a priori au plus grand nombre et concernent les orientations souhaitées pour la recherche, l'industrie et l'enseignement.

La science des polymères, inconnue en tant que telle au début de ce siècle, a progressé de façon spectaculaire au cours des cinquante dernières années et s'est épanouie, sur le plan industriel, dans le domaine des matériaux de synthèse. La description des possibilités actuelles de la synthèse macromoléculaire est, de fait, impressionnante, même si de nombreux polymères de spécialité ne seront probablement jamais produits en quantités industrielles. Outre le contrôle de la structure chimique, la recherche contemporaine a progressé dans la connaissance des mécanismes de polymérisation et la mise au point de méthodes de production. Le rapport présente de nombreux et passionnants exemples d'application des polymères dans des domaines aussi pointus que l'optoélectronique, l'optique non linéaire et le biomédical pour n'en citer que quelques-uns. C'est l'aspect multidisciplinaire de la science des polymères que le rapport met bien en évidence avec, en corollaire, la nécessité de soutenir le

dialogue entre experts aux origines et horizons très différents.

Avec lucidité et courage, le rapport démontre les apports mais aussi les insuffisances des laboratoires français dans le domaine des matériaux polymères, en remarquant une diminution actuelle de leur richesse créative, en proposant à la réflexion plusieurs causes possibles et en suggérant quelques remèdes. La lecture attentive du rapport laisse néanmoins l'impression que la recherche dans le domaine des polymères s'est profondément internationalisée, au point qu'il est de plus en plus difficile de mettre tel ou tel progrès à l'actif de tel ou tel pays ou équipe de recherche. Le développement des applications industrielles relève, quant à lui, davantage des opportunités du marché, de l'état économique général si pas d'une logique purement financière (et malheureusement trop souvent axée sur le court terme) que de la volonté de développer des matériaux nouveaux. Apprécier, dans un tel contexte, l'apport spécifique des laboratoires français dans le domaine des polymères relevait de la gageure mais le groupe de réflexion de l'Ofa a effectivement produit un ouvrage indispensable pour tous ceux qui s'intéressent à l'état et au devenir de la science des polymères.

J.-L. Leblanc

ERRATUM

Une erreur s'est glissée dans la présentation des figures de l'article : "Synthèse combinatoire. Les autoroutes de la diversité", par L. Bourel, X. Williard, I. Pop, R. Baudelle, D. Horvath, B. Déprez, P. Melnyk, A. Tartar (*L'Actualité Chimique*, décembre 1995, p. 33-40). Nous prions les auteurs et nos lecteurs de nous en excuser.

La figure 9, non reproduite, est présentée ci-dessous avec sa légende, ainsi que la figure 13, également non reproduite. Ces présentations annulent celles qui figurent dans l'article publié.

Figure 9 - Deux stratégies d'étiquetage moléculaire.

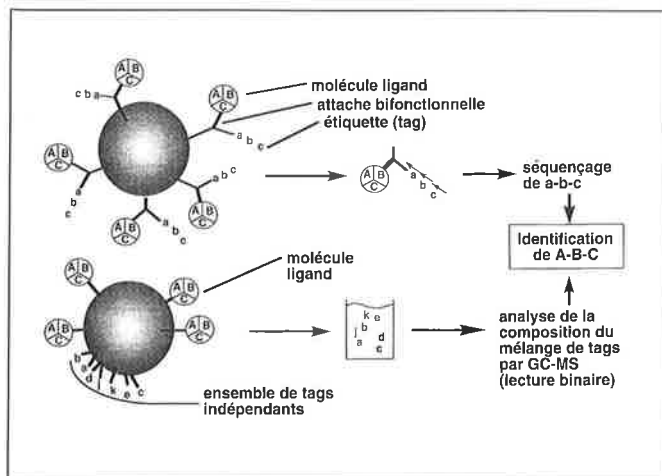
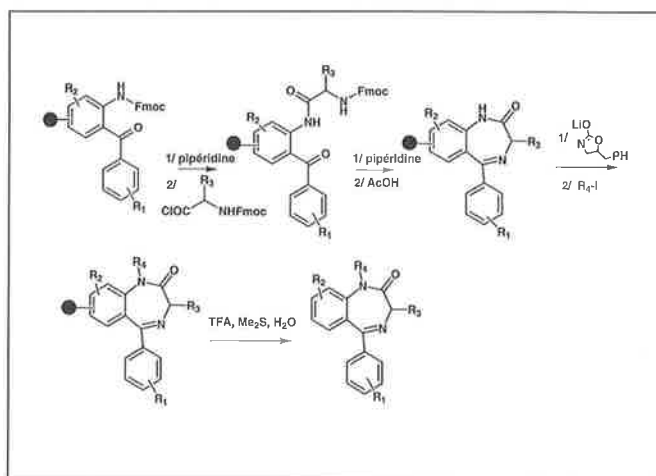


Figure 13 - Synthèse d'une bibliothèque de benzodiazépines.



Activités de la Société Française de Chimie

FAISONS NOTRE POSSIBLE POUR TRAVAILLER ENSEMBLE

L'année passée a été marquée :

• A l'intérieur :

– par l'amélioration progressive de notre situation en ce qui concerne la réputation de nos publications, et les aides qui seront apportées aux auteurs ;

– par la qualité et le nombre des réunions scientifiques dont plusieurs internationales.

– par l'intensification des relations avec d'autres organismes français, d'autres sociétés savantes et les pouvoirs publics. En particulier, la proposition de travailler ensemble faite par Bernard Bigot, chef de la mission de la Recherche au ministère, à diverses sociétés savantes est très importante pour l'avenir ;

– par l'installation d'un serveur sur Internet, qui sera le support des services fournis par la SFC, les annonces de manifestations, l'enseignement sous diverses formes, etc. (cf. *SFC Info*, décembre 1995 et *L'Actualité Chimique - SFC Info* de janvier-février 1996).

– par l'arrivée en renfort de collègues venus de l'industrie qui consacreront une partie de leur temps et de leur compétence à notre Société.

• A l'extérieur, et principalement sur le plan européen, deux mouvements sont perceptibles :

– d'une part, le rapprochement progressif de sociétés chimiques de pays voisins (pour l'instant de l'Ouest européen) qui offriront aux membres des sociétés sœurs, sans augmentation de cotisation, une partie des avantages consentis à leurs propres membres. Beaucoup d'espoir peut être mis dans cette démarche : à terme, en effet, on n'aura plus qu'à constater que l'espace européen s'est unifié. Il reste en attendant, bien sûr, nombre

de problèmes à résoudre progressivement ;

– d'autre part, une concertation a commencé entre la FECS (Federation of the European Chemical Societies) et l'ECCC (European Community Chemistry Council, plus récente et qui concerne uniquement, comme son nom l'indique, les pays de la Communauté européenne). La situation est encore compliquée par l'apparition plus récente de l'ECS (European Chemical Society). Il est évident que la construction de structures acceptées par tous sera lente et difficile même si elle est souhaitable à terme. Les deux démarches sont d'ailleurs complémentaires plutôt qu'opposées.

