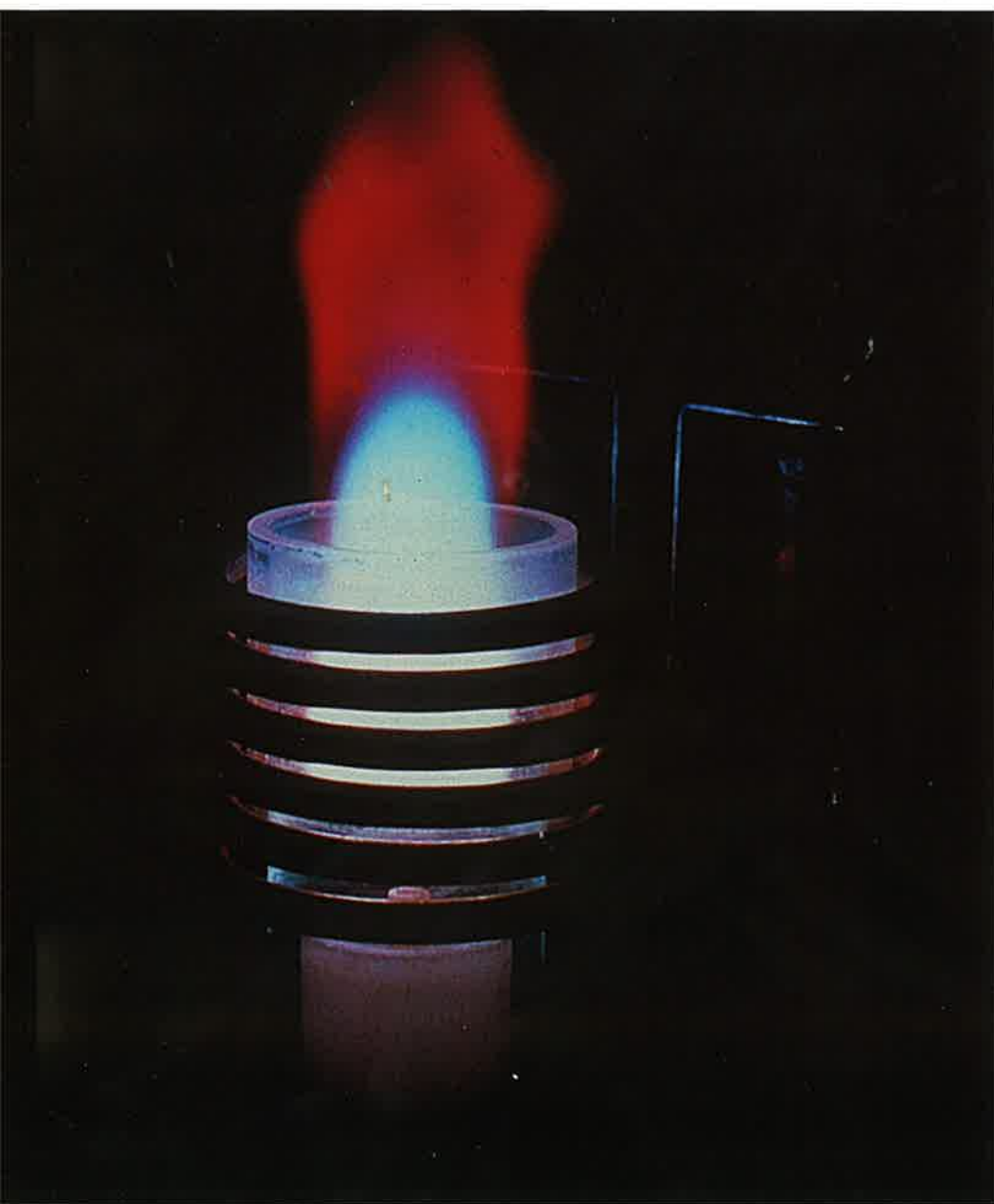


l'actualité chimique

Mai
Juin
1994

N°3

ISSN 01519093



■ Les plasmas
en chimie

■ Industrie
des polymères

DUNOD



S O M M A I R E

ÉDITORIAL	■ M. Julia	3
COURRIER DES LECTEURS	■	4
RECHERCHE	■ Les procédés plasmas et leurs développements industriels, par J. Amouroux	5
	■ Analyse par plasma haute fréquence. Le plasma comme source de photons et d'ions, par J. Robin et C. Tracy	13
	■ En bref	18
INDUSTRIE	■ Quelques considérations sur l'industrie des polymères. Développements et problèmes contemporains, par J.-L. Leblanc	19
	Mise en place d'une politique de sécurité. Principes généraux. Proposition d'une méthodologie, par J.-P. Guenier	25
	■ En bref	32
ENSEIGNEMENT	■ Enseignement, images vidéo, ordinateurs... 10 ans après, par J.-P. Rabine	33
	■ Documentation pédagogique n°3 : polyéthylène basse densité	43
	■ En bref	46
HISTOIRE DE LA CHIMIE	■ Fourcroy, chimiste, homme d'État, créateur du système éducatif français, par R. Luft	47
	■ Notice anecdotique et généalogique sur Antoine Laurent Lavoisier, par A. Delacroix, C. Porte	56
	■ Il y a cent ans	66
NOUVEAUTÉS	■ Appareils	67
	■ Produits et matériaux	68
	■ Protection et sécurité	69
LIVRES	■	70
SFC INFO		I-VIII



Torche plasma pour analyse dans le cas d'un panache d'argon ensemencé au lithium.



L'Actualité Chimique

Revue de la Société Française de Chimie

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

éditée par Dunod.

Rédaction

Rédacteur en Chef

Raymond Hamelin

Rédacteur en chef adjoint

Thérèse Chaudron

Rédacteur

Miren Hélou

Secrétaire de rédaction, coordination, réalisation, mise en page

Evelyne Girard

Coordinateur relations extérieures

Gérard Perreau

Comité de rédaction

G. Balavoine (CNRS, Toulouse)

G. Bram (GHDSO, Orsay)

J. Buendia (Roussel Uclaf)

P. Caro (Cité des Sciences)

A. Chauvel (IFP)

D. Decrooq (IFP)

J.-P. Foulon (Lycée Henri IV)

G. Gaillard (GFGP)

J.-P. Guetté (CNAM)

R. Hamelin (SFC)

J.M. Lefour (Polytechnique)

P. Leprince (IFP)

J.-C. Mendelsohn (Elf Atochem)

G. Montel (INP, Toulouse)

R. Ouliac (Rhône-Poulenc)

G. Ourisson (ULP, Strasbourg)

A. Picot (Prévention des risques

chimiques, Gif-sur-Yvette)

Publication analysée par

Chemical abstracts

indexée dans la base de données

PASCAL.

Édition

DUNOD Editeur

15, rue Gossin

F. 92543 Montrouge Cedex

Tél. : (33-1) 40 92 65 00

Fax : (33-1) 40 92 65 97

Coordination éditoriale et fabrication

I. Margerin et J.-F. Timmel

Maquette

Andréas Streiff

Imprimerie

AGP - 28240 La Loupe

ISSN 0151 9093

Commission paritaire en cours

Publicité

Mercura Press

38, rue du Château des Rentiers

75013 Paris

Tél. : (33-1) 44 24 25 99

Abonnements

Dunod-Abonnements

15, rue Gossin

F - 92543 Montrouge Cedex

Tél. : (33-1) 40 92 65 27

Fax : (33-1) 40 92 65 97

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 600F. Siège social, 17 rue Rémy-Dumoncel, 75014 Paris. P.D.G. : J. Lissarague. Actionnaire: Bordas S.A. (99,8 % des parts). **Direction de la publication:** J. Lissarague.

Tarifs

L'Actualité Chimique
(7 numéros par an)
1994

Particuliers/Institutions

France	950 FF
Export	1100 FF

Etudiants*

France	360 FF
Export	500 FF

* Sur présentation de la carte d'étudiant

Membres de la SFC

Tarif préférentiel

© DUNOD, 1994

Tous droits réservés

Dépôt légal : Juin 1994

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.

Index des annonceurs

CEP	IV ^e couv.
CNRS	p. 17, p. 29
Dunod	II ^e couv.
SFC	III ^e couv.

Au moment de prendre mes fonctions de Président de la Société Française de Chimie, je voudrais tout d'abord remercier les adhérents de la confiance qu'ils m'ont ainsi témoignée. Je voudrais aussi remercier mon prédécesseur J.-B. Donnet pour l'œuvre considérable qu'il a accomplie. Je m'emploierai, dans toute la mesure de mes possibilités, à la poursuivre et à développer la vie de notre Société.

La vie est constituée d'échanges et une revue n'est-elle pas un puissant instrument d'échanges ? *L'Actualité Chimique* a pris un nouvel essor sous l'impulsion de Raymond Hamelin que je remercie ici encore. L'équipe de rédaction est ouverte à toutes les suggestions, voire aux critiques (constructives), et elle en tiendra le plus grand compte. Cette revue met en relation les mondes autrefois séparés de l'enseignement avancé et de la recherche, d'une part, de la production et de la recherche industrielles, d'autre part, et aussi le monde de l'enseignement et de la jeunesse qui conditionne l'avenir des

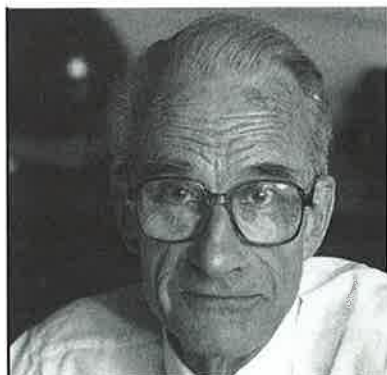
deux premiers. Des progrès considérables dans la connaissance mutuelle ont été accomplis depuis quelques années et *L'Actualité Chimique* y a beaucoup contribué. Continuons dans cette voie ; cela sera bien sûr bénéfique pour tous.

Des échanges essentiels ont lieu aussi avec les communautés homologues des autres pays et, en premier lieu, avec celles de la Communauté européenne. Votre (notre) revue est aussi un précieux instrument de communication avec ces pays. Sans prétention, mais sans complexes, nous voulons être des partenaires sérieux et

crédibles. Ici encore, toutes les parties concernées ne peuvent que bénéficier de l'intensification des échanges.

Un observateur examinant depuis une autre planète la vie du monde chimique français serait certainement frappé par l'intensité des événements, par le nombre d'initiatives, de colloques, de réunions, de visites, de journées, de groupes, etc. Tout ceci est bien sûr très positif ; peut-être l'intensification des échanges d'information entre les différents acteurs augmenterait-elle le rendement des diverses opérations.

Échange d'information enfin entre le monde de la jeunesse et celui des emplois. Aucun effort ne doit être épargné, dans ces temps très difficiles, pour aider au passage d'une mauvaise période qui, heureusement, devra forcément déboucher sur un état meilleur.



Je joindrai donc mes vœux à ceux que J.-B. Donnet formulait dans l'éditorial de début d'année. Tous ensemble nous y arriverons. Je sais que je peux compter sur les compétences et le sens de la solidarité de tous.

Marc Julia
Président de la SFC

“Une revue n'est-elle pas un puissant instrument d'échange ?”

Documentation pédagogique

L'article consacré à l'acide sulfurique (*L'Actualité Chimique*, 1993, n°6, p. 25), excellent par ailleurs, contient quelques inexactitudes gênantes pour le public enseignant auquel il s'adresse.

On ne dit plus anhydride sulfureux (ique), mais di (tri) oxyde de soufre. V_2O_5 est le pentoxyde de divanadium. Plus gênant : on ne peut pas prendre le logarithme d'une constante K_p dimensionnée.

Maurice Bernard
Caen

L'article sur l'acide sulfurique paru dans le numéro de décembre 1993 de *L'Actualité Chimique* est très intéressant pour les enseignants. Il comporte néanmoins une bizarrerie (sur le plan pédagogique), l'expression de la constante d'équilibre de formation SO_3 utilisant les pascals.



En essayant d'effectuer la conversion en bars, j'arrive à une valeur très différente de celle que j'utilise habituellement. N'y a-t-il pas une erreur de transcription, la formule numérique indiquée étant relative à K_p en bars^{-1/2} (ou sans dimension si les pressions sont rapportées à la pression standard de 1 bar ce qui, numériquement, revient au même) ?

Patrice Gadelle
Grenoble

Nous prenons acte de l'erreur que nous avons faite en ne modifiant pas la nomenclature des composés utili-

sés dans la fiche H2SO4, il faut effectivement écrire :

SO_2 : dioxyde de soufre,

SO_3 : trioxyde de soufre,

V_2O_5 : pentaoxyde de divanadium.

En ce qui concerne la constante de l'équilibre du procédé de contact, nos correspondants ont tout à fait raison. Il fallait écrire, bien entendu :

$$K_p = p_{SO_3} / p_{SO_2} \cdot p_{O_2}^{1/2}$$

avec des pressions exprimées en bars et non en pascals.

L'expression numérique de la constante d'équilibre était en \log_{10} et non en \ln .

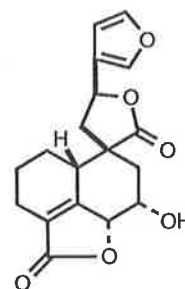
$$\text{Donc : } \log K_p = 11373/T - 10,75$$

La rédaction de *L'Actualité Chimique* présente ses excuses pour n'avoir pas relu avec suffisamment de soin le texte initial des *Techniques de l'Ingénieur*.

J.-P. Foulon

Erratum

Dans la chronique chimiophile de décembre 1993 (*L'Actualité Chimique*, 1993, n° 6, p. 49), une illustration a disparu lors de l'impression. Il s'agit de la structure de la teucrine A :



Nous présentons nos excuses à nos lecteurs et à Guy Ourisson, auteur de la chronique.

R. Hamelin

Traitement des déchets de laboratoire

Lyon, vendredi 21 octobre 1994

Cette demi-journée est organisée par *L'Actualité Chimique* dans le cadre du salon **Pollutec** (Lyon, 18-21 octobre 1994).

Thèmes retenus :

- Aspects réglementaires
- Problèmes techniques posés par le stockage des déchets et par leur élimination
- Solutions proposées
- Témoignages

Renseignements : G. Perreau, Société Française de Chimie, 250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris.
Tél. : (1) 43.25.20.78. Fax : (1) 43.25.87.63.

Les procédés plasmas et leurs développements industriels

Jacques Amouroux* professeur, directeur de laboratoire

Au cours des dix dernières années, un effort technique industriel important a été entrepris pour faire émerger des réacteurs plasmas instrumentés, disposant d'outils de diagnostic en ligne et qui permettent d'envisager l'automatisation de ces nouvelles technologies. Ainsi, au niveau français, peut-on citer les secteurs concernés : l'élaboration des composants microélectroniques, l'industries électriques (EdF, Merlin Gérin, Jeumont Schneider, CFEI), la métallurgie fine (Irsid, Usinor, Peugeot, SFPO, PSA...), les traitements de surface et des dépôts (Nitruvide, Bolloré Technologies, Saint Gobain, R-P Film, SNMI...), la chimie de l'environnement (R-P, Spie-Batignoles, secteur hospitalier, Shell, Total, Elf...), l'industries spatiale (Aérospatiale, SEP, Dassault, Cnes, ESA) et enfin la microélectronique (Cnet, IBM France, Alcatel, Matra, Bull...), etc.