On peut raisonnablement espérer des progrès en 1996.

Dans le même ordre d'idée, le Conseil de la GDCh (Gesellschaft Deutscher Chemiker) a décidé de faire une offre ferme à d'autres sociétés savantes européennes pour participer au lancement et à la gestion du nouveau périodique "*Chemistry, a European Journal*". Ceci est un événement très important pour tous les chimistes européens.

Dans les relations internationales, la question se pose forcément du « poids » respectif des différents pays. La tentation est forte, pour des raisons de simplicité, d'appliquer la règle de trois aux sociétés nationales. Les effectifs actuels de la SFC donnent une idée tout à fait inexacte de la chimie française, qui compte plusieurs dizaines de milliers de professionnels. Ceci constitue un handicap certain. Pour y remédier, il est indispensable d'augmenter considérablement le nombre des membres. Des efforts ont été entrepris pour leur rendre plus de services. Un annuaire à jour va paraître en février, etc. Les suggestions sont les bienvenues. Je lance un appel pressant à rejoindre la société et à y jouer un rôle actif dans les divisions, les sections régionales et les clubs de jeunes.

La SFC peut dans certaines conditions accorder son patronage et son soutien financier à l'organisation de colloques, conférences et écoles d'été, par l'intermédiaire des divisions ou des sections régionales.

De plus, des rapprochements très intéressants sont en cours avec certaines des très nombreuses associations de professionnels, pour travailler ensemble et nous entraider. Tous ces talents et dévouements remarquables gagneraient énormément

en efficacité en se concertant.

Le paysage au début de cette nouvelle année est très contrasté. Après l'euphorie économique du début de 1995, la fin de l'année a été beaucoup plus sombre, surtout en France après la crise de décembre. Cependant, il existe un espoir raisonnable de voir la situation s'améliorer considérablement. Cela dépend, en bonne partie, de vous et de moi. Faisons donc tout notre possible pour travailler ensemble. La compétition internationale est très rude, c'est entendu ; mais nos compatriotes ont déjà montré plus d'une fois leurs capacités et leur ressort pour émerger après des crises. Je suis sûr qu'ils le montreront une fois encore et qu'ils pourront, grâce aussi aux efforts déjà fournis, jouer leur rôle sans forfanterie mais sans complexes, avec leurs partenaires, pour le plus grand bien de tous.

Bonne et féconde, et pourquoi pas, heureuse année 1996.

Marc Julia
Président

ENSEIGNEMENT

LE CONSEIL CLARIFIE LA SITUATION

Suivant une décision du Conseil, une commission interdivisions Enseignement a été constituée au début de l'année 1995 à la Société Française de Chimie.

Par ailleurs, le bureau de la division Enseignement de la chimie était démissionnaire, mais la division existait tant qu'elle n'avait pas été dissoute par le Conseil. Un représentant du bureau démissionnaire siégeait au sein de la commission Interdivisions.

Fiche abonnements

Vous trouverez dans ce numéro de *SFC Info*, sous forme d'encart, un bulletin de renouvellement ou d'adhésion pour l'année 1996. Tous les adhérents à la SFC l'ont déjà reçu et nous l'ont retourné avec leur règlement.

Ce bulletin encarté est destiné à faire de nouvelles adhésions. C'est aussi un rappel aux retardataires.

Cette situation ne pouvait pas durer.

Après avoir travaillé pendant une année, et constaté l'intérêt et l'efficacité de ses réunions, la commission Interdivisions a examiné, lors de sa réunion du 10 janvier 1996, avec la participation du représentant de l'ex-bureau de la division Enseignement de la chimie, comment la situation pourrait être régularisée, et a proposé plusieurs dispositions au Conseil. Ce dernier a retenu l'essentiel de ces propositions, et adopté à l'unanimité les décisions suivantes au cours de sa réunion du 30 janvier 1996.

1) La division Enseignement de la chimie est supprimée.

2) Une commission interdivisions Enseignement est créée :

– Elle est constituée :

a) de représentants des divisions de la SFC, disposant d'un mandat électif de 4 années, à raison d'un, ou éventuellement deux, représentant(s) par division ;

b) d'experts cooptés.

– Elle est animée par un bureau, élu par la commission en son sein pour une durée de 4 ans renouvelable et constituée d'un président et d'un secrétaire.

Le fonctionnement de la commission est financé par les divisions, par l'intermédiaire de leurs représentants, et par la Société pour ce qui concerne les experts cooptés.

3) Tous les membres de la SFC peuvent être associés aux travaux de la commission.

4) Les travaux de la commission font l'objet de comptes rendus publiés dans *SFC Info* et peuvent conduire à des réalisations prises en compte par l'ensemble de la Société. Ils sont par ailleurs repercutés au sein des divisions par leurs représentants, et ces derniers transmettent à la commission les desiderata émanant des divisions.

Enfin, la commission établit des relations suivies avec les divers organismes s'intéressant à l'enseignement de la chimie.

5) Les activités de l'ex-division Enseignement sont reprises par la commission interdivisions Enseignement*.

6) Un prix de l'enseignement de la chimie est attribué par le Conseil sur proposition de la commission interdivisions Enseignement.

* Il a été convenu, au sein de la commission interdivisions Enseignement, que les Jirec seront poursuivies sous la responsabilité de leurs précédents animateurs.

LES DERNIÈRES CONCLUSIONS DE LA COMMISSION INTERDIVISIONS ENSEIGNEMENT

Au cours de sa réunion du 10 janvier 1996, la commission :

- a pris connaissance de l'état d'avancement du projet Internet qu'elle avait élaboré : un domaine intitulé www.sfc.fr a été créé, et une maquette a été conçue. Celle-ci est en cours de chargement et doit être accessible en février 1996 (voir plus loin le communiqué et le projet de maquette. Voir également l'article dans *L'Actualité Chimique*, où une rubrique Internet a été ouverte) ;

- a discuté, avec la participation du représentant de l'ex-division Enseignement, de la normalisation de la situation à la SFC dans le domaine de l'enseignement. Elle a présenté des propositions au Conseil, qui a pris, lors de sa réunion du 30 janvier, les décisions rapportées ci-dessus ;

- a défini les critères à prendre en compte pour le Prix de l'Enseignement de la SFC (voir ci-dessous) ;

- a retenu les ouvrages de chimie existants qui pouvaient être recommandés pour le premier cycle universitaire, et souligné l'insuffisance de la littérature d'enseignement en chimie inorganique.

La liste des ouvrages retenus sera publiée ultérieurement.