Pour illustrer les acquis (figure 1) et les développements en cours, rappelons tout d'abord les propriétés essentielles des plasmas qui conduisent à ces nouveaux développements.

Le couple «ion-électron» produit dans une décharge électrique modifie la conductibilité électrique du milieu gazeux. Le flux d'électrons, responsable des mécanismes d'excitation, dépend des propriétés de la source électrique choisie : arc électrique à courant continu ou alternatif, source haute fréquence 13,56 MHz ou 2 à 4 MHz, source de décharge type couronne haute tension (70 kHz - 10 à 100 kV), source microonde (2,4 GHz), source laser ; or, tous ces dispositifs n'ont en commun que le fait de produire une rupture des molécules présentes dans le gaz plasmagène, mais les propriétés des couples ion-électron diffèrent pour chaque source et le transport de l'énergie varie de quelques watts à quelques mégawatts.

Ainsi la source énergétique apparaît-elle comme le composant majeur du réacteur plasma puisqu'elle dicte sa «loi» aux propriétés futures du gaz plasmagène (figure 2), c'est-à-dire ce qu'il est convenu d'appeler le «plasma» (tableau I).

Dès lors il est possible de caractériser le plasma en termes de propriétés macroscopiques : viscosité, conductibilités électrique et thermique, densité électronique, densité énergétique, température à l'équilibre. Cependant, ces propriétés de transport doivent être complétées par les propriétés microscopiques responsables de la réactivité chimique, c'est-à-dire les propriétés acide-base, les propriétés rédox et les propriétés radicalaires. Ces milieux sont marqués par les discontinuités importantes de propriétés liées aux forts gradients et aux mécanismes de dissociation et ionisation des molécules. Ainsi, peut-on citer la discontinuité de conductibilité thermique entre la zone riche en espèces moléculaires dissociées et celles correspondant à la zone de recombinaison. Par ailleurs, le transfert d'énergie électron-molécule conduit à une chimie hors équilibre marquée par l'écart entre la température de vibration, de rotation, de translation et la température électronique du milieu. A basse pression, la forte température de vibration explique à partir des lois de Polanyi (prix Nobel 1986) (cf encadré) la très forte réactivité de ces mélanges gazeux, sans oublier que les effets de

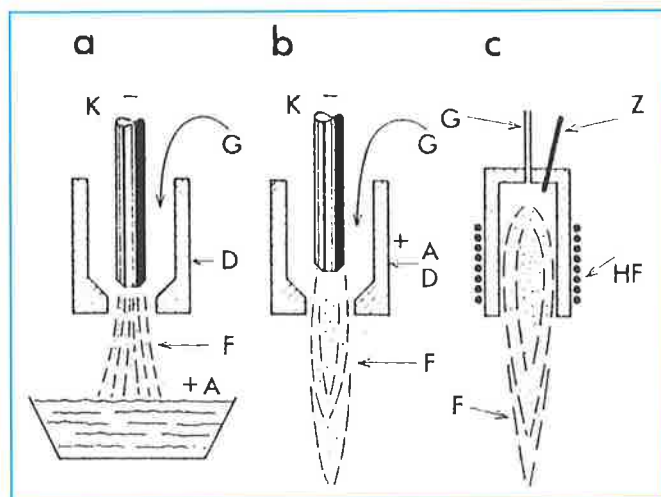
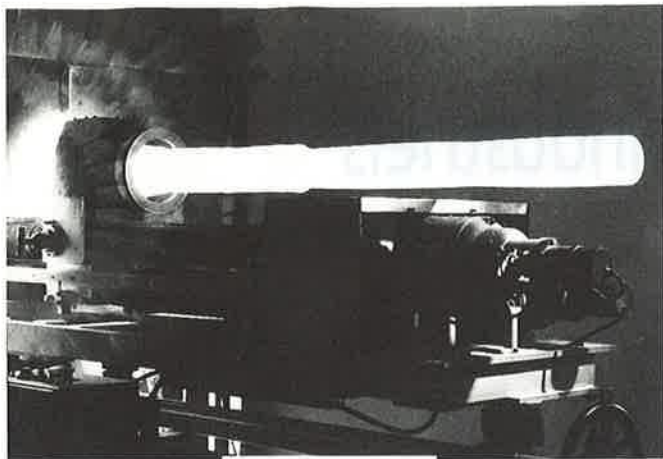


Figure 1 - Schéma de principe de 3 torches plasmas thermiques.
a - Arc transféré, b - Arc soufflé, c - Torche inductive.

K : cathode, A : anode, F : jet plasma, G : injection du gaz, D : tuyère de constriction.

* ENSCP, Laboratoire du génie des procédés plasmas, 11, rue Pierre et Marie Curie, 75231 PARIS Cedex 05. Tél. : (1) 44 .27.67.18. Fax : (1) 43.26.58.13.



Élaboration de silicium ultrapur (quelques ppb) par dépôt de SiO₂ sous plasma/H₂-SiHCl₃.

polarisation des orbitales sous l'action conjuguée des champs électrique et magnétique renforce leurs propriétés réactionnelles. Enfin, les états électroniques excités produits à partir de l'état fondamental présentent une chimie distincte, spécifique de chaque configuration et auxquels il conviendrait d'affecter les propriétés réactionnelles souvent très distinctes de l'état fondamental. Ces faits justifient, à titre anecdotique, qu'un milieu aussi « dilué » qu'un gaz plasmagène à 10 Pa puisse, avec des mélanges tels que CF₄ + 20 % O₂ ou SF₆ + 30 % O₂, permettre des vitesses de gravure du silicium à 100 Å/s, c'est-à-dire comparables, voire supérieures à celles d'un milieu fluoronitrique liquide très concentré (10 N).

Ainsi, les applications industrielles visées vont-elles tour à tour privilégier les propriétés chimiques ou les propriétés de transport dans le but d'adapter l'outil aux domaines techniques, allant de la chimie très spécifique des espèces excitées à la thermique haute température et sous flux de haute densité.

Analyse des propriétés des plasmas thermiques appliqués à la métallurgie et à l'élaboration de matériaux ultrapurs

Les propriétés énergétiques de la torche plasma de puissance sont indépendantes de la chimie du gaz et caractérisées

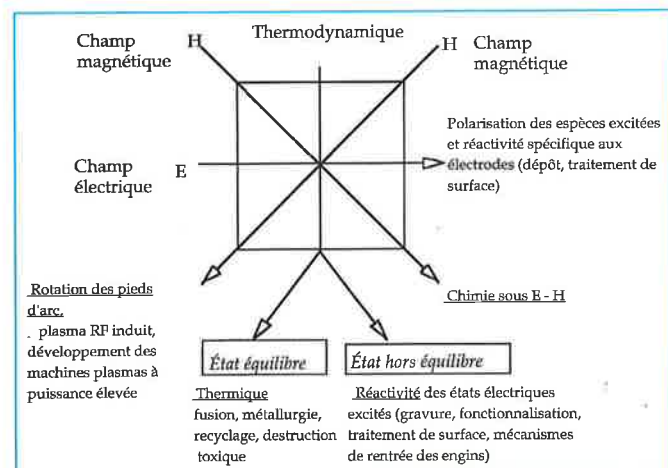


Figure 2 - Rôle des variables d'action sur les propriétés d'un plasma.

Loi de Polanyi (Nobel 1986)

L'œuvre de Polanyi réside dans l'identification du rôle respectif de l'énergie de vibration et de la rotation lors d'une réaction chimique entre une espèce moléculaire AB et un atome C.

La réaction $AB + C \leftrightarrow A + BC$ présente deux possibilités d'évolution enthalpique :

1) $\Delta H < 0$ réaction exothermique

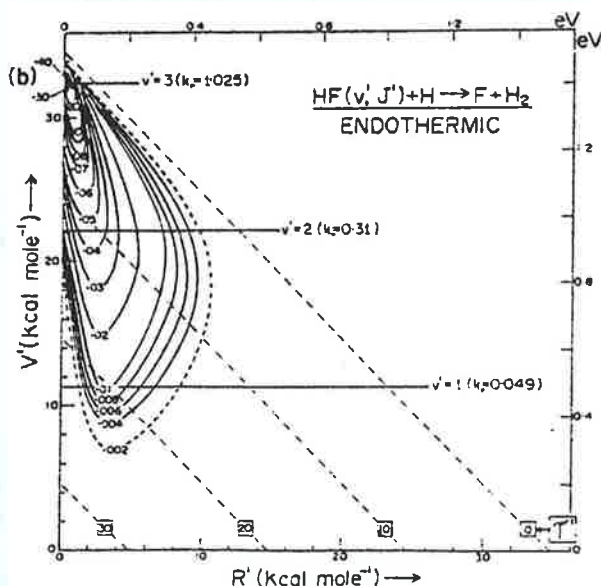
La réaction est contrôlée par l'état rotationnel/translationnel des espèces (AB) et les produits moléculaires (BC) sont excités vibrationnellement.

2) $\Delta H > 0$ réaction endothermique

La réaction est contrôlée par l'état vibrationnel de l'espèce AB et les produits fournis (BC) sont excités rotationnellement/translationnellement.

Il faut souligner que cette analyse très précise s'applique au réacteur plasma hors équilibre et permet ainsi d'accéder à la connaissance des étapes élémentaires à partir du moment où l'état vibrationnel/rotationnel est mesurable par spectroscopie.

Ajoutons que ces lois soulignent la *non additivité des énergies* en matière cinétique puisque pour une même énergie globale (vib + rot + trans) sa distribution entre vibration ou rotation peut faire varier la *cinétique* des réactions dans un rapport 1 à 10³.



Évolution des isoviscosités pour un système réactionnel hors équilibre rôle de la température de vibration sur le système HF + H → F + H₂ [Polanyi].

par sa densité d'énergie, sa conductibilité thermique, sa viscosité et sa température (figures 3 et 4). A 10 000 K, ce milieu s'apparente à de « l'eau » en terme de viscosité, la conductibilité thermique s'approche de celle d'un métal et la densité d'énergie est de l'ordre de 30 fois celle d'une flamme.

Ces milieux sont donc bien adaptés pour développer une métallurgie fine de haute puissance (ferromanganèse SFPO), une métallurgie de haute pureté (10⁻⁶ g/g) dans le cas du silicium photovoltaïque), ou une élaboration de matériau de très haute pureté (10⁻⁹g/g) dans le cas de la production industrielle de fibres optiques (CIT-Alcatel) par dépôt de SiO₂ à partir du mélange SiCl₄+ O₂.

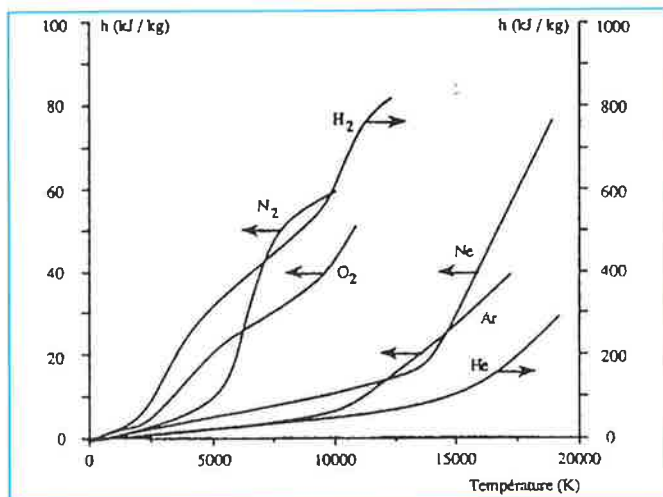


Figure 3 - Enthalpie contenue dans les gaz en fonction de la température à P = 1 atm.

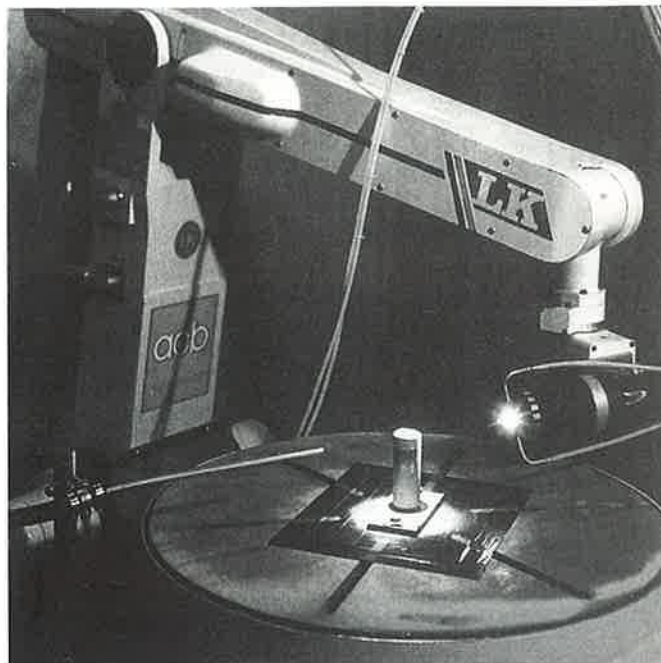
Analyse des propriétés des plasmas thermiques appliquées à la chimie et à la destruction de molécules toxiques

Les propriétés chimiques de la torche plasma dépendent de son aptitude à produire des flux radicalaires à fortes concentrations tout en respectant une température compatible avec la chimie des molécules à traiter. Cette situation est à souligner tant dans le cas de l'hydrolyse d'une coupe d'hydrocarbures que dans le cas de la destruction d'une molécule organochlorée. Pour permettre une prédiction des conditions opératoires, l'emploi des techniques de calcul des équilibres chimiques complexes (figure 5) permet de définir les domaines de prédominance des espèces recherchées en fonction des paramètres : pression, température, composition, sans préjuger des cinétiques, des mécanismes réactionnels mis en jeu dans le réacteur plasma. La chimie des équilibres chimiques complexes nous rappelle les domaines de prédominance des molécules recherchées indépendamment des cinétiques nécessaires pour les atteindre.

Les flux plasmagènes à partir d'hydrogène, d'azote, d'oxygène permettent d'atteindre des flux atomiques ou radicalaires extrêmement élevés (quelque 10-50 % dans le jet

Tableau I - Propriétés des gaz plasmagènes.

Pureté	10 ⁻² à 10 ⁻⁶ g/g selon la pureté du gaz plasmagène
État énergétique	Système à l'équilibre thermodynamique local : T # 10 000 K, Q= 1000 - 2000 kJ/mol Système hors équilibre thermodynamique T _{vib} = 3000 - 4000 K, T _{rot} = T _{Trans} = 300 - 1000 K, T _e = (1 à 10 eV)
Propriétés acido-basiques	10 à 100 fois les systèmes acido-basiques liquides
Propriétés oxydoréductrices	10 fois les couples rédox à l'état liquide
Concentration radicalaire	10 ⁴ à 10 ⁶ fois un milieu classique



Plasma d'arc de revêtement de céramique appliqué au secteur automobile (soutape) (société SNMI).

plasma), encore faut-il par hypertrempe (figure 6) du mélange en lit fluidisé (10⁶ K/s) garder l'essentiel de ces espèces pour aboutir à une réactivité très élevée et très différente des systèmes réactionnels thermiques traditionnels.