LE PRIX DE L'ENSEIGNEMENT DE LA SFC

Le Prix de la division Enseignement de la chimie sera attribué par le Conseil sur proposition de la commission interdivisions Enseignement.

La commission a retenu le principe d'une grande liberté dans le choix des lauréats proposés, mais elle accordera une attention particulière aux collègues qui auront contribué à l'évolution de l'enseignement de la chimie, notamment en Deug.

Cette contribution pourra prendre les formes les plus variées, mais la référence aux caractéristiques de l'enseignement de la chimie en Deug, telles qu'elles ont été définies par la commission, sera prise en considération.

Ces caractéristiques sont essentiellement les suivantes (voir G. Chambaud, *L'Actualité Chimique*, 1995, 5, p. 24).

– 1. La formation en chimie en Deug doit être une formation générale, convenant aux différentes orientations possibles des étudiants.

– 2. Elle doit permettre aux étudiants de regrouper les concepts acquis dans le secondaire, en leur donnant une vision globale en relation avec les grands domaines de la chimie et les domaines voisins (biologie, physique, géologie...).

– 3. Elle doit permettre aux étudiants de

manipuler les produits chimiques et les appareils classiques au laboratoire et de comprendre la démarche scientifique propre à la chimie, en s'appuyant sur des travaux pratiques et sur des expériences de cours.

– 4. Elle doit permettre de développer l'initiative personnelle des étudiants, et de développer la recherche de documentation introduite désormais dans l'enseignement secondaire.

Les documents élaborés dans cet esprit pourront, en outre, être publiés dans *L'Actualité Chimique*.

13e JIREC : ÉDUCATION-INDUSTRIE : UN SAVOIR POUR DES RÉALITÉS

Dourdan, 5-7 juin 1996

Les 13e Journées sur l'innovation et la recherche dans l'enseignement de la chimie seront consacrées à l'éducation-industrie : un savoir pour des réalités, avec pour thème : utilité et possibilité de collaborations entre les industriels et les enseignants dans la formation en chimie au collège, au lycée et à l'université.

Sont concernés par ces journées :

– les enseignants en sciences physiques au collège et au lycée,

– les enseignants chercheurs à l'université chargés d'un enseignement pratique ou théorique en chimie destiné à des étudiants, des Deug au niveau troisième cycle,

– et toute personne s'intéressant à l'enseignement de la chimie.

Les conférences seront assurées par des partenaires industriels, des enseignants et des spécialistes du recrutement.

Des communications par affiches ou tout autre document peuvent être proposés (prévenir le plus rapidement possible les organisateurs).

Les ateliers, au nombre de trois, seront organisés autour de rencontres entre industriels et enseignants. Deux des ateliers mèneront une réflexion sur les thèmes suivants :

– enseigner la chimie pour apporter une ouverture culturelle liée aux réalités de l'industrie,

– enseigner pour former de futurs professionnels de la chimie.

Le troisième atelier sera réservé à l'étude de documents pédagogiques universitaires, industriels... La présentation de certains d'entre eux permettra une approche critique en vue de leur exploitation. Des projets de nouvelles créations pourront être envisagés.

Chaque atelier sera animé conjointement par un partenaire de l'industrie et un enseignant.

Le travail des ateliers donnera lieu à un rapport de synthèse qui paraîtra dans les actes

des 13e Jirec et dans *L'Actualité Chimique*.

Une visite de l'usine Elf Atochem de Levallois est proposé pendant une demi-journée.

- **Renseignements : s'adresser à la Société Française de Chimie. Tél. : (1) 43.25.20.78. Fax : (1) 43.25.87.63 (les demandes de renseignements seront transmises par la SFC à Christiane Pernot et Janine Thibault).**

LE SERVEUR WWW INTERNET

UN SERVEUR INTERNET EST DÉSORMAIS A VOTRE SERVICE*

La Société Française de Chimie est heureuse de vous annoncer la naissance de son serveur d'information sur Internet. Pour y accéder lancez votre navigateur habituel et ouvrez l'adresse suivante :

<http://www.sfc.fr>

Ce serveur a pour but de servir toute la communauté chimique, et les membres de la SFC en particulier, c'est pourquoi il se veut être dès maintenant :

– *Un espace d'information*

Vous y trouverez rassemblées, à partir de février 1996, toutes les informations sur les manifestations de la chimie, les colloques, les congrès scientifiques... Vous serez aussi informés, en temps réel, de toutes les activités qui vous sont proposées par la SFC et, si vous n'avez pu y participer, des comptes rendus seront même disponibles.

– *Un espace de référence*

Tout sera aussi fait pour vous faciliter l'accès vers les serveurs d'information liés à la chimie dans le monde.

– *Un espace d'aide à l'enseignement*

Les informations qui vous sont nécessaires pour bâtir votre enseignement, dans le cadre des nouveaux programmes d'enseignement, seront mises à votre disposition : données industrielles et économiques, en collaboration avec J.-L. Vignes, sécurité dans les laboratoires, recueils des Olympiades de la chimie.

– *Un espace d'aide à l'emploi et à la formation*

Une partie importante du serveur sera l'aide à l'emploi et à la formation. Cette partie du serveur entrera progressivement en fonction, en s'intégrant dans une démarche en profondeur de la SFC.

– *Un espace de communication*

Non seulement vous aurez la possibilité de communiquer directement avec les responsables de la Société Française de Chimie, mais bientôt un forum sera mis en place sur lequel la communauté chimique pourra s'exprimer.

– *Un espace de publications*

Les sommaires des prochains numéros des revues de la SFC figureront sur ce serveur avant même leur publication et, à terme, vous aurez la possibilité d'y faire facilement des recherches par mot clef.

– *Un espace de découverte*

Vous pouvez, dès maintenant, y découvrir la réalité chimique virtuelle, faire jouer votre souris avec des molécules...

Si vous ne savez pas exactement ce qu'il faut faire pour accéder à Internet ; nous vous incitons à lire "Internet, pratiques d'accès" dans le numéro 1 de *L'Actualité Chimique*, vous y trouverez tous les détails nécessaires pour profiter de ce serveur.

Ce serveur est en plein développement et il sera, nous l'espérons, en constante amélioration. Aussi n'hésitez pas à y laisser des suggestions, critiques constructives..., toutes seront prises en compte. Si ce serveur est à votre service, c'est aussi votre serveur : c'est pourquoi votre collaboration sera toujours la bienvenue.