Cette technique apparaît adaptée au traitement continu de molécules dans des réacteurs à haut rendement industriel. Ainsi, la destruction des substances toxiques testées sur site industriel (R-P Pont-de-Claix), ou en milieu hospitalier à Lyon (Assistance Publique, Lyon) atteint les 99,9999 % des molécules introduites.

Plasmas réactionnels et thermiques/ simulation des conditions de rentrée

La simulation des conditions de rentrée des véhicules spatiaux, la mise au point des tuyères de propulsion et le choix des matériaux de protection thermique exigent de disposer de sources plasmas capables d'explorer les différentes atmosphères de travail allant des milieux basse pression (quelques 10²-10³ Pa) dans l'air ou dans les atmosphères des planètes du système solaire. Les plasmas thermiques basse pression permettent d'accéder à la double connaissance du transfert d'énergie et du vieillissement des matériaux sous atmosphère réactive (dépôt, dégradation, oxydation...). Il s'agit là d'un secteur d'importance dans la mise au point de matériaux en milieux extrêmes dont la pureté est parfaitement maîtrisée.

Plasmas réactionnels et dépôts. Élaboration de couches et de matériaux complexes

La thermique, la chimie et l'écoulement définissent l'élaboration d'un dépôt, qu'il s'agisse d'un matériau projeté, déposé par PCVD (plasma chemical vapor deposition : dépôt chimique

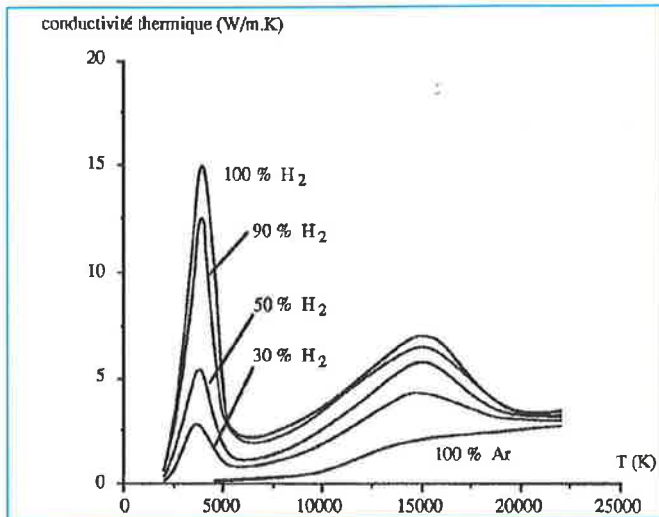


Figure 4 - Évolution de la conductibilité thermique d'un mélange argon-hydrogène en fonction de la température à P = 1 atm.

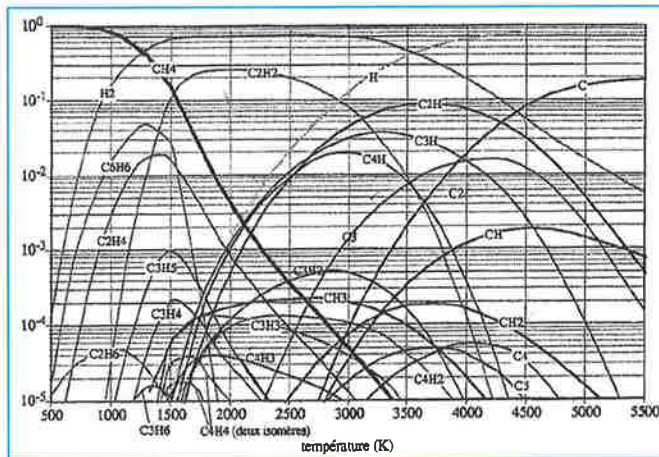


Figure 5 - Équilibre chimique complexe du système CH₄ à pression atmosphérique.

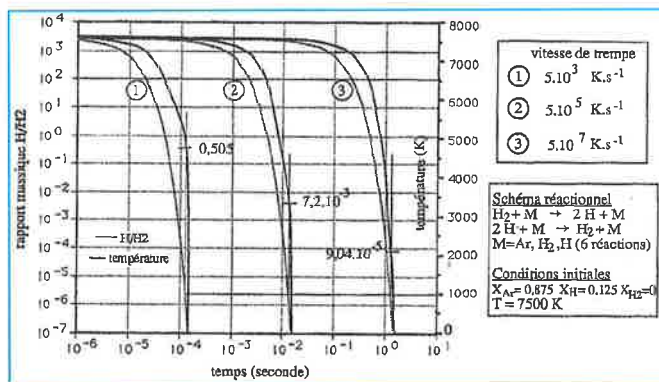


Figure 6 - Rôle de la vitesse de trempe sur la fraction molaire des radicaux H à

activé par plasma) ou élaboré par diffusion dans la couche de surface de la matrice traitée. Or, le plasma dispose de propriétés chimiques (ions espèces excitées, radicaux, clusters) et de propriétés d'écoulement (matériaux en point d'arrêt, matériaux polarisés électriquement, matériaux sous champ magnétique, matériaux refroidis...) adaptées à la conception d'un procédé industriel automatisable pour un dépôt à propriétés choisies. Ainsi, peut-on citer l'élaboration de couches dures (type diamant), de couches de diffusion type TiN_y, FeN_x, carbures, borures, de couches déposées type Al₂O₃ projection hydroxy-

apatique, WC, TiC..., des couches transparentes SiON, SiH_x, SiO₂..., de couches dopées Si de type p, Si de type n... Il s'agit là d'un des secteurs industriels les plus importants tant en innovation qu'en développement industriel et en valeur ajoutée. Il représente l'avantage de travailler en atmosphère contrôlée et, de ce fait, évite les problèmes de pollution des techniques traditionnelles voie humide.

Plasmas réactionnels de «fonctionnalisation» de surface

Sous cette appellation, il s'agit, en fait, d'engendrer un fluide chimique par excitation plasma dont la réactivité est spécifique du traitement de surface recherché. Ces plasmas hors équilibre, appelés souvent «plasmas froids», sont caractérisés par une forte température vibrationnelle (2 000-4 000 K) et une faible température translationnelle (300-400 K). La chimie produite par excitation par impact électronique direct conduit, sous champ électrique intense, à un traitement du matériau en situation anodique ou cathodique. Les applications visées sont :

- le traitement continu des fibres et textiles industriels pour une fonctionnalisation, un décapage de surface...
- le traitement continu des plaquette de silicium (400 μm) en microélectronique pour le décapage, nettoyage, gravure...

Tous ces traitements ont lieu dans des systèmes de plasmas hors équilibre à basse température (300 K) afin d'éviter la dégradation du matériau par impact thermique, la chimie hors équilibre étant liée essentiellement à des processus de type acide-base aux électrodes.

Plasmas réactionnels type rédox pour traitement de surface

La chimie plasma en milieu ionisé hors équilibre correspond à une technique importante par les procédés de décapage, implantation ionique et durcissement des matériaux. Il n'est jamais possible de définir une chimie totalement ionique sauf à des pressions très faibles (quelques Pa). Dans de telles situations, l'ion produit est accéléré par un dispositif électromagnétique (réacteur type RIE (reactive ion etching : gravure ionique réactive), afin d'accéder à une source spécifique d'espèces (rôle de N₂⁺, rôle de H⁺ SF⁺, F⁺). Cette technique associe dès lors la sélectivité de la polarisation de la cible (polarisation anodique ou cathodique) au traitement recherché (durcissement par nitruration ionique ou gravure ionique du silicium). Ce procédé s'applique également à la restauration d'objets anciens en archéologie afin d'éliminer les couches d'oxydes pour en restaurer les formes.

Chimie de l'ozone et du traitement de l'eau

Pour conclure sur les réacteurs plasmas hors équilibre, il faut citer les ozoneurs qui correspondent à des réacteurs de type décharge haute tension en atmosphère d'oxygène réalisant la synthèse de la molécule O₃. Le jeu réactionnel mis en œuvre ainsi que le rôle des réactions aux parois soulignent la

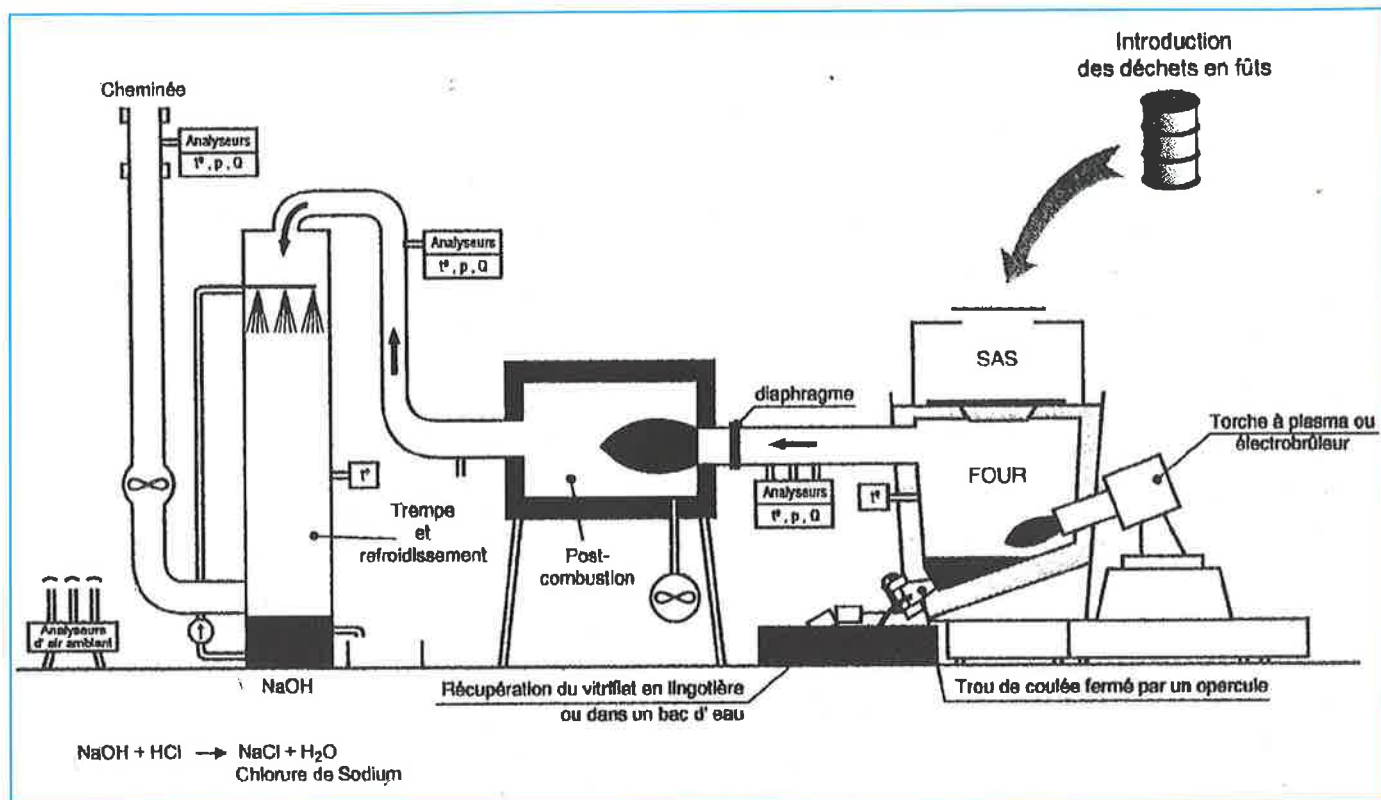


Figure 7 - Ligne de traitement de déchets de EDF Porcheville.

complexité de ces outils qui sont destinés pour l'essentiel au traitement en ligne de l'eau. Il s'agit là d'un plasma hors équilibre dont la propriété essentielle réside dans l'excitation vibrationnelle de la molécule O₂ sous impact électronique.

Conclusion

Les procédés plasmas exploitent tous les degrés de liberté d'excitation accessibles à l'issue de l'impact d'un électron avec une molécule. A la différence des systèmes classiques, il est possible de découpler les propriétés du gaz entre celles qui traduisent le transfert d'énergie dans un système à forte densité d'énergie (plasma thermique) et celles qui traduisent une très haute réactivité chimique (plasma froid ou hors équilibre).

Le savoir-faire de l'ingénieur et du scientifique a consisté à exploiter de façon spécifique les gradients élevés qui caractérisent ces systèmes : gradient de température 10⁶ K/cm, de potentiel 10⁶ V/cm, de viscosité, de quantité de mouvement (figure 7), de conductibilité etc. afin d'aboutir à une sélectivité du traitement désiré. Les réacteurs mis au point prennent en compte le choix de la température de translation, de la température de vibration élevée, de la densité d'électron (température électronique contrôlée), du champ électrique ou du champ magnétique. On obtient dès lors un outil industriel fiable, permettant des cadences de traitement élevées et une grande flexibilité d'emploi (temps de mise en route court).

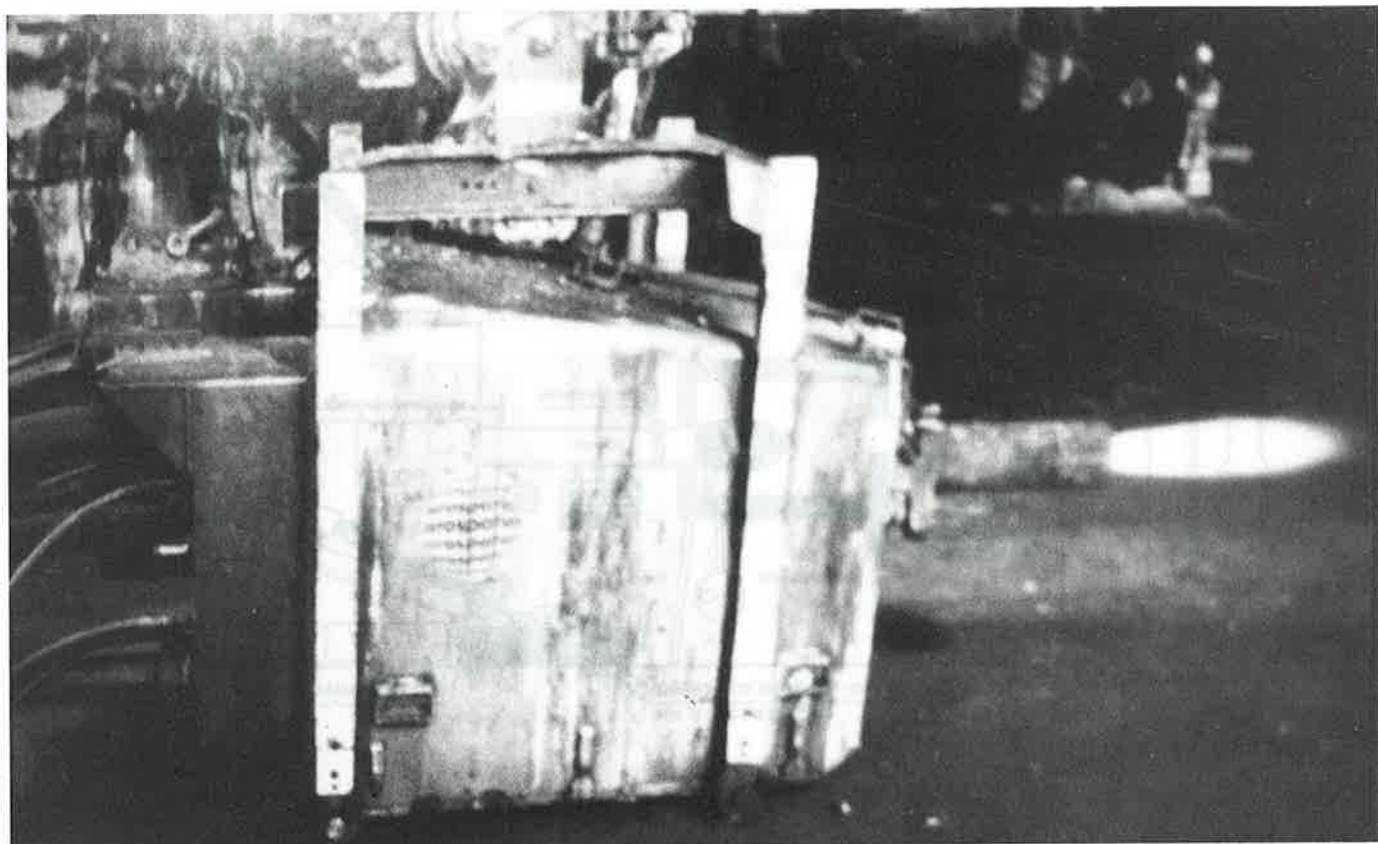
En conclusion, la molécule excitée, avec la chimie qui lui est associée, est créée «in situ», consommée sur les lieux même de sa production dans le but d'élaborer un produit, de modifier un matériau, ou de transformer une molécule. Il n'y a plus de stockage d'espèces à longue durée de vie, dont la

réactivité faible doit être compatible avec leur stockage mais exige une source d'énergie pour les faire réagir.

Cette chimie de l'extrême est le garant d'un meilleur contrôle des polluants et des sous-produits dans la mesure où elle diminue les espèces chimiques inutiles (les diluants) et les sous-produits issus de réactions parasites. Au plan industriel, elle assure la fonction productive sans multiplier les sources chimiques et énergétiques qui sont causes de perte de matière et d'énergie ; au plan de la thermodynamique, elle diminue les pertes «entropiques» en évitant le stockage de fonctions chimiques sur des intermédiaires réactionnels inutiles.

Bibliographie

- Guenard J., Bourdil C., TPP 92, *Journal of High Temperature Chemical Processes*, supplément, 1992, 1, 3, p. 167-181.
- Fauchais P., Boulos M., Pfender E., Physical and thermodynamic properties of thermal plasmas, *Plasma technology in metallurgical processing*, (J. Feinman ed.), Iron and Steel Soc., PA, États-Unis, 1987.
- Nikravec M., Amouroux J., Plasma Fluidized Bed Hydro-cracking Process of Heavy Hydrocarbons, *Proceedings of the ISPC 9 (IUPAC)*, 1989, vol. 2, p. 709-714.
- Morvan D., Humbert P., Madigou N., Amouroux J., Analyse du transfert de matière entre un plasma réactif et le silicium. Étude expérimentale et modélisation, supplément du *Journal de physique*, colloque n°5, European Congress, Plasma Process and Materials behaviour at high temperature, thème III, 1990, p.C 5 253.
- Arefi F., Andre V., Montazer-Rahmati P., Amouroux J., Plasma polymerization and surface treatment of polymers, *Pure & Appl. Chem.*, 1992, 64, 5, p. 715-723.



Unité industrielle de plasma d'arc de 4 MWt installée sur les hauts fourneaux (ferromanganèse) de la société SFPO.

Chambon G., Trassy C., Vardelle M., Vardelle A., Fauchais P., Investigations of WC-Co particles vaporization in a thermal plasma, *J. of High Temperature Chemical Processes*, sept. 1992, suppl. 3, p. 231-239.

Hassouni K., Cavadias S., Utku E., Amouroux J., *Proceeding of the European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, (X-Julia éd.), Pergamon Press, 1992, p.505-510.

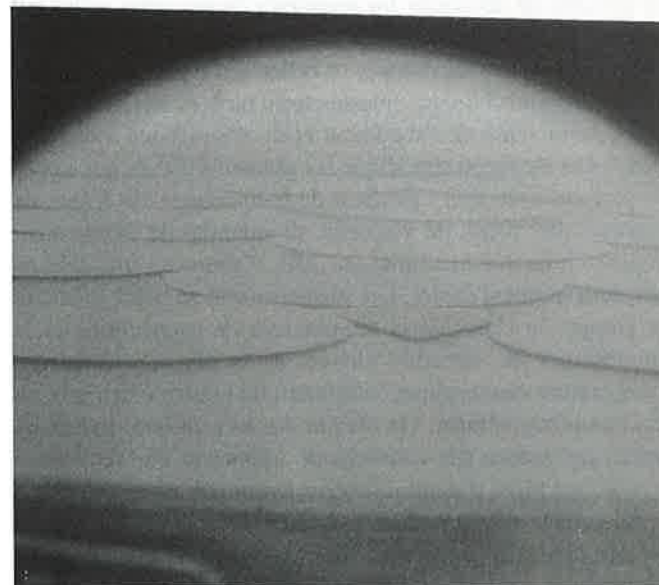
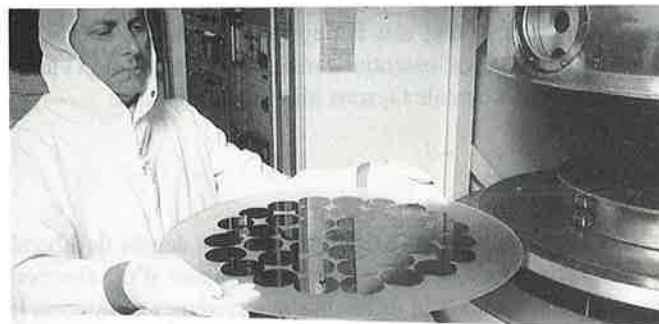
Erin J., Morvan D., Amouroux J., Rôle de l'hydrogène dans le procédé de purification du silicium par plasma thermique inductif, *Journal de Physique III*, 1993, 3, n° 3, p 633, 652.

Polanyi J.C., Tardy D.C., Energy distribution in the exothermic reaction $F + H_2$ the endothermic reaction $HF + H^*$, *J. Chem. Phys.*, 1969, 51, p. 5717.

Gladish H., Hydrocarbon processing, *Petroleum refiner*, 1962, 41, 6, p. 159 - 164.

Comptes rendus des clubs «Haute température», «Effluves électriques» et «traitement de surface» (Électricité de France). Président P. Fauchais.

ARC CNRS Pirsem Plasma et traitement des toxiques et recyclage. Présidents J. Amouroux, P. Fauchais.



Plasma basse pression (100 Pa) appliqué à la nitruration des pignons de boîte de vitesse (procédé Nitruvid).

Les industries citées à titre d'exemples sont loin de représenter toutes les industries concernées et, à ce titre, on notera l'absence de nombreuses PMI et PME, et de nombreux groupes européens.

Annexe 1

**Évolution de la réactivité
en fonction des états électroniques d'une espèce**

Si la chimie conventionnelle en phase gazeuse est pour l'essentiel une chimie des orbitales frontières de l'état fondamental, la chimie des plasmas, à l'inverse, exploite les états électroniques excités responsables par l'essentiel des modifications réactionnelles et cinétiques de ces milieux. A ce point de vue, la chimie laser a exprimé de façon encore plus précise l'aptitude des chimistes à sélectionner un état spécifique afin d'aborder la «chimie» de l'état excité.

La chimie des plasmas n'atteint pas la sélectivité de la chimie sous laser accordé, mais elle peut prétendre à une chimie des états excités, pour peu que l'on puisse contrôler la fonction de distribution des électrons. On peut donc de façon simplifiée souligner deux situations relatives aux espèces excitées :

Cas d'une espèce atomique

Il est important de souligner que les gaz «neutres» Ar, He, employés pour réaliser un plasma présentent une réactivité très importante dès lors qu'ils sont à l'état excité ou ionisé. On soulignera que l'argon excité forme facilement les espèces type Ar-H et l'Argon ionisé Ar^+ forme $Ar-H^+$. L'Argon présente dès lors toutes les propriétés d'un halogène tel que le chlore avec un pouvoir oxydant ou une électronégativité très accentuée : les états métastables de Ar sont formés à partir de 6 eV et l'ionisation de l'atome Ar nécessite 15,6 eV. Il s'agit donc d'un oxydant puissant employé en traitement de surface des polymères et pour le décapage des semiconducteurs qui présente l'avantage de ne pas produire d'effet mémoire avec le substrat (pas d'espèces stables à l'équilibre).

L'hélium fournit une chimie très particulière à l'état excité puisque le système He + graphite + décharge conduit à la formation massive de C_{60} ... les fameuses molécules de type fullerène. Soulignons la spécificité de ces réactions de formation n'apparaît pas avec d'autres gaz dit «neutres».

Cas des espèces moléculaires

Il est aisé, en chimie, d'observer que chaque orbitale moléculaire possède sa propre réactivité chimique. A titre d'exemple, l'oxygène moléculaire dans l'état fondamental $O_2^3\Sigma$ possède une orbitale antiliante π dont les propriétés radicalaires sont dues aux deux électrons non appariés. L'addition radical radical conduit ainsi à la formation de peroxydes et, par dégradation des hydrocarbures ou des polymères, à la formation de groupes carboxyle.

A l'inverse, l'oxygène singulet $O_2^1\Delta_g$ obtenu par excitation de l'oxygène moléculaire présente des propriétés acide-base de Lewis marquées par les propriétés respectives des orbitales homo et lumo. Cette propriété réactionnelle s'exprime par des additions sur les doubles liaisons avec formation de diol.

D'une façon plus générale, l'observation des espèces moléculaires sous champ électrique puissant (10^8 V/m) conduit à en observer la déformation (angle de liaison), la polarisation (moment dipolaire très accentué) et la grande modification des orbitales homo ou lumo. Il s'en suit des propriétés acide-base très fortes, complétées par des réactions de type dipôle-dipôle

qui permettent une chimie sélective aux électrodes (dépôts orientés, piézoélectrique, dépôt diamant, etc.) Cette chimie préfigure la possibilité d'orienter la réactivité des espèces sous l'action conjuguée du champ électrique et du niveau d'excitation électronique des espèces du plasma.

Annexe 2

Production d'acétylène : procédés Hüls

A partir des équilibres chimiques complexes, il est facile de prédire que la plage de formation de l'acétylène est bornée supérieurement vers 2500 K, température au delà de laquelle on voit apparaître C_2H , puis les radicaux C_3H ... dont on peut mesurer la présence à partir des bandes de Swan du radical C_2 . A plus basse température, C_2H_4 et le benzène apparaissent de façon complémentaire (figure 5 p.8).

Dès lors l'acétylène, molécule réservoir d'énergie, apparaît capable d'être produit avec un haut rendement si les conditions suivantes sont remplies par le réacteur :

- température de travail $2000\text{ K} \pm 300\text{ K}$,
- excès d'hydrogène pour éviter les formations de noir de carbone,
- hypertrempe du système réactionnel (10^6 K/S) pour éviter les réactions de décomposition de C_2H_2 ,
- temps de séjour de l'ordre de 200 à 500 ms,
- une légère baisse de la pression (0,5 atm) est favorable au rendement chimique et à la sélectivité.

Industriellement, l'injection de CH_4 dans l'arc en aval de la

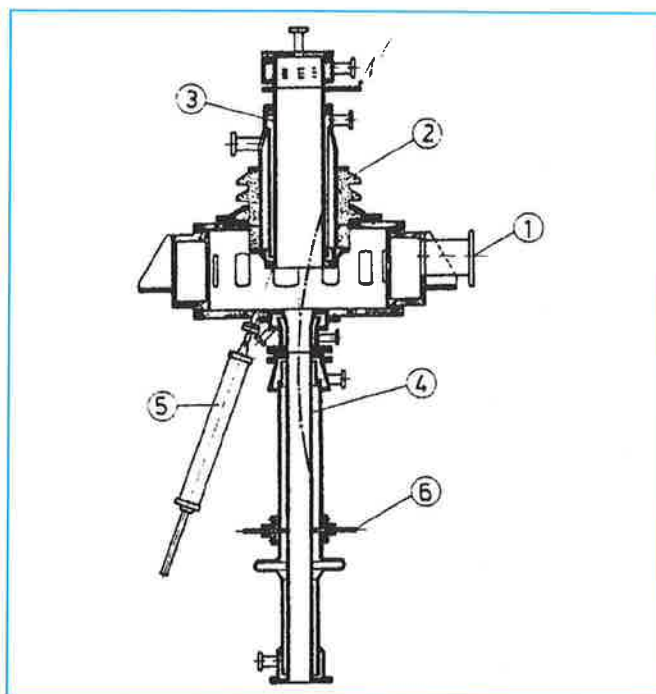


Figure 1 - Procédé Hüls de production industrielle d'acétylène. Puissance installée 140 MW. Nombre d'unités 16. Production C_2H_2 : 12 t/h.
1 : Entrée des gaz. 2 : Isolant. 3 : Cathode. 4 : Réacteur/anode. 5 : Effluveur. 6 : Mélangeur.

cathode est effectué par l'emploi d'une chambre de type vortex dont le mélangeage est assuré par l'action d'un champ électromagnétique qui assure la rotation du pied d'arc. Cette configuration assure un transfert thermique rapide entre le fluide plasmagène (H_2) et le CH_4 . La durée de séjour usuelle est de 100 à 200 ms dans la zone à 2000 K environ. En postréacteur, la trempe est effectuée par injection d'une coupe d'hydrocarbures plus lourds (butane ou gasoil) et la réaction est bloquée par une injection d'eau en aval.

Les produits sont séparés sur colonne de lavage (solvant de C_2H_2) tandis que les hydrocarbures plus légers sont séparés par distillation (C_2H_4 , CH_4 , H_2). Les hydrocarbures lourds et les suies sont séparés par filtration ou lavage.

Le rendement énergétique est de 10 kWh/kg C_2H_2 avec un rendement de conversion qui atteint 90 à 95 % et une sélectivité en C_2H_2 de l'ordre de 8 à 10 selon les gaz de trempe (butane, gasoil...).