N'hésitez pas à nous contacter :

- **C. Lefour et J.-M. Lefour** (lefour@poly.polytechnique.fr),
Th. Ortega (responsable Internet de la SFC : ortega@ccr.jussieu.fr)

* cf. également *L'Actualité Chimique*, 1996, 1, p. 61

LES RUBRIQUES DU SERVEUR

(conception du serveur à la date du 14/12/95)

- Présentation de la SFC
- Les nouveautés sur le serveur
- L'activité scientifique de la SFC : activités des divisions, des sections régionales, des groupes spécialisés, des groupes de jeunes.
- Les manifestations scientifiques
- Les actions de formation continue
- Les publications (sommaires et mots clefs)
- Les offres d'emploi
- Les demandes d'emplois
- Présentation des compétences des laboratoires de la recherche publique.
- Thèses récemment soutenues
- Documents pour l'enseignement de la chimie dans les collèges et les lycées
- Documents pour l'enseignement de la chimie dans les universités et les grandes écoles
- Les bonnes adresses d'Internet en chimie
- Les nouvelles de l'industrie chimique
- Protection et sécurité
- Histoire de la chimie
- Les conférences multimédias du mois
- L'exposition virtuelle
- IUPAC

- Affaires européennes.

Ces rubriques seront remplies progressivement, des précisions seront données ultérieurement.

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE

L'équipe du *Bulletin de la Société Chimique de France* a été renouvelée. Jean-Yves Lallemand devient rédacteur en chef du Bulletin et Christine Durieux secrétaire.

- **Coordonnées du Bulletin : École polytechnique, département chimie DCFG, 91128 Palaiseau Cedex. Tél. : (1) 69.33.41.79 (J.-Y. Lallemand) et (1) 69.33.48.63. (Ch. Durieux). Fax : (1) 69.33.30.29.**

DIVISION Catalyse

PRIX DE LA DIVISION

Comme chaque année, un prix de 10 000 F est attribué à des chercheurs permanents dont les travaux méritent une mention particulière. Il n'y a pas de limite d'âge, mais l'objectif du bureau est de promouvoir les jeunes chercheurs.

Toute candidature soit spontanée, soit sous l'initiative d'un responsable hiérarchique, doit être adressée au président de la division Catalyse : J.C. Védrine.

La candidature doit être motivée et étayée par les publications les plus pertinentes.

- **Institut de Recherches sur la catalyse/CNRS, 2, av. A. Einstein, 69626 Villeurbanne Cedex. Tél. : 72.44.53.13. Fax : 72.44.54.13. E.mail : vedrine@catalyse.univ-lyon1.fr**

4e COLLOQUE FRANCO-MAGRÉBIN DE CATALYSE

Lille-Villeneuve d'Ascq

10-14 juin 1996

Ce colloque a pour objectif de rassembler les chercheurs et étudiants en thèse travaillant en catalyse dans quatre pays (Algérie, France, Maroc et Tunisie), tant en France que dans les pays du Maghreb.

Le thème retenu est : relation réactivité-structure.

Un prix d'inscription particulier est réservé aux adhérents de la SFC.

- **Renseignements : Robert Hubaut, Edmond Payen, USTL, Laboratoire de catalyse hétérogène et homogène, bât. C3, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex. Tél. : 20.43.49.50. Fax : 20.43.65.61.**

DIVISION Chimie organique

JOURNÉE DE LA DIVISION

Paris, 26 mars 1996

Cette journée se déroulera à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Paris (11, rue Pierre et Marie Curie, 75005 Paris), dans l'amphithéâtre Charles Friedel.

9 h 30, G. Queguiner (université de Rouen) : *Nouvelle méthodologie de synthèses d'alcaloïdes par une nouvelle voie d'accès aux organo-métalliques en série pyridinique et diazinique.*

10 h 15, M. Taddei (université de Sassari, Italie) : *Exotic amino acids. Design, synthesis and applications of useful compounds for chemistry and biology.*

11 h 20, S. Rattou, (Rhône-Poulenc), lauréat du Grand Prix Industriel SFC-SCI : *Des réactions propres pour la chimie fine de demain.*

12 h 20 : remise du Grand Prix Industriel SFC-SCI.

15 h, I. Canet-Fresse, lauréat du prix Dina Surdin : *RMN du deutérium en milieu cristal liquide chiral : une nouvelle méthode d'analyse énantiomérique.*

15 h 30, P. Pale (université de Strasbourg) : *Histoires de cycles.*

16 h 30, P. Wender, conférencier SFC-Merck (université de Stanford, États-Unis) : *The chemistry-medicine continuum : synthetic, computer, and biological studies on Taxol.*

- Renseignements : Christine Greck, ENSCP, 11, rue P. et M. Curie, 75231 Paris Cedex 05. Tél. : (1) 44.27.67.42. Fax : (1) 44.07.10.62.

CONFÉRENCES SFC-MERCK 1996

Paul A. Wender (Stanford University, États-Unis)

Grâce au soutien financier de la Société Merck Schuchardt France, les 4 conférences SFC-Merck seront présentées par le professeur P. Wender du 22 au 28 mars 1996, selon le programme suivant :

- Vendredi 22 mars

Conférence 1 : *The chemistry medicine continuum synthetic, computer and biological studies on new medicinal leads related to signal transduction.*

10 h 30, université Louis Pasteur, Strasbourg, amphithéâtre Forestier (1, rue Blaise Pascal, 67000 Strasbourg).

- Mardi 26 mars

Conférence 2 : *The chemistry medicine continuum : synthetic, computer and biological studies on taxol.*

16 h 30, dans le cadre de la Journée de la division Chimie organique à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Paris, amphithéâtre Charles Friedel (11, rue Pierre et Marie Curie, 75231 Paris Cedex 05).

- Mercredi 27 mars

Conférence 3 : *New transition metal catalyzed reactions and their application to molecules of biological and medicinal importance.*

16 h, à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Toulouse, amphithéâtre n° 3 (118, route de Narbonne, 31077 Toulouse Cedex).

- Jeudi 28 mars :

Conférence 3

15 h 30, à l'université Claude Bernard, Lyon, amphithéâtre de la délégation Rhône-Alpes du CNRS (2, rue Albert Einstein, 69622 Villeurbanne).

- Renseignements : C. Greck, ENSCP, 11, rue Pierre et Marie Curie, 75231 Paris Cedex 05. Tél. : (1) 44.27.67.42. Fax : (1) 44.07.10.62.

DIVISION Chimie physique

PRIX ANNUEL DE LA DIVISION

Un prix annuel est décerné, sur proposition du conseil de la division Chimie physique de la SFC, à un jeune chercheur (limite d'âge 35 ans environ), pour ses travaux, fondamentaux ou appliqués, dans le domaine de la chimie physique ou de la biophysique.

Ce chercheur devra s'être affirmé par la qualité et l'originalité de ses recherches, et par les initiatives qu'il aura prises pour leur orientation.

Les candidatures devront être appuyées d'une présentation de deux ou trois pages et d'un curriculum vitae.

Les dossiers doivent parvenir, avant le 1er avril 1996, à la division Chimie physique.

- Renseignements : SFC, Division Chimie physique, Laboratoire de chimie physique, 11, rue Pierre et Marie Curie, 75005 Paris.

JOURNÉES DE LA DIVISION

Paris, 4-6 septembre 1996

Ces journées se tiendront à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Paris, (11, rue

Pierre et Marie Curie, 75005 Paris).

Un appel à communications est lancé. Le titre de la communication et le nom des auteurs sont à envoyer à Jacques Livage.

- Renseignements : Jacques Livage, Laboratoire de chimie de la matière condensée, université Pierre et Marie Curie, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05. Tél. : (1) 44.27.33.65. Fax : (1) 44.27.47.69.

SECTION Bourgogne - Franche-Comté

RÉUNIONS DE LA SECTION

• Le vendredi 8 mars 1996, une visite de l'usine Solvay de Tavaux est organisée par la section locale Bourgogne Franche-Comté. A l'issue de la visite, l'assemblée générale de la section locale, au cours de laquelle interviendra le renouvellement du bureau de la section, aura lieu sur le site industriel Solvay.

Pour tout renseignement, contacter Mme Simonot.

• La Journée scientifique des doctorants de la section aura lieu le 10 mai 1996, à l'université de la Bouloie à Besançon, dans le cadre de l'École doctorale Louis Pasteur.

- Renseignements : Marie-Hélène Simonot, Faculté des sciences Mirande, Laboratoire de recherche sur la réactivité, 21004 Dijon Cedex. Tél. : 80.39.61.43. Fax : 80.39.61.32.

SECTION Bretagne - Pays de Loire

RÉUNION DE LA SECTION

Piriac, 30-31 mai 1996

La réunion de la section Bretagne-Pays de Loire se tiendra au village Le Moulin de Praillane, à proximité de Piriac, les 30 et 31 mai 1996. A cette occasion, les cinq conférenciers dont les noms suivent interviendront :

- Jean-Pierre Launay (UPR 8011, Toulouse) : *Électronique moléculaire.*
- Jean-Paul Lellouche (CEN-Saclay) : *Synthèse totale via des espèces cationiques.*
- André Lubineau (URA 462, Orsay) : *Sucrochimie dans l'eau.*
- Charles Mioskowski (URA 1386, Strasbourg) : *Synthèse totale et méthodologie.*
- Didier Roux, (UPR 8641, Pessac) : *Matière molle : molécules amphiphiles et colloïdes.*

Le nombre de communications orales sera d'environ une trentaine (10 minutes sans question, discussion devant les affiches) et une place importante sera réservée aux communications par affiche.

- Renseignements : Bruno Bujoli, URA CNRS 475, Faculté des sciences, 2, rue de la Houssinière, 44072 Nantes Cedex 03. Tél. : 40.37.49.41. Fax : 40.74.50.00. E.mail : bujoli@cnrs-irn.fr

SECTION Champagne - Ardenne

RÉUNIONS DE LA SECTION

- 29 février 1996, H. Thys (invité du club des Jeunes sociétaires).
- 7 mars 1996, C. Aubert (université Paris VI).
- 14 mars 1996, Dr Garreg.
- 21 mars 1996, M. Lago-Gitareux (directeur scientifique de la société Henkel-Reims).
- 28 mars 1996, assemblée générale annuelle de la section régionale.
- 4 avril 1996, J. Vercauteren (faculté de pharmacie, Bordeaux).
- Renseignements : Charles Portella, UFR Sciences, BP 347, 51062 Reims Cedex. Tél. : 26.05.32.34. Fax : 26.05.31.66.

SECTION Normandie (Basse) - Sarthe

JOURNÉE DE LA SECTION

- Le Mans 18 juin 1996
- Cette Journée se tiendra à la faculté des sciences (amphithéâtre 1 et salle B1).
- Deux conférences seront données par :
 - Dr Evers (Rhône Poulenc-Rorer, centre de recherche de Vitry) : *Les anti-viraux*,
 - Dr Lacorre (Laboratoire des fluorures, URA CNRS 449, Le Mans) : *Métal ou isolant ? Une nouvelle approche des propriétés conductrices des oxydes ?*
- Les jeunes chercheurs des laboratoires caennais et manceaux sont invités à communiquer leurs résultats oralement et par affiche.

- Renseignements :
 - Françoise Maugé, tél. : 31.45.28.24.
 - Patrick Metzner, tél. : 31.45.28.85, e.mail : metzner@unicaen.fr
 - Jean-Louis Fourquet, tél. : 43.83.33.56, e.mail : jlf@one.univ-lemans.fr

SÉMINAIRES DE CHIMIE ORGANIQUE A CAEN

Ces réunions SFC ont lieu dans la salle A 222 de l'Isma, le vendredi à 11 h (sauf précision contraire).

- 22 mars, Prof. André Mortreux, (École Nationale Supérieure de Chimie de Lille) : *Synthèse asymétrique et catalyse. Pourquoi ? Comment ?*

- 5 avril, Dr Marc Larchevêque (École Nationale Supérieure de Chimie de Paris) : *Nouvelles méthodes de synthèse d'acides aminés fonctionnalisés.*

- Renseignements :
 - Patrick Metzner, tél. : 31.45.28.85. E.mail : metzner@unicaen.fr
 - Marie-Claire Lasne, tél. : 31.45.28.92. E.mail : lasne@unicaen.fr

SECTION Normandie (Haute)

JOURNÉE DE CONFÉRENCES

Rouen, 24 mai 1996

Cette Journée de conférences est intitulée : *Repères organiques 1996*. Elle est organisée de 8 h 30 à 18 h, dans l'amphithéâtre Langevin à la faculté des sciences de Rouen (76821 Mont-Saint-Aignan Cedex).

- 9 h, ouverture officielle.
- 9 h 30, Léon Ghosez (université Louvain-La-Neuve, Belgique).
- 11 h, Stuart Warren (université de Cambridge, GB).
- 14 h, Jean Normant (université Paris VI).
- 15 h, Eckerhard Winterfeldt (université de Hanovre, Allemagne).
- 16 h 30, Gilbert Stork (université de Columbia, New York, États-Unis).
- 17 h 30, clôture et cocktail.
- Inscriptions avant le 1er mai 1996. Frais de participation réduits pour les adhérents à la SFC, les universitaires et les étudiants.

- Renseignements : Gérard Plé, Université de Rouen, URA D0464 CNRS, IRCOF, 76821 Mont-Saint-Aignan Cedex. Tél. : 35.14.66.59. Fax : 35.14.66.70.

Groupe Français de Thermodynamique et Diagrammes de Phases

- 22e JEEP, Toulon, 15-16 avril 1996
- Renseignements : J. Musso, P. Satre, A. Sébaoun. Tél. : 94.14.25.33/24.94/23.05. Fax : 94.14.23.42/21.68.