Annexe 3

Application des plasmas inductifs à l'élaboration de silicium ultrapur

Le procédé de purification du silicium sous plasma étudié depuis plusieurs années à l'ENSCP (figures 1, 2 et 3) dans le cadre des programmes de l'AFME-ADEME est en cours de développement industriel chez Photowatt avec la participation de la CEE (Joule) - Brevet EdF.

Le principe du procédé repose sur l'action thermique et chimique d'un plasma argon- H_2 - O_2 qui assure simultanément la fusion du silicium et l'extraction des impuretés à l'interface plasma-silicium.

Les phénomènes d'échange de matière et de chaleur à l'interface plasma-silicium sont gouvernés par quelques propriétés particulières de ce système :

- Température du plasma 8000 K,
du silicium 2500 K (en surface).
- Viscosité du plasma \approx viscosité du silicium 2500 K \approx viscosité eau 100 °C.
- Conductibilité thermique du plasma proche de celle du silicium.

En conséquence, les vitesses d'échange de chaleur et de quantité de mouvement à l'interface sont responsables des phénomènes convectifs dans le silicium fondu et atteignent des vitesses entre 0,1 et 1 m/s.

Le second mécanisme de purification repose sur les gradients thermiques (10^3 K/cm) et les gradients réactionnels à la surface du matériau (rôle de H et O dans les processus de purification). Il assure des coefficients de partage entre phase liquide et solide, et phase liquide et gazeuse qui atteignent des valeurs de 10^3 à 10^6 selon la nature des impuretés métalliques (Fe, Al, Ca...) et sont responsables de l'élimination des dopants (B, As, P).

Sur charge de silicium photovoltaïque de 100 kg, la technique assure une amélioration de 20 % des rendements de conversion photovoltaïque des photopiles.

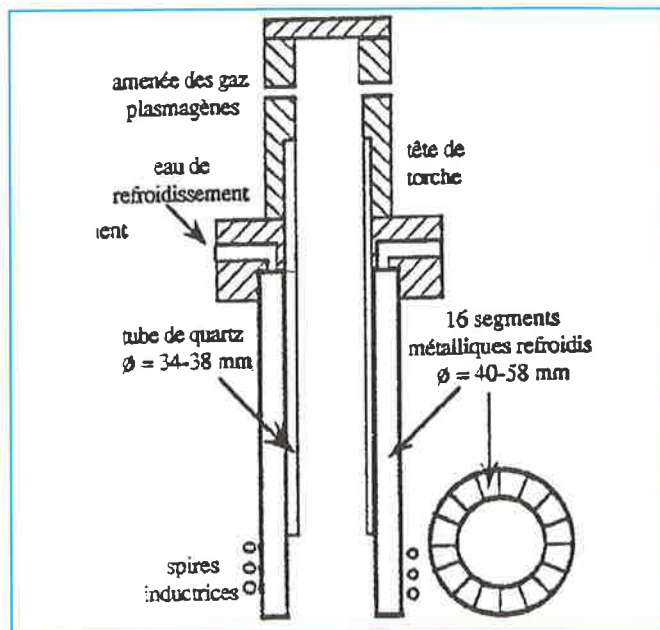


Figure 1 - Torche à plasma RF.

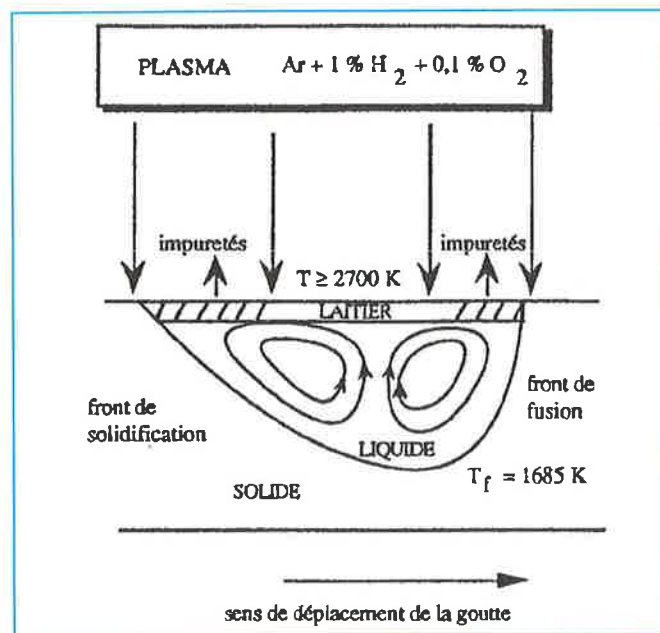


Figure 2 - Mécanisme de purification d'une charge de silicium massif par plasma inductif oxygéné.

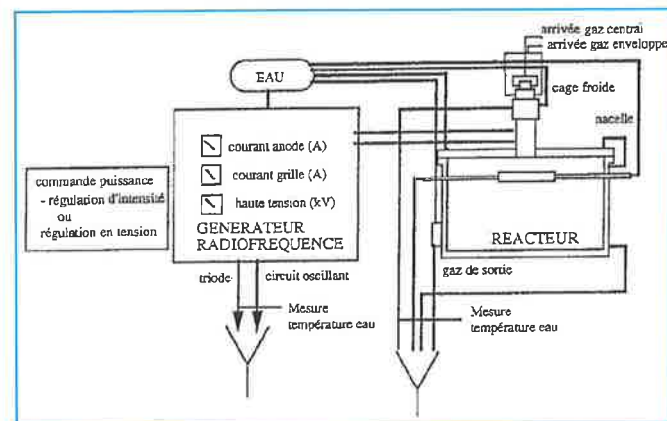


Figure 3 - Présentation de l'installation avec les différents circuits de refroidissement.

Analyse par plasma haute fréquence

Le plasma comme source de photons et d'ions

Jacques Robin* professeur émérite, Christian Trassy* maître de conférence

Les générateurs de plasma induit par haute fréquence (*Inductively coupled Plasma, ICP*) à la pression atmosphérique se sont beaucoup développés depuis près de trente ans et sont utilisés avec profit en analyse élémentaire par spectroscopie d'émission ou par spectrométrie de masses. On peut évaluer à plus de 9 000 dans le monde et près de 500 en France le nombre d'installations vendues depuis l'apparition du premier appareillage commercial en 1975. C'est aujourd'hui une technique que l'on peut considérer comme classique et que plusieurs ouvrages [1-4] ou articles généraux [5-6] ont déjà décrite.

La présente mise au point a pour but de donner un aperçu général de la connaissance de ce type de plasma et de ses applications à l'analyse.

Spectroscopie et sources

La plupart du temps la spectroscopie évoque d'abord, pour un chimiste, un moyen non destructif de caractérisation des liaisons chimiques, donc d'analyse structurale ; éventuellement un moyen d'analyse quantitative fondé sur la mesure de l'intensité ou de l'absorbance d'un rayonnement propre à l'espèce considérée. Il s'agit là de spectroscopie moléculaire.

Si l'on veut faire l'analyse élémentaire d'un échantillon, il faut utiliser une des méthodes de la spectrométrie atomique.

En spectrométrie d'émission optique, on utilise directement les rayonnements visibles ou ultraviolets émis par les atomes excités dans une source spectroscopique dans laquelle on introduit l'échantillon à analyser. Un dispositif spectrométrique d'analyse des rayonnements et de mesure des intensités observées permet de remonter à la concentration de l'élément, à l'état atomique ou ionique, dans le volume observé dans le plasma (*figures 1 et 2*). En spectroscopie (par opposi-

tion à la spectroscopie de rayonnement X où les transitions électroniques concernent les couches profondes), ce sont les électrons des couches externes, ou électrons de valence, qui sont mis en jeu. Le rôle de la source est de créer des atomes libres ou des ions en rompant les liaisons chimiques. Il s'agit donc d'une méthode d'analyse destructive. Si on opérât par absorption, des atomes ou des ions dans l'état fondamental conviendraient. En spectroscopie d'émission, on a besoin d'atomes ou d'ions dans des états excités puisque c'est la désexcitation radiative qui va fournir le rayonnement servant à l'analyse.

En spectroscopie de masses, on observe tous les ions, qu'ils soient à l'état fondamental ou dans un état excité. C'est d'ailleurs cette spécificité de la spectroscopie de masses de prendre en compte la totalité des espèces ioniques qui explique la grande sensibilité obtenue avec une source plasma.

L'excitation et l'ionisation des éléments de l'échantillon sont produites par réaction avec les espèces énergétiques du plasma : électrons, atomes et ions. Le rendement de ce double processus, atomisation et excitation-ionisation, dépend beaucoup de la source et de la reproductibilité de ses conditions de fonctionnement ; l'un des paramètres les plus importants est le temps de séjour de l'échantillon dans le plasma qui conditionne les transferts d'énergie.

Finalement, pour une source donnée, la concentration X_i de l'élément à analyser i dans l'élément de volume dV observé dans la source est proportionnelle à sa concentration C_i dans l'échantillon de départ ; mais le coefficient de proportionnalité peut différer beaucoup d'une source à l'autre.

Du fait des hautes températures mises en jeu, entre 5 000 et

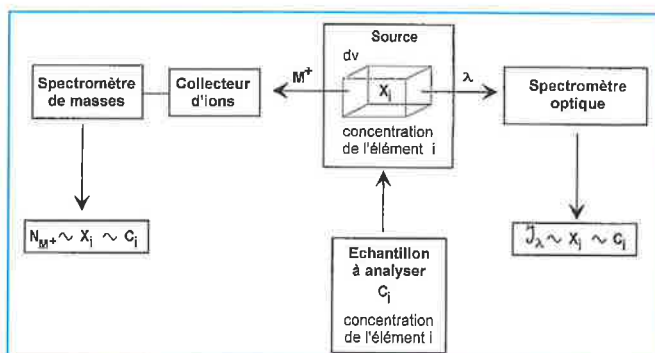


Figure 1 - Principe des analyses quantitatives par plasma (~ : proportionnel à).

* Laboratoire de physico-chimie industrielle, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 20, av. Albert Einstein, 69621 Villeurbanne Cedex. Tél. : 72.43.83.83. Fax : 72.43.85.00.

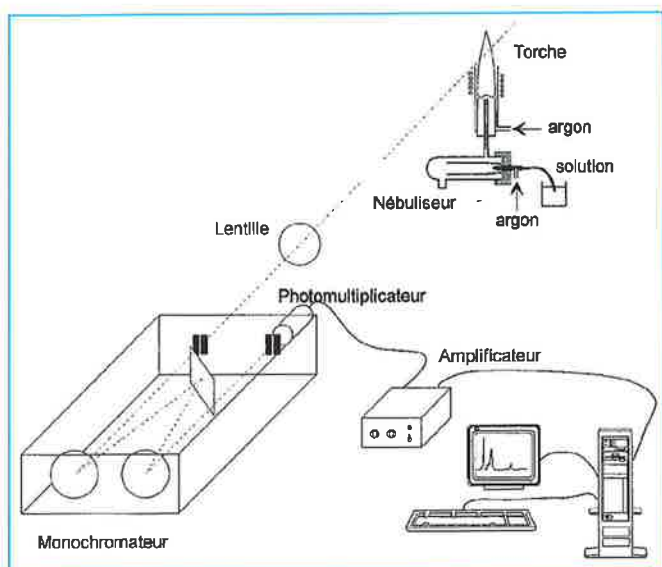


Figure 2 - Schéma de principe d'une installation d'analyse par plasma en spectrométrie d'émission.

9 000 K, le plasma induit par haute fréquence (ou plasma HF) constitue une excellente source à la fois de photons et d'ions. En spectrométrie optique, l'intensité I_λ émise à la longueur d'onde λ est proportionnelle à la concentration X_i .

En spectrométrie de masses (figure 3), un collecteur d'ions pénètre dans le plasma et permet de prélever une partie du gaz ; plusieurs orifices de faible diamètre placés en cascade et plusieurs étages de pompes permettent de passer de la pression atmosphérique du plasma à la pression réduite du spectromètre de masses. L'analyseur de masses le plus répandu est le filtre quadripolaire qui offre une résolution de l'ordre d'une unité de masse atomique. Le signal obtenu en sortie est proportionnel à la concentration d'ion X_i^+ dans le plasma

Le plasma HF

Un plasma est un gaz partiellement ou entièrement ionisé et macroscopiquement neutre ; c'est-à-dire qu'il comporte des charges positives et négatives en nombre égal. En laboratoire, on obtient un plasma, généralement, à partir d'une décharge électrique dans un gaz.

Mais le terme plasma peut recouvrir des réalités très différentes qui vont des réactions thermonucléaires au cœur des étoiles jusqu'aux aurores boréales en passant par les tubes fluorescents d'éclairage. Les paramètres physiques essentiels, d'ailleurs couplés entre eux, qui permettent de différencier les plasmas sont la pression et la densité énergétique (ou la température). Les plasmas thermiques, tels que ceux utilisés en analyse, sont des plasmas fonctionnant à la pression atmosphérique (ou à son voisinage) et dans lesquels on peut définir une température de l'ordre de 5 000 à 25 000 K suivant le type de source et la localisation dans la source. Il existe, en gros, trois principes de production : les arcs (transférés ou soufflés), les générateurs inductifs et les générateurs à couplage capacitif. Les puissances mises en jeu peuvent s'échelonner de quelques centaines de watts à plusieurs mégawatts.

En analyse, ce sont les générateurs inductifs de plasma d'argon d'une puissance de 1 à 2,5 kW et fonctionnant à 27 ou 40 MHz qui se sont imposés pour plusieurs raisons.

La raison du choix du mode inductif est l'absence de pollution par les électrodes : une bobine où circule le courant HF entoure un tube de silice parcouru par le gaz à ioniser. On peut ainsi obtenir un milieu de grande pureté, essentiel dans toute analyse de trace ou d'ultratrace.

Le choix de la fréquence résulte d'un compromis entre plusieurs exigences. Les fréquences élevées favorisent le confinement des échantillons dans l'axe du plasma et diminuent le fond continu d'émission du plasma qui peut être perturbateur pour l'observation optique. Par contre, plus la fréquence augmente, plus la technologie des générateurs peut se révéler délicate et coûteuse.

Le choix de l'argon en tant que gaz plasmagène est d'abord dû au fait qu'il est le moins cher des gaz facilement ionisables : l'existence de niveaux métastables en facilite l'ionisation. L'air a été utilisé mais au prix d'un surcoût pour le générateur et d'une perte sur les performances analytiques ; par contre, l'éventuel problème de l'approvisionnement en gaz se trouve résolu.

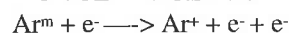
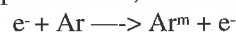
Le plasma est confiné dans une torche en verre de silice. Le rôle de cette torche est double : isoler le plasma de l'inducteur et assurer une distribution laminaire des gaz (figure 2).

Les flux laminaires sont indispensables pour éviter la dispersion de l'échantillon dans le volume du plasma et, donc, pour conserver une densité locale d'échantillon la plus élevée possible pour une même concentration initiale.

On utilise deux flux de gaz principaux : le flux d'alimentation destiné à la formation du plasma et le flux d'injection qui sert au transport de l'aérosol et l'introduit dans la zone axiale du plasma. Le plasma débouche à l'air libre à la partie supérieure de la torche.

Dans la très grande majorité des cas, on choisit de mettre l'échantillon en solution et de l'introduire dans le plasma sous forme d'aérosol par l'intermédiaire d'un ensemble de nébulisation (figures 2 et 3). Cette forme très divisée (les gouttes d'aérosol ont un diamètre de l'ordre de quelques μm au maximum) est indispensable pour avoir un transfert d'énergie efficace entre le plasma et l'échantillon, dont le temps de séjour dans le plasma est de l'ordre de 2 à 10 millisecondes (lié à la géométrie de la torche et au flux gazeux utilisés).

Un plasma HF et son inducteur constituent un transformateur : l'inducteur en est le primaire, le plasma constitue un secondaire à spire unique. C'est le champ HF qui accélère les électrons ; ceux-ci, par collision, excitent et ionisent l'argon :



où Ar^m désigne un niveau métastable de l'argon.

Ceci se passe dans la zone annulaire du plasma proche de l'inducteur, le champ électrique au centre est nul ; de-là vient l'importance du temps de séjour : il n'y a pas de transfert direct de l'énergie sur l'axe du plasma et les transferts avec la zone axiale, appelée canal central, sont essentiellement conductifs et dépendent du gradient de température et de la conductivité thermique du milieu.

L'échantillon pénètre dans l'axe du plasma à sa base. Les gouttelettes d'aérosol doivent d'abord être évaporées pour libérer les sels dissous, puis les sels en question doivent être volatilisés et dissociés. Cette étape nécessite un temps qui peut être évalué de l'ordre de quelques millisecondes, du même ordre de grandeur que le temps de séjour.

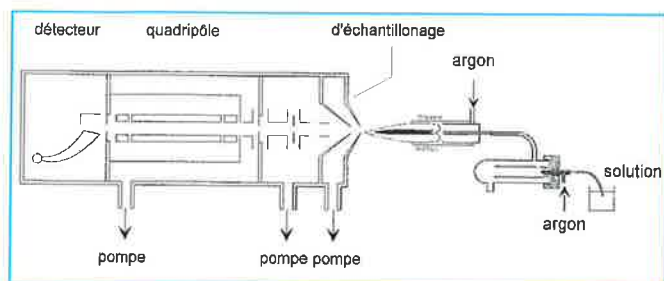


Figure 3 - Schéma de principe d'une installation d'analyse par plasma en spectrométrie de masses.

Les processus d'excitation et d'ionisation n'interviennent que lorsque la phase précédente est achevée ; généralement, l'échantillon est alors parvenu vers la sortie de l'inducteur et c'est là que se fait l'observation optique ou le prélèvement pour la spectrométrie de masses.

A la sortie de la torche, le contact avec l'atmosphère accélère l'extinction du plasma.

Capacités analytiques

Spectrométrie d'émission

Selon les énergies d'ionisation des éléments considérés, le plasma peut conduire soit à des états atomiques excités soit à des états ioniques excités. Il en résulte, en spectrométrie d'émission, que les choix des raies spectrales d'analyse, de leur domaine de longueur d'onde, et les limites de détection obtenues varient d'un élément à l'autre.

En général, ces limites de détection correspondent à des concentrations très faibles, de l'ordre de 0,1 à 150 µg/L en spectroscopie optique lorsqu'il n'y a pas d'interférences spectrales, parfois beaucoup moins en spectrométrie de masses (tableau I). Ces très faibles concentrations mettent l'accent sur les risques de pollution accidentelle lors de la préparation et de la manipulation des échantillons !

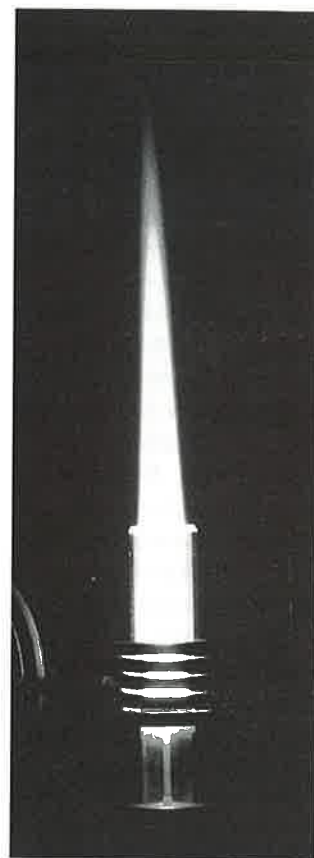
Pour des concentrations jusqu'à 10^4 à 10^5 fois la limite de détection, la relation intensité/concentration est généralement linéaire. Ceci rend très courante l'analyse multiélémentaire dans une même solution. L'étalonnage systématique est nécessaire ; il est réalisé en introduisant des solutions de concentration connue.

Finalement, l'analyse par plasma HF apparaît utilisable pour le dosage de près de 70 éléments, l'essentiel de la classification périodique à l'exception des éléments à potentiel d'ionisation supérieur au potentiel d'ionisation de l'argon (He, Ne, F) ou dont les raies sensibles sont situées dans l'ultraviolet moyen ou lointain (Cl, Br...), domaine de longueur d'onde non accessible aux spectromètres classiques. Les alcalins, qui sont pratiquement ionisés à 100 % dans le plasma, sont peu sensibles en comparaison des autres éléments : les raies ioniques ont une énergie d'excitation beaucoup trop élevée pour l'argon.

La précision de l'analyse, ou sa fiabilité, dépend non seulement du plasma proprement dit, mais aussi des traitements chimiques éventuels permettant de passer de l'échantillon à la solution à nébuliser. Suivant les concentrations des éléments à doser, la nature du milieu (matrice) ou le protocole mis en

œuvre, on pourra obtenir une fidélité globale de l'ordre de 1 à 2 %... ou bien pouvant excéder 50 % ! La précision est souvent obtenue au détriment du temps et du coût de l'analyse ; l'analyste est donc souvent amené à faire des choix susceptibles de mettre en cause la précision et la fiabilité du résultat final. S'il fallait annoncer un coût moyen d'analyse, il faudrait dire qu'un élément revient en moyenne entre 200 et 5 000 francs ; et, encore, ne s'agit-il là que d'une estimation faite sur des échantillons pas trop complexes.

L'une des limitations de la méthode apparaît liée aux interférences spectrales qui proviennent de la superposition des raies, plus ou moins élargies, des différents éléments en présence et peuvent dégrader considérablement les limites de détection. En effet, le plasma HF étant une source d'excitation très puissante, les spectres produits sont très riches en raies dont certaines ne sont pas répertoriées dans les tables. Ceci est particulièrement vrai pour les terres rares ou des éléments comme l'uranium : le spectre de l'uranium, en plasma HF, présente près de 3 000 raies, entre 300 et 400 nm, soit l'équivalent d'une vingtaine de raies dans l'intervalle du doublet jaune du sodium. La richesse de ces spectres constitue un obstacle très sérieux dans le cas de solutions chargées. L'exemple le plus caractéristique est celui des terres rares : bien que la limite de détection sur ces éléments soit très basse, de l'ordre du µg/L, il est à peu près impossible de doser à l'état de trace des impuretés d'une terre rare dans une autre terre rare. Les raies des différents éléments sont souvent superposées, même avec les spectromètres les plus résolvents, rendant très incertain tout dosage.



Plasma HF, 40 MHz, 1,5 kW utilisé en analyse spectro-chimique (avec injection d'un mélange de terres rares).

Spectrométrie de masses

Ces difficultés conduisirent, dans les années 80, au développement de la détection par spectrométrie de masses (ICP-MS) à la suite des travaux de Gray (1975). Les spectres obtenus sont beaucoup plus simples que les spectres optiques, puisqu'il n'y a qu'un pic par isotope. La principale difficulté technologique consiste à passer d'un plasma à pression atmosphérique avec une température de l'ordre de 6 000 K à la pression de 10^{-6} torr nécessaire au fonctionnement du spectromètre. Cela est obtenu en prélevant l'échantillon dans le plasma par un orifice de faible diamètre ($< 0,5$ mm) et en utilisant deux, voire trois étages de pompage. Le prix de l'installation est multiplié par un facteur 3 à 4, mais l'augmentation du pouvoir de détection est

parfois considérable : dans le cas des éléments peu sensibles en spectroscopie optique comme les métaux lourds, les terres rares ou les actinides, le gain peut dépasser souvent le facteur 100.

Simple dans le principe, cette technique de détection présente malgré tout des limitations sérieuses. On observe aussi en spectroscopie de masses des interférences spectrales ; elles ont deux origines principales : les isotopes et les ions moléculaires. En effet, malgré la haute température du plasma, il s'y forme des espèces moléculaires provenant des combinaisons des éléments que l'on introduit systématiquement : argon, oxygène et hydrogène provenant de l'eau de la solution, éventuellement azote et carbone dus à la diffusion de l'air ambiant dans le plasma. Cela conduit à la formation - en faible quantité, certes, mais suffisante pour être très gênante - d'espèces telles que N_2^+ , N_2H^+ , NO^+ , NOH^+ , O_2^+ , ArH^+ ... jusqu'à Ar_2^+ et Ar_2H^+ . Si on prend en compte le fait que chacun des éléments peut présenter plusieurs isotopes (l'argon lui-même en a trois de masses 36, 38 et 40), on voit que les spectres, en principe simples, peuvent l'être beaucoup moins dans la réalité.

En pratique, à moins d'utiliser un spectromètre à haute résolution, on doit considérer qu'en dessous de la masse 82 la spectrométrie de masse n'est que de peu d'utilité ; par contre elle est très performante dans le cas des terres rares ou des actinides (tableau I).

Évolution récente

Plusieurs tendances se manifestent ; une première, assez générale, est de chercher à généraliser la méthode à d'autres types d'échantillons que les liquides : milieux polyphasiques tels que les boues (slurries), solides variés ou gaz. L'introduction de l'échantillon dans le plasma ne pose souvent pas de problème insurmontable ; l'étalonnage, par contre, est souvent le talon d'Achille de ces techniques.

Si on prend l'exemple de l'ablation laser, l'aérosol obtenu lors de l'impact laser sur le solide est introduit sans difficulté dans le plasma ; le problème est de trouver un échantillon de composition connue permettant de produire un aérosol identique.

Récemment, la demande analytique s'est modifiée : les problèmes d'environnement ont mis l'accent sur les problèmes de spéciation (forme chimique sous laquelle se trouve l'élément à doser) et, à nouveau, sur les limites de détection. Il importe aujourd'hui de pouvoir détecter des polluants élémentaires à très faible concentration et, en outre, de préciser sous quelle forme chimique, ou au moins sous quel degré d'oxydation, ils se trouvent dans l'échantillon contrôlé. La toxicité d'éléments comme l'arsenic ou le chrome varie beaucoup d'une forme chimique à l'autre.

Les besoins de limites de détection plus basses peuvent trouver une réponse, onéreuse, par la spectrométrie de masses. Mais il existe une autre voie qui est le recours à des systèmes spécifiques d'introduction d'échantillons.

Les techniques électrothermiques (four) permettent, d'une part, d'opérer avec des quantités d'échantillon très faibles (de l'ordre de quelque dizaines de microlitres), mais aussi d'obtenir, sur les éléments suffisamment volatils, des améliorations considérables de limites de détection. Sauf à disposer d'un

Tableau I - Exemples de limites de détection (ng/ml).

Élément	Spectroscopie d'émission [3]	Spectroscopie de masse [8]
Li	0,3	0,1
B	3	0,4
Mg	0,15	0,7
Al	15	0,2
Cr	1,2	0,3
Mn	0,25	0,1
Co	1,5	0,01
Zn	0,5	0,2
Ge	12	0,02
As	20	0,04
Se	15	0,8
Ag	3	0,03
Cd	1	0,06
In	15	0,07
Te	40	0,09
La	3	0,05
Ce	30	0,05
W	30	0,05
Au	6	0,06
Hg	25	0,02
Pb	12	0,05
Th	10	0,02
U	50	0,03

appareillage optique simultané, ce gain se payera souvent de la perte du caractère multiélémentaire de la méthode.

La nébulisation ultrasonique permet d'obtenir des aérosols très denses et donc, en fait, d'introduire plus d'échantillon dans le plasma. S'il n'y a pas d'interférence gênante, les limites de détection peuvent être améliorées d'un ordre de grandeur. Ce type de développement permet de conserver les capacités d'analyse simultanée multiélémentaire.

On peut citer aussi des techniques particulières, comme la méthode des hydrures pour des éléments tels que As, Bi, Sb, Se, Pb, Ge, Sn ou la préconcentration en ligne sur colonnes échangeuses d'ions. Il s'agit de techniques relativement simples à mettre en œuvre ; cependant, elles doivent souvent être optimisées pour un cas analytique précis et, de ce fait, l'analyse par plasma perd un peu de son caractère général et multiélémentaire.

Le problème est de même nature dans le cas de l'utilisation du couplage de la chromatographie liquide avec le plasma. Le principe consiste à interposer une colonne chromatographique sur le circuit d'introduction de la solution dans le nébuliseur. La colonne effectue la séparation des constituants de l'échantillon. Le plasma joue, dans ce cas, le rôle d'un détecteur chromatographique. Ce couplage permet de répondre à certains problèmes de spéciation dans le cas de l'analyse élémentaire.

L'ensemble des techniques mixtes qui couplent en ligne une introduction d'échantillon relativement élaborée avec une installation d'analyse par plasma nécessite des compétences plus étendues pour leur mise en œuvre. Il faut, par ailleurs, effectuer une distinction entre des techniques d'usage relativement général, que l'on peut acquérir «clefs en main» comme la nébu-

lisation ultrasonique ou les générateurs d'hydrures, et les techniques de séparation ou de préconcentration qui vont exiger une mise au point spécifique pour chaque type de problème et donc une compétence chimique certaine de la part de l'utilisateur.

Références

- [1] Thompson M., Walsh J.N., *A Handbook of Inductively Coupled Plasma Spectrometry*, Chapman and Hall, New York, **1983**.
- [2] Trassy C., Mermet J.M., *Les applications analytiques des plasmas HF*, Lavoisier, Paris, **1984**.
- [3] Boumans P.W.J.M., *Inductively Coupled Plasmas Emission Spectroscopy*, Wiley-Interscience, New York, **1987**.
- [4] Montaser A., Golightly D.W., *Inductively Coupled Plasmas in Analytical Atomic Spectrometry*, VCH, New York, **1987**.
- [5] Mermet J.-M., Robin J., Trassy C., Excitation spectrographique. Plasmas induits par haute fréquence, *Techniques de l'Ingénieur*, **1988**, p. 2719.
- [6] Mermet J.-M., Les plasmas comme sources de photons et d'ions en analyse chimique : principe et mise en œuvre, *L'Actualité Chimique*, **1991**, 4, p. 279.
- [7] Amouroux J., Les procédés plasma et leur développement industriels, *L'Actualité Chimique*, **1994**, 3, p.5.
- [8] Date A.R., Gray A.L., Determination of trace elements in geological sample by inductively coupled plasma source mass spectrometry, *Spectrochim Acta*, **1985**, 40 B, p. 115.