SECTION Provence - Alpes - Côtes d'Azur

9e JOURNÉE DE LA CHIMIE

- Nice-Sophia Antipolis, 22 mars 1996
- Pour cette Journée de la section Provence-Alpes-Côte d'Azur sont prévus les conférenciers suivants :
 - Marc Julia (ENS, Paris) : *Carbanions α -hétérosubstitués comme réactifs électrophiles en chimie organique.*
 - Roger Guillard (université de Bourgogne, Dijon) : *Synthèse de séquestrants tétraaza-macrocycliques d'actinides et de lanthanides.*
 - Pierre Gy (ingénieur conseil, Cannes) : *L'échantillonnage : point faible de la chaîne analytique.*
 - M. Roubin (université de Toulon et du Var) : *Élaboration de matériaux inorganiques par des procédés de chimie douce.*
- Sont prévues également au cours de cette réunion des communications orales et des communications par affiches.

- Renseignements : Robert Guglielmetti, Faculté des sciences, Chimie organique et bio-organique, case 901, 163, avenue de Luminy, 13288 Marseille Cedex 9. Tél. : 91.26.90.00. Fax : 91.26.91.45.

Conférences dans le cadre de la SFC

- Ces conférences auront lieu à l'ENSCP à 17 h 30 (11, rue P. et M. Curie, 75005 Paris) :
 - le 27 mars 1996, Jean Lignières (L'Air Liquide) : *La modélisation moléculaire, un nouvel outil pour l'expérimentateur. Application à l'étude de la séparation N_2/O_2 sur adsorbant zéolithique.*
 - le 16 avril 1996, Daniel Mansuy (Paris V) : *Apport de la chimie en biologie.*
 - le 14 mai 1996 :
 - Jean-Claude Dubois (Thomson-CSF) : *Matériaux organiques pour l'électronique.*
 - Bernard Sillion (CNRS) : *Application des polymères organiques résistant à la chaleur*

- Renseignements : Jacques Fraissard, université P. et M. Curie, Boîte courrier 196, 75252 Paris Cedex 05. Tél. : (1) 44.27.55.29. Fax : (1) 44.27.55.36. E. mail : jfr@ccr.jussieu.fr

Nouvelles d'ailleurs

UNION DES INDUSTRIES CHIMIQUES

L'INDUSTRIE CHIMIQUE S'ADRESSE A LA RECHERCHE PUBLIQUE

L'UIC vient de réaliser un important dossier, intitulé «Science et technologie pour l'industrie chimique», dans lequel elle présente à la recherche publique plusieurs grands thèmes de recherche correspondant à ses besoins. Elle répond ainsi à un souhait exprimé depuis longtemps par les responsables de cette recherche.

L'aptitude de l'industrie chimique à assurer son développement et à garantir son indépendance est, en effet, conditionnée par le maintien de capacités scientifiques et techniques, au meilleur niveau.

La commission "Innovation-recherche" de l'UIC s'est donc interrogée sur l'adéquation entre les besoins industriels et l'environnement scientifique que lui assurent la recherche publique et les organismes de formation.

Ce travail de réflexion a été partagé par 55 directeurs de recherche et experts industriels, assistés de 13 responsables de laboratoires publics.

Il a été concrétisé par un document général* et quatre documents spécialisés, couvrant les thèmes suivants :

- catalyse,
- formulation,
- génie des procédés,
- interface chimie-biotechnologies.

Les noms des personnalités qui ont participé aux travaux figurent dans le document général et les quatre documents spécialisés.

L'ensemble dresse un inventaire des domaines scientifiques et techniques qui concernent l'industrie chimique, en identifiant ceux qui sont les points clés pour son développement. Il propose des adaptations pour mieux prendre en compte ces besoins et favoriser les retombées pratiques des acquis scientifiques de nos laboratoires publics. Le dossier exprime, également, des recommandations au sujet des formations de chercheurs industriels dans certaines disciplines.

Le dossier "Science et technologie pour l'in-

dustrie chimique" comprend les 5 documents soit un total de 144 pages. Pour l'obtenir, les membres de la SFC peuvent s'adresser à Philippe Potin, Unions des Industries Chimiques, le Diamant A, 92909 Paris La Défense Cedex. Tél. : (1) 46.53.11.00. Fax : (1) 46.53.11.05.

* Le document général sera publié dans le numéro de mars-avril 1996 de L'Actualité Chimique.

COMMISSION EIP

ENSEIGNEMENT, INDUSTRIE, PARTENARIAT

La Commission EIP, émanation nationale du Cefic (Conseil Européen de l'Industrie Chimique), s'est réunie le 26 janvier 1996, à l'Institut de France, sous la présidence de Gilbert Gaillard, vice-président de la Société de Chimie Industrielle, en présence notamment de M. Bottin, doyen du groupe d'Inspection générale de physique et chimie, de M. Monier, représentant le ministère de l'Éducation nationale, et de J.-M. Lefour, ancien président du groupe technique disciplinaire de chimie qui a conçu les nouveaux programmes de chimie des collèges, des lycées et des classes préparatoires.

Quatre sujets y ont été traités :

- 1) L'organisation du prochain Congrès européen EIP.
- 2) Le projet européen de rénovation des musées scientifiques et techniques.
- 3) L'évaluation de l'opération "Chimie la classe".
- 4) La mise en œuvre des nouveaux programmes de chimie dans les classes préparatoires.

I - Le prochain Congrès européen EIP

Ce Congrès, qui fait suite au congrès de Dresde du Cefic, se tiendra à Paris, les 13 et 14 mai 1997. Il rassemblera les 15 groupes EIP des 15 pays de l'Union européenne, auxquelles se joindront des personnalités de l'industrie chimique et de l'Éducation nationale, soit environ 150 participants. L'organisation du congrès est assurée par la Société de Chimie Industrielle. Un comité d'organisation a été constitué autour de M. Mattioda et Mme

Cohen (SCI), et M. Ayroles (UIC) ; il comprend les personnes suivantes : Mme Garcia-Gibot (Elf Atochem), M. Mazard (Rhône-Poulenc), M. Bottin (Inspection générale, ministère de l'Éducation nationale), M. Montel (SFC).

II - Le projet européen de rénovation des musées scientifiques et techniques

Le projet est piloté par le British Museum (Londres), le Deutscher Museum (Munich), la Cité des Sciences et des Techniques (Paris), auxquels se joint le musée de Charleroi (Belgique).

Il s'agit de constituer, dans le cadre d'une fondation européenne, un pool d'objets muséologiques dans lequel pourront puiser l'ensemble des musées européens, en les adaptant éventuellement à leur culture nationale. Une trentaine de maquettes doivent être élaborées, chaque pays en prenant en charge un nombre limité : 3 ou 4 maquettes devraient être élaborées en France.

La chimie de base, la chimie fine et la chimie biologique seront notamment prises en compte.