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

CNRS Formation

au service de l'Entreprise

du 19 au 22 septembre 1994 à STRASBOURG (67)

**RMN haute résolution :
méthodes multi-impulsionnelles et RMN 2 D**

du 3 au 7 octobre 1994 à VILLEURBANNE (69)

Analyse quantitative de gaz par spectrométrie de masse

du 10 au 14 octobre 1994 à BONDY (93)

Spectrométrie d'absorption atomique. Initiation

du 24 au 28 octobre 1994 à SACLAY (91)

**Initiation aux méthodes nucléaires d'analyse élémentaires.
Application à la caractérisation des matériaux**

Catalogue, programme et inscriptions :

CNRS Formation

1 place Aristide Briand- 92195 MEUDON Cedex - FRANCE

Téléphone : (33-1) 45 07 56 72 - Télécopie : (33-1) 45 07 59 00

DES RÉSINES SYNTHÉTISÉES PAR VOIE ÉLECTROCHIMIQUE POUR DÉPOLLUER

Des chercheurs du Laboratoire d'électrochimie, unité associée CNRS-université Rennes I, ont réussi à synthétiser, par voie électrochimique, des résines polymères utilisables dans la confection de filtres permettant l'extraction d'ions en solution dans l'eau, même à des concentrations extrêmement faibles, inférieures à un microgramme par litre. Plus précisément, il s'agit de résines polyéther transporteuses d'ions, fixées sur du carbone, qui peuvent se régénérer, capables de piéger des ions radioactifs comme l'argent de masse atomique 110 (décontamination d'un facteur 100), le cobalt 60, le césium 137 et la potassium 40. Des essais concluants ont été effectués, en collaboration avec EdF, à partir de quelques litres d'effluents du circuit primaire de la centrale de Tricastin ; d'autres, à plus grande échelle, sont en cours. Un brevet a été déposé.

La résine est produite directement sur un support de carbone - grains de graphite mesurant 3 à 5 mm de diamètre. Elle les recouvre sur une épaisseur de quelques micromètres. Sa structure chimique résulte de la polymérisation anodique d'une chaîne comportant à chacune de ces deux extrémités un cycle aromatique pentagonal comprenant un atome d'azote (pyrrole). Les deux cycles sont reliés sur le monomère par un motif $\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-}$ répété plusieurs fois. On crée dans le polymère des sites coronands (en forme de couronne) à plusieurs atomes d'oxygène, sites qui sont connus - au moins en solution - pour présenter une affinité pour les ions métalliques qui peuvent venir s'y insérer sélectivement.

CNRS Info, n° 281

• J. Simonet, Laboratoire d'électrochimie (Renne I).
Tél. : 99.28.62.92.

En bref

UNE NOUVELLE FAMILLE DE PIÈGES À RADICAUX LIBRES

Des chimistes du Laboratoire de structure et réactivité des espèces paramagnétiques, unité associée CNRS-université d'Aix-Marseille I et III, ont réussi à synthétiser le premier membre d'une nouvelle famille de pièges à radicaux libres, ces "fragments de molécules" portant un électron non apparié, sont très réactifs et très toxiques pour le métabolisme de la cellule, et sont impliqués dans diverses pathologies. Il s'agit du 5 (diéthoxyphosphoryl) 5-méthyl, 1-pyrroline N-oxyde (DEPMPO), un piège à la durée de vie suffisamment longue pour pouvoir être caractérisé par une technique de résonance magnétique. Les expériences de capture de radicaux oxygénés, in vitro et in vivo, ont montré que ce piège est, à ce jour, le plus performant. Ce travail a été réalisé en collaboration avec les laboratoires Pasteur-Mérieux de Mercy l'Étoile près de Lyon, le CHU A. de Villeneuve de Montpellier et les Laboratoires pharmaceutiques Beaufour de Paris. Un brevet, déposé par le CNRS en juillet 1993, est géré par France Innovation Scientifique et Transfer (FIST).

CNRS Info, n° 282.

• P. Tordo, Laboratoire de structure et réactivité des espèces paramagnétiques, (Aix-Marseille I et III),
tél. : 91.63.28.51.

TRANSFERT DE TECHNOLOGIE

Hewlett-Packard et le City of Hope National Medical Center de Duarte, Californie, viennent de

signer un accord de transfert de technologie par lequel HP acquiert les droits sur une technique automatisant le séquençage du terminal carboxy (C-terminal) des protéines et des peptides.

"Cette nouvelle chimie devrait se révéler une technologie importante pour les chercheurs travaillant sur les protéines et les peptides étant donné qu'elle permet de déterminer la séquence en C terminal de ces biomolécules, avec un temps d'analyse qui se calcule non plus en jours mais en heures", a déclarée le Dr John Michnowicz, directeur des Produits pour la chimie des protéines de Hewlett-Packard.

• Hewlett-Packard, 1, av. du Canada, ZI de Courtabœuf, 91947 Les Ulis Cedex. Tél. : (1)69.82.60.60.
Fax : (1) 69.82.60.61.

PH. SALEMIS, 2^e CHIMISTE EUROPÉEN

Après Michel Giudice, premier chimiste européen français, Philippe Salemis est le deuxième diplômé pour la France. M. Salemis est docteur en chimie moléculaire, il travaille chez Total (Cray Valley).

Rappelons que cette qualification peut être accordée à des universitaires ou à des ingénieurs chimistes membres de la Société Française de Chimie, ayant un diplôme retenu dans la charte d'évaluation et une expérience personnelle d'au moins 3 ans. Le secrétariat du conseil de la chimie de la communauté européenne (ECCC) est assuré par la Royal Society of Chemistry.

• Informations : Société Française de Chimie, 250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris. Tél. : (1) 43.25.20.78.
Fax : (1) 43.25.87.63.

LA MÉDAILLE ALWIN MITTASCH 1995

Cette médaille, décernée par la Dechema (le salon de la chimie allemande, qui se tiendra à Wiesbaden les 30 mai-1er juin 1995) récompense des travaux fondamentaux sur la catalyse ou sur des applications industrielles.

Date limite de dépôt de candidatures : le 31 décembre 1994.

• Dechema eV, Prof. Dr G. Kreysa, PO Box 15 01 04, 60486 Francfort, Allemagne. Fax : +49 (69) 7564 201.

PRIX 1994 DE LA SFSM

Le prix de la Société Française de Spectrométrie de Masse est d'un montant de 8000 FF. Il est destiné à récompenser annuellement un jeune chercheur de moins de 35 ans, ayant au moins trois ans d'expérience dans un laboratoire industriel ou universitaire français et dont les travaux en recherche fondamentale ou appliquée ont favorisé le développement de la spectrométrie de masse (travaux de thèse ou ensemble de travaux pos doctoraux).

Le prix 1994 de la SFSM sera remis au cours de l'assemblée générale qui aura lieu au cours du Congrès national de la SFSM à Rouen (20 au 22 septembre 1994).

Les dossiers doivent parvenir avant le 1er juin 1994.

• Secrétariat de la SFSM, UPMC, BP 45, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05. Tél. : (1) 44.27.31.10 ou (1) 44.27.38.43.

PUBLICATIONS COMMUNAUTAIRES

La Communauté européenne a préparé un répertoire comptant plus de 1400 sociétés et organismes de 17 pays européens qui s'intéressent à former des associations en matière de recherche et de développement technologique.

• Renseignement pour la France, tél. (gratuit) : 05.90.69.56.

Quelques considérations sur l'industrie des polymères

Développements et problèmes contemporains

Jean L. Leblanc* professeur

"Les frontières entre la recherche de base, la recherche et développement, et les applications sont devenues à ce point floues qu'il faut maintenant parler de continuum allant de la recherche de base scientifique à la recherche technologique appliquée".

Jacques Delors, 1990

En 1922, Hermann Staudinger mettait définitivement fin à une controverse de plusieurs décennies sur la nature physico-chimique de substances, à l'époque, nouvellement synthétisées. Il s'agissait de molécules tellement grosses que les chimistes d'alors n'avaient su les ranger dans les catégories existantes. Par une série d'expériences décisives, Staudinger démontra la nature de ces espèces chimiques : les macromolécules et reçut plus tard, pour cela, le prix Nobel.

A l'époque, l'idée que des molécules géantes puissent exister paraissait révolutionnaire et bien peu de gens prévoyaient l'essor formidable de la chimie macromoléculaire et son évolution vers ce que l'on appelle aujourd'hui la science des polymères.

Des segments majeurs de l'activité industrielle, tels que l'automobile, l'électroménager, l'ameublement, la construction et les transports ont bâti leur croissance et maintenu leur rentabilité sur la fiabilité et les avantages techniques, économique, voire esthétiques que les polymères procurent à leurs produits.

En quelques décennies, tellement de matériaux macromoléculaires sont passés du stade du laboratoire à l'application industrielle (figure 1) que notre style de vie, lui-même, s'en est trouvé profondément modifié. La possibilité de synthétiser de nouvelles macromolécules, les propriétés singulières que ces dernières exhibent et le développement corollaire de matériaux tout à fait différents de ceux que la nature nous offre ont amené

des stratégies nouvelles qui s'inscrivent parfaitement dans une réflexion de Jacques Delors, que je reprends en exergue de cet exposé.

C'est au travers de la description succincte de quelques développements et problèmes contemporains que je vais tenter de déchiffrer ces stratégies nouvelles dans le domaine des polymères.

Je n'en ferai pas l'essentiel de mon propos, mais il est clair que l'activité du secteur des polymères s'inscrit dans le contexte de crise économique que nous vivons.

Deux graphiques, parmi d'autres, permettent de résumer de façon synthétique cette situation (figure 2).

Dans la partie inférieure gauche, nous voyons les évolutions comparées des capacités installées et de la production du polyéthylène (PE), en Europe de l'Ouest. Pour un matériau d'usage courant comme le PE, la production s'aligne bien entendu sur la consommation, mais compte tenu de la taille des investissements, l'installation de nouvelles unités doit toujours précéder la demande du marché. Comme on peut le voir, il y a, en général, un délai d'environ six ans entre les tonnages relevés pour la capacité et la production. La croissance observée sur les capa-

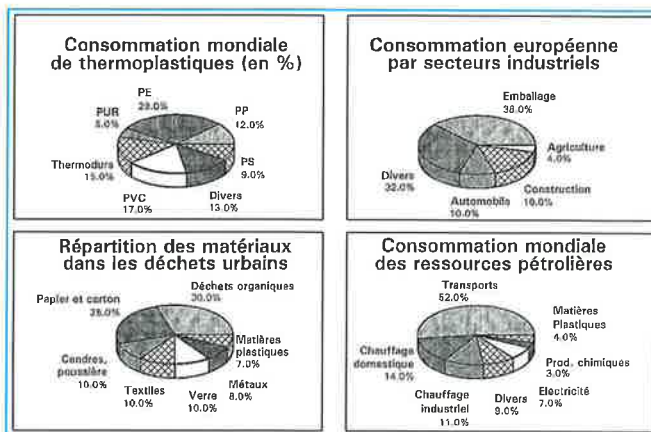


Figure 1 - Situation des matières plastiques en 1992.

* Université P. et M. Curie, Laboratoire de chimie macromoléculaire, tour 44, 44-54, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05. Tél. : (1) 44.27.55.40. Fax : (1) 44.27.70.89.

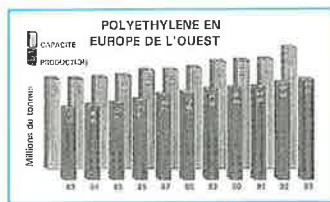
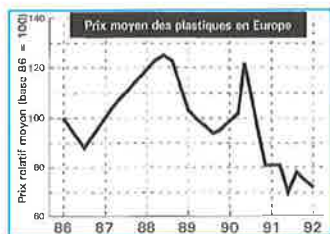


Figure 2 - Difficultés actuelles de l'industrie des matières plastiques.

cités reflète donc, d'un part, l'exercice de la libre concurrence entre producteurs, et, d'autre part, la capacité d'anticipation des opérateurs. Lorsque les capacités sont supérieures à la production, il y a compétition sur les prix, ce dont profite bien entendu le consommateur, c'est-à-dire vous et moi, dans le cas d'un produit d'usage général comme le polyéthylène. On ferait une démonstration semblable avec pratiquement tous les autres matériaux polymères d'usage courant.

Dans la partie supérieure droite, nous voyons que le prix moyen des plastiques en Europe ne cesse de s'éroder.

Ces deux graphiques résument - de façon simplissime, j'en conviens - les difficultés actuelles de l'industrie de matières plastiques.

La situation économiques des polymères, bien qu'aussi déprimée que les autres activités industrielles, présente cependant un certain nombre de paradoxes.

Ainsi, en 1992, on estime la consommation mondiale des principaux thermoplastiques à 110 millions de tonnes, partagées entre quelques polymères. La consommation européenne, environ 24 millions de tonnes, est dominée par l'emballage, la construction et l'automobile. Les matières plastiques ont, par ailleurs, tellement pénétré notre vie quotidienne qu'une myriade d'applications diverses en consomme quelques 32 %.

L'emploi des matières plastiques dans l'emballage pose, par ailleurs, des problèmes de société, sur lesquels nous reviendrons en fin de cet exposé, mais je crois utile de souligner qu'elles n'interviennent que pour 7 % dans les déchets urbains. Enfin, n'est-il pas remarquable de constater que seulement 4 % des ressources pétrolières sont consacrés à la fabrication des polymères ? Il s'agit sûrement là, avec la synthèse de produits chimiques, pharmaceutiques et autres, des utilisations les plus intelligentes d'une ressource fossile, donc nécessairement épuisable sur le long terme.

On sait l'opprobre jetée sur les matières plastiques par certains milieux écologistes, mais il est curieux de constater que certains cabinets de consultants bien documentés prédisent que le marché européen des emballages devrait progresser de 9 à 12,9 millions de tonnes sur la période 1990-96. Comme on ne peut guère suspecter les utilisateurs et les consommateurs de perversité anti-écologique, force est de constater que les matières plastiques possèdent des qualités et des avantages qui les rendent incontournables dans de nombreuses applications.

C'est ce que je vais essayer d'illustrer, en concentrant mon propos sur les applications techniques des polymères.

Question : Pourquoi utiliser les matières synthétiques ?

La réponse est, bien entendu, complexe, quoiqu'elle puisse prendre parfois des allures de lapalissade. Que les plastiques soient plus légers, insensibles à la corrosion, faciles à mettre en œuvre, etc. sont des arguments bien connus.