Ce projet, représentant 3 millions d'Ecu, a reçu l'appui des prix Nobel européens.

Il sera financé essentiellement par les industries chimiques européennes, avec le soutien de la commission de l'Union européenne.

III - L'opération "Chimie la classe"

Tout en poursuivant les 14 actions en cours (dont les Olympiades nationales de la chimie, les Conférences dans les lycées, Graine de chimiste...), l'industrie chimique française porte actuellement son effort sur l'opération "Chimie la classe", qui touche l'enseignement primaire (classes de CM I et CM II).

S'appuyant sur des "kits pédagogiques", comprenant notamment les fiches de travail interactif avec les élèves, et bénéficiant de l'aide des municipalités, cette opération rencontre un succès qui dépasse les espérances. Lancée en Haute Normandie pendant l'année 1994/1995, elle touche les régions Rhône-Alpes, Franche-Comté et Alsace en 1995-1996 (300 000 élèves). Elle aura lieu, ensuite, dans d'autres régions.

Chaque année, un concours est organisé, où sont notamment récompensés les classes

réalisatrices d'affiches sélectionnées destinées à promouvoir l'image de la chimie en France. Les équipes gagnantes bénéficient d'une semaine de "classe transplantée : science, nature et découverte".

IV - La mise en œuvre des nouveaux programmes de chimie dans les classes préparatoires

A l'issue du tronc commun d'enseignement de 3 mois, les élèves des classes PCSI et MPSI ont choisi l'une des filières PC (physique-chimie), MP (mathématiques-physique) ou PSI (physique-sciences de l'ingénieur).

La filière PC rencontre un succès certain puisque les 2/3 des élèves de première année l'ont choisie. En outre, on y trouve les meilleurs élèves. Les raisons de ce succès peuvent se trouver dans l'intérêt des nouveaux programmes de chimie des lycées (que les élèves concernés ont suivi en terminale) et des classes préparatoires PC et dans la qualité de leurs professeurs de physique et de chimie. La décision de l'École polytechnique de recruter près de la moitié de ses promotions, à partir de 1997, dans les filières PC n'y est également pas étrangère.

Il apparaît toutefois des difficultés pour la mise en place de ces filières, la culture des professeurs semblant en général mal adaptée aux nouveaux programmes.

Il convient donc d'engager très rapidement, d'une part, la fourniture aux bibliothèques des lycées d'ouvrages et de publications adaptées, d'autre part des campagnes de formation et d'information pour les professeurs.

Le soutien de l'industrie chimique à cette opération très importante est acquis. La SFC, pour sa part, s'y associe avec force, notamment par le recentrage de *L'Actualité Chimique* et par le lancement de son serveur sur Internet.

L'adéquation entre cette nouvelle orientation des élèves et le nombre d'emplois créés par l'industrie doit être rapidement assurée.

ENSC RENNES

NOMINATION DU DIRECTEUR

Par arrêté du ministre de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, en date du 9 janvier 1996 (publié le 31 janvier), M. Yves Patin, professeur d'université, est nommé directeur de l'École Nationale Supérieure de Chimie de Rennes pour une durée de cinq ans à compter du 1er janvier 1996.

Nous adressons nos vives félicitations et nos souhaits de réussite au nouveau directeur.

CNRS

LETTRES DES SCIENCES CHIMIQUES

Sommaire du n° 55 : novembre-décembre 1995-janvier 1996

- Éditorial de Paul Rigny.
- Séminaires scientifiques :
 - Matériaux hybrides organiques-inorganiques.
 - Triple-hélice d'acides nucléiques.
 - Association et morphologie de nanoparticules. Les colloïdes des microréacteurs intelligents.
 - Fonctionnalisation d'oligopyridines avec des ponts acétyléniques. Vers des films moléculaires présentant un couplage électronique exceptionnellement élevé et un faible facteur d'atténuation.
 - Comment jouer avec un vieux concept tel que l'antiaromaticité ?
 - Apport de la chimie organométallique dans le domaine des immunodosages non isotopiques. Une approche inédite des multi-immunodosages.
 - Des acides aminés prébiotiques aux peptides catalytiques.

MARC CONDAT, NOUVEAU DIRECTEUR SCIENTIFIQUE ADJOINT DU DÉPARTEMENT DES SCIENCES CHIMIQUES

Marc Condat est un chimiste métallurgiste. Ancien élève de l'École Nationale Supérieure de Chimie, il a passé une thèse relative à l'étude des défauts de structure obtenus par trempe dans les alliages ordonnés. Il a effectué son stage post-doctoral au sein du Metal Physics Group du Cavendish Laboratory (Cambridge, GB). Il a fait un séjour dans l'industrie informatique comme chef de projet au sein de la société Digital Design (spécialisée dans le domaine du traitement d'image). Après un parcours au CNRS de stagiaire à DRI, il est maintenant professeur à l'université d'Évry-Val-d'Essonne.

Son activité de recherche a porté sur les matériaux métalliques avec l'étude des mécanismes élémentaires de comportement des dislocations ainsi que leur éventuelle corrélation avec les propriétés plastiques observée à l'échelle macroscopique. Il a notamment étudié des alliages à base de cuivre ainsi que des superalliages à base de nickel utilisés dans l'industrie aéronautique.

Actuellement, ses travaux s'orientent vers

la simulation par ordinateur de la plasticité des matériaux à l'échelle mésoscopique : test de modèles créés pour expliquer les propriétés macroscopiques observées, compréhension des lois empiriques de comportement, étude des phénomènes d'auto-organisation des dislocations.

Source : *Lettre des Sciences Chimiques*, n° 55.

FESTIVAL INTERNATIONAL DU FILM SCIENTIFIQUE

Le film de Dominique Pignon (CNRS) sur les quasi-cristaux s'est vu décerner le Grand Prix du Festival international du film scientifique de Palaiseau.

UNION DES PHYSICIENS

BULLETIN DE L'UNION DES PHYSICIENS

Sommaire du n° 780, janvier 1996.

- Éditorial de J. Jourdain : Physique et chimie au collège toujours d'actualité ! ?
- Articles généraux :
 - Concepts et modèles scientifiques (C.-A. Risset)
 - L'ordre et le désordre dans la matière (Ch. Ruhla)
 - Une vie de ciment (J.-L. Vignes, M. Moranville et J.-P. Bournazel)
 - CDI et Sciences physiques (M.-H. Amselle et A.-M. Hurlin)
 - Travailler en documentation (A. Souriau)
 - Indicateurs colorés acido-basiques (A. Rabier)
 - Fabrication d'un savon (M. Stupfler)
 - Test qualificatif : dureté d'une eau (M. Stupfler)
 - Son et température (J. Theurel)
 - L'effet Doppler en option sciences expérimentales (J.-C. Pivot)
 - Le ciel en 1996 (G. Bazin et P. Simonnet)
 - Olympiades nationales de la chimie 1995
 - 27e Olympiade internationale de chimie (O. Brigaud, F. Charbonnier et T. Leclerc)
 - Vie de l'Association - Informations
 - Activités de l'UdP
 - Universités d'été
 - Paru au BO
 - Informations
 - Table des matières de la 89e année (1995)
 - Sommaires de revues
 - Bibliographie
 - Publications de l'UdP.

IUPAC

VOTRE AVIS SUR DE NOUVEAUX DOCUMENTS

Toute personne souhaitant contribuer à la critique de nouveaux documents dans différents domaines, avant leurs parutions au titre de «Recommandations définitives», peut obtenir une copie des texte intégraux auprès de : Françoise Rouquerol, Centre de Thermodynamique et de Microcalorimétrie, 26, rue du 141e RIA, 13331 Marseille Cedex 3.

• **Électrodes modifiées chimiquement : terminologie et définitions recommandées**/Chemically modified electrodes : recommended terminology and definitions.

Commentaires à adresser avant le 31/05/1996 au : Prof. R.P. Buck, Department of Chemistry, Univ. of North Carolina at Chapel Hill, Venable Hall 045A, Chapel Hill, North Carolina 27599-3290, États-Unis.

• **Nomenclature pour la chromatographie chirale**/Nomenclature for chiral chromatography.

Commentaires à adresser avant le 31/05/1996 au : Dr R.M. Smith, Department of Chemistry, Loughborough University of Technology, Loughborough, Leicestershire, LE11 3TU, Grande-Bretagne.

• **Classification et caractérisation de phase stationnaire pour la chromatographie liquide. 1re Partie. Terminologie descriptive**/Classification and characterization of stationary phase for liquid chromatography. Part I. Descriptive terminology.

Commentaires à adresser avant le 31/05/1996 au Dr R.M. Smith, Département de Chimie, Loughborough University of Technology, Loughborough, Leicestershire, LE11 3TU, Grande-Bretagne.

• **Glossaire des termes utilisés pour la**

conception des médicaments, assistée par ordinateur (recommandations IUPAC 1995)/Glossary of terms used in computational drug design. IUPAC Recommendations 1995.

Commentaires à adresser avant le 31/05/1996 au Dr H. van de Waterbeemd, F. Hoffmann-La Roche Limited, Dept. PRPC 65/314, CH-4002 Bâle, Suisse.

• **Noms et symboles des éléments trans-fermiens (recommandations IUPAC 1994)**/Names and symbols of transfermium elements, IUPAC Recommendations 1994.

Commentaires à adresser avant le 31/05/1996 au Prof. A.M. Sargeson, Research School of Chemistry, Australian National University, Canberra, AGT 0200, Australie.

• **Nomenclature, symboles, unités utilisées pour l'analyse spectrochimique. XVIII : Spectroscopie moléculaire utilisant un laser pour l'analyse chimique - Diffusion Raman (recommandations IUPAC 1995)**/Nomenclature, symbols, units and their usage in spectrochemical analysis. XVIII : Laser-based molecular spectroscopy for chemical analysis-Raman scattering processes - IUPAC Recommendations 1995.

Commentaires à adresser avant le 31/05/1996 au Dr D.S. Moore, Groupe CST-4, MS-J567, Los Alamos National Laboratory,

L'ACTUALITE CHIMIQUE

Los Alamos, New Mexico, 87545, États-Unis.

Sommaire du n° 1 janvier-février 1996

• Editorial : Enseignement. Industrie. Recherche, par G. Montel.

• Recherche

– La recherche française doit être au rendez-vous du troisième millénaire, par J. Joussot-Dubien

– La recherche publique : sa rentabilité :

• La valorisation : une volonté de la recherche publique, par G. Montel

• Comment améliorer la rentabilité de la recherche publique. Réunion du club des Directeurs scientifiques de la SCI. Paris, 20 novembre 1995, compte rendu de Miren Helou

• Sur une expérience de transfert industriel dans le domaine des biomatériaux à usage orthopédique, par G. Bonel

• Au carrefour de la recherche, de l'innovation et de la production. Sitéf 95, le 8e Salon international des technologies du futur, Toulouse, 24-28 octobre 1995

• Vingt ans du SPI (département des Sciences pour l'ingénieur du CNRS) et l'émergence du génie des procédés, par V. Sanchez, H. Brunet, Y. Segui

• Industrie

– Les grandes installations chimiques. Évolution progressive ou sauts technologiques ? par J.-P. Euzen, P. Trambouze

– Une silice de nouvelles génération pour pneumatiques, par Y. Bomal, P. Cochet, B. Dejean, P. Fourré, D. Labarre

• Enseignement

Épreuves sélectionnées des Olympiades nationales de la chimie. Chapitre 3 : Environnement : l'eau, l'air et leurs constitutants

– La sécurité dans les laboratoires. Colloque SFC dans le cadre de Pollutec. Compte rendu de M. David et R. Hamelin.

• La SFC et Internet

– Internet. Pratiques d'accès, par R. Levet, Th. Ortega

• Histoire de la chimie

– Il y a cent ans

• En bref

• Livres

• SFC Info

Tarif préférentiel d'abonnement à L'Actualité Chimique pour les membres de la SFC

Formulaire à renvoyer à la Société Française de Chimie

250, rue St Jacques, 75005 Paris,
Tél. : (33-1) 43 25 20 78,
Fax. : (33-1) 43 25 87 63.

Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____

Je souhaite m'abonner à *L'Actualité Chimique* (n° de sociétaire SFC:.....).

Sociétaires en activité : 526 F. Autres catégories (jeunes, retraités...) : 265 F.

Je souhaite recevoir une facture.

A _____ le _____

Signature

Y a-t-il un salon de l'environnement qui vous en donne plus que Pollutec ?

96

POLLUTEC

Le salon **Pollutec 96** met en relation l'offre et la demande du marché de l'environnement des pollutions industrielles et des collectivités locales. Pollutec 94 a réuni 1 592 sociétés exposantes de 24 pays et a attiré 41 638 visiteurs de 89 pays.



12^e salon international des équipements, des technologies et des services de l'environnement pour l'industrie et les collectivités locales

En association avec :

Ademe



22-25 octobre 1996 - LYON-EUREXPO - France

- Exposant potentiel, je souhaite recevoir un dossier d'inscription.
- Intéressé comme visiteur, je souhaite recevoir toute information utile.

Nom : Prénom :

Société :

Adresse :

Code Postal : Ville : Pays :

Tél : Fax :

P96/57

Merci de retourner ce coupon à :


BLENHEIM
Blenheim - Pollutec
70, rue Rivay
92532 Levallois-Perret cedex
Tél. : 33 (1) 47 56 21 15
Fax : 33 (1) 47 56 21 20