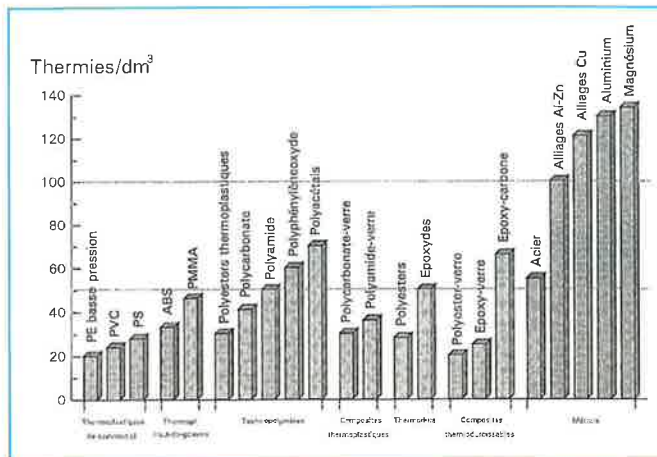


Figure 3 - Contenus énergétiques de divers matériaux..

Il en est cependant un sur lequel il convient d'insister, car il situe les matériaux synthétiques dans une optique de conservation des ressources de la planète.

Comme le montre la figure 3, les polymères permettent d'importantes économies d'énergie, notamment parce qu'ils ont un contenu énergétique nettement plus faible que d'autres matériaux traditionnels.

Le contenu énergétique, exprimé en thermies (c'est-à-dire 1 million de calories) par dm^3 , représente l'énergie de fabrication et de mise en forme.

A volume égal, le contenu énergétique du polyéthylène, du PVC ou du polystyrène est deux à trois fois moindre que celui d'un acier ordinaire, qui, par ailleurs, devra être traité et peint pour ralentir son altération par la corrosion.

L'argument peut sembler primaire, mais il est certain que les polymères ont - et auront - une importance d'autant plus grande qu'ils ont la bonne fortune de participer à la résolution de tous les principaux problèmes de cette fin de siècle, production et maîtrise de l'énergie, économies de celle-ci, de matières premières et de devises, communications et transport, santé, informatique, etc.

Les polymères, matières plastiques et caoutchoucs, s'imposent dans nombre de domaines essentiellement pour leurs qualités techniques.

Je me propose de vous illustrer cette affirmation dans le cas de l'automobile.

La figure 4 montre la quantité de matières plastiques utilisées dans la fabrication de quelques modèles d'automobile depuis 1960.

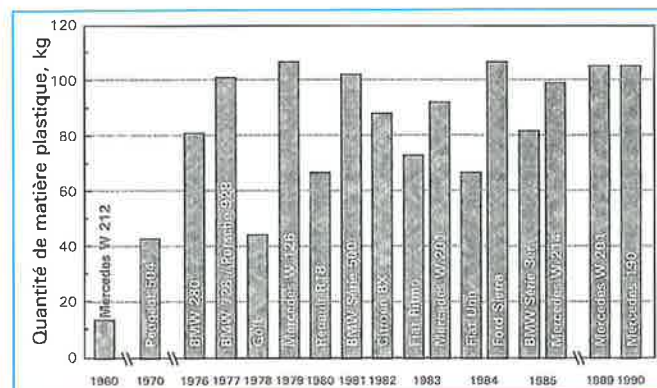


Figure 4 - Utilisation des plastiques dans l'automobile (sources : *Plastverarbeiter* (1986), *Kunststoffe* (1990)).

Comme on peut le voir, elle a plus que quintuplé en trente ans, pour atteindre plus de 100 kg pour des modèles de la gamme moyenne. Pour les modèles plus économiques, on atteint même 160 kg. Outre les plastiques, il faut bien entendu ajouter les caoutchoucs, sujet sur lequel nous reviendrons.

Quel peut être le moteur de cette pénétration ?

Bien entendu, la diminution de poids associée à la diminution de la consommation de carburant, telle que requise après ce que l'on a appelé les chocs pétroliers. On voit ainsi que la majeure partie de la croissance s'est produite entre 1970 et 1976.

Mais il y a d'autres considérations à caractère essentiellement technique.

Les matières plastiques se sont définitivement imposées pour l'habillage des habitacles, pour les pièces d'optiques, phares, catadioptrés, etc., et quelques organes périphériques du moteur, tels les réservoirs à essence, les pales de ventilateurs, etc. Les applications de carrosserie restent actuellement limitées aux pare-chocs, enjoliveurs de roues et autres pièces de faibles dimensions.

L'automobile constitue ainsi les plus gros volumes consommés de plastiques techniques. Comme le montre la figure 5, l'industrie automobile européenne a consommé, en 1991, environ 671 000 tonnes de plastiques, sur un total de 3 577 000 tonnes, si l'on s'en tient aux seuls polymères qui peuvent être considérés comme techniques, encore que dans le cas des mousses de polyuréthane (PUR), il s'agisse là d'une classification un peu exagérée.

La carrosserie reste encore dominée par la tôle peinte, essentiellement pour des raisons de cadence de production, mais il n'est pas impossible que des développements actuellement prometteurs au niveau du laboratoire ne permettent l'emploi de panneaux thermodurcissables pour la fabrication des portes, capots et autres pièces de grandes dimensions.

Dans le cas des camions, par contre, la carrosserie de cabine est d'ores et déjà presque entièrement constituée d'éléments en matières plastiques, polyester chargé à la fibre de verre, ABS, etc., montés sur une armature en tôle d'acier emboutie. L'habillage intérieur est exclusivement constitué de matériaux polymères. L'ensemble représente plus de 325 kg par cabine, pour un camion de taille moyenne.

Cette pénétration des matériaux plastiques dans le secteur automobile semble donc irréversible et, malgré la crise économique, il est permis d'envisager une progression continue dans les années à venir, comme l'illustre la figure 6.

Pour des raisons technico-économiques, certains matériaux progresseront plus que d'autres. C'est le cas du polypropylène, chargé ou non, et des alliages de polycarbonate notamment.

En fait, l'utilisation des polymères dans l'automobile résulte surtout de la rencontre de critères essentiellement techniques par ces matériaux (figure 7).

Je distinguerai deux cas de figure :

- soit les polymères offrent des propriétés spécifiques et incontournables par les matériaux traditionnels ;
- soit ils présentent des propriétés plus intéressantes.

L'élasticité des caoutchoucs et les propriétés isolantes relèvent du premier cas.

La résistance à la corrosion, la facilité d'entretien, le faible poids spécifique, l'esthétique, le mode de fabrication, ainsi que divers avantages fonctionnels sont des atouts décisifs dans le second cas.

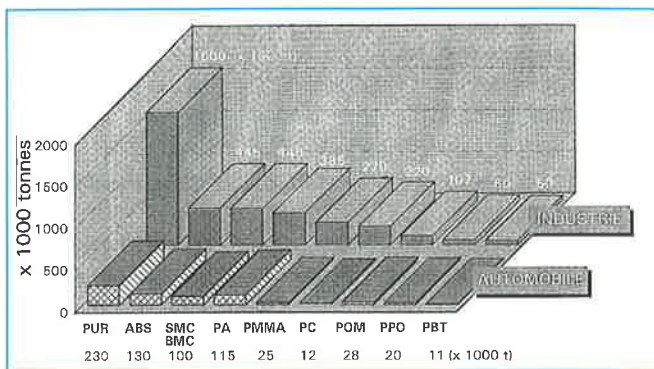


Figure 5 - Les matières plastiques dans l'automobile. Consommation européenne en 1991.

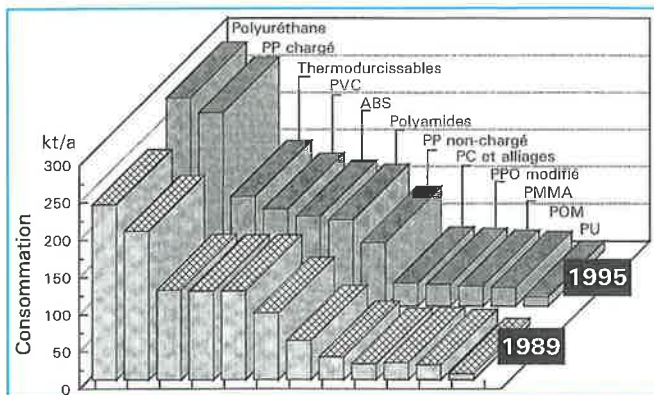


Figure 6 - Consommation de matières plastiques par l'industrie automobile européenne (source *Kunststoffe Eur.*, Juin 1990).

① **Propriétés spécifiques et incontournables**

- eg : pneumatiques → caoutchoucs (NR, SBR, BR, ...)
- supports moteur → caoutchouc naturel (NR)
- courroies → caoutchoucs et renforts textiles
- isolation → électrique, thermique, acoustique

② **Propriétés plus intéressantes que les matériaux traditionnels**

- résistance à la corrosion
- facilité d'entretien
- gain de poids → économie de carburant
- aspect de surface → style, design
- avantages fonctionnels → propriétés viscoélastiques, amortissantes
- facilité de fabrication → production de masse (thermoplastiques)

Figure 7 - Utilisation des polymères dans l'automobile. Critères d'évaluation.

Structure	T _f (°C)	Structure	T _f (°C)
$\sim\sim\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}-\sim\sim$	176	$\sim\sim\text{CH}_2-\underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\underset{ }{\text{CH}}}-\sim\sim$	317
Polypropylène (isotactique)		Polyacrylonitrile	
$\sim\sim\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\sim\sim$	54	$\sim\sim\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{C}_6\text{H}_4-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\sim\sim$	267
Poly(éthylène adipate)		Poly(éthylène téréphtalate)	
$\sim\sim\text{CH}_2-\text{NH}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{C}_6\text{H}_4-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{NH}-\sim\sim$	400	$\sim\sim\text{NH}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{C}_6\text{H}_4-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{NH}-\sim\sim$	> 800
Poly(tétraméthylène téréphtalamide)		Poly(paraphénylène téréphtalamide)	

Figure 8 - Relation entre structure et température de fusion.

Trois exemples précis illustrent ces possibilités de la science des matériaux polymères.

La chimie macromoléculaire moderne offre la possibilité de jouer littéralement avec la structure des molécules, de manière à obtenir les propriétés désirées. La figure 8 démontre cela dans le cas de la température de fusion, par essence associée à la stabilité thermique.

Je pense que même les non-chimistes conviendront qu'il est remarquable que la simple substitution d'un groupe chimique par un autre amène d'aussi considérables modifications de la température de fusion.

La plupart des polymères sont thermodynamiquement incompatibles, en ce sens que leurs mélanges sont des systèmes hétérophasiques.

Polyamide/ABS	Résistance thermique et chimique Mise en œuvre facile
Polyamide/caoutchoucs	Résistance choc basse température
PPO/Polyamide	Résistance aux choc et à la flexion Résistance chimique et thermique Résistance températures élevées
ABS/PC	Stabilité dimensionnelle Faible absorption d'eau Résistance à la chaleur Mise en œuvre très facile
PPO/PBT	Résistance choc basse température Résistance températures élevées Excellent état de surface
PET/PBT	Stabilité dimensionnelle Résistance thermique Cadences de moulage élevées
Acétal/élastomère	Faible coût, pièces très brillantes Rigidité, solidité
PC/PET	Résistance à l'usure Résistance choc basse température
ABS/polysulfone	Résistance chimique et UV Mise en œuvre facile
Polyamide/PE	Chromage possible Résistance chimique et thermique Propriétés barrières Résistance à l'usure

Figure 9 - Alliages et mélanges de polymères élargissent les possibilités d'application.

Les dernières décennies ont connu un développement foudroyant des alliages et mélanges de polymères. La figure 9 en décrit quelques-uns en regard des avantages obtenus, parmi des centaines d'autres disponibles commercialement.

Au début, développés de façon essentiellement pragmatiques, ces divers alliages permettent d'obtenir à bon compte de nouvelles balances de propriétés.

Sur un plan fondamental, les alliages de polymères ont certainement pavé la voie vers une nouvelle science : celle des propriétés d'interface, parce qu'il semble bien que ce soit là, dans les régions interphasiques, que se trouve l'origine des propriétés intéressantes de la plupart des alliages de polymères.

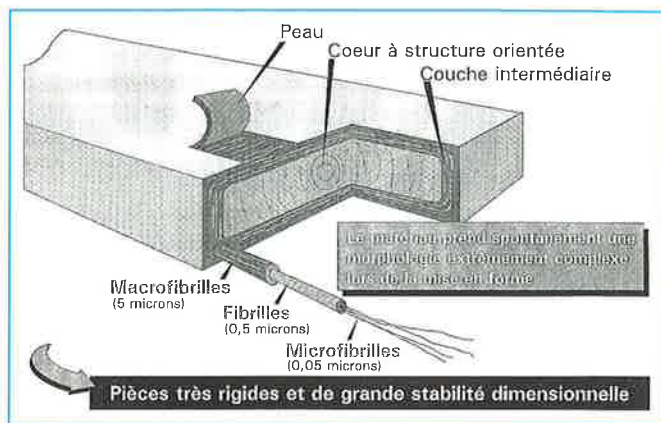


Figure 10 - Polymères à cristaux liquides : matériaux auto-structurants.

Mais le polymériste, véritable magicien des matériaux de synthèse, a plus d'une merveille dans ses éprouvettes !

Ainsi, les polymères à cristaux liquides présentent-ils l'extraordinaire propriété de s'autostructurer au cours des processus de mise en forme.

Comme l'illustre la figure 10, en s'organisant successivement en microfibrilles, fibrilles et macrofibrilles, les polymères à cristaux liquides donnent des pièces au sein desquels l'on peut distinguer un cœur à structure orientée, une couche intermédiaire et une peau. En bref, une morphologie très complexe qui confère à la pièce une rigidité et une stabilité dimensionnelle tout à fait remarquables, combinées bien entendu aux autres propriétés générales des polymères.

Un peu d'imagination permet d'entrevoir les possibilités d'application de ces nouveaux matériaux.

Les élastomères constituent une autre classe de matériaux polymères sans lesquels l'automobile moderne, telle que nous la connaissons, n'existerait pas.

Le pneumatique est une application exclusivement réservée aux caoutchoucs, mais les progrès contemporains se situent essentiellement ailleurs.

Comme l'illustre la figure 11, la plupart des problèmes techniques posés par les contraintes nouvelles sur l'automobile nécessitent de recourir aux élastomères.

Prenons un exemple parmi d'autres.

La protection de l'environnement et la législation plus sévère dans ce domaine commandent d'utiliser des essences

CONTRAINTES NOUVELLES	PROBLEMES TECHNIQUES	SOLUTIONS POSSIBLES
Durabilité des pièces	Vieillessement	Nouveaux matériaux
Environnement	Résistance chimique	- Polymères
- Protection	Essence "verte"	- Charges
- Législation	Pot catalytique	- Additifs
Economie de carburant	Étanchéité	Formulations
Sécurité et confort	Vibrations	- Améliorations
Compétitivité	Réduction du bruit	- Alliages de polymères
Saturation	Défaut zéro	- Systèmes de charges
- du trafic	Service espacé	- Additifs chimiques
- du marché	Voiture compacte	Procédés de fabrication
	Temp. moteur élevée	- Mise en œuvre
	Additifs des huiles	- Optimisation
	Embouteillage	- Automatisation
	Echauffement	Conception des pièces
	Coûts de production	- Dessin
	Robotisation	- Complexité

Figure 11 - Applications des caoutchoucs dans l'automobile. Motivations actuelles des développements (années 1990).

dites "vertes", c'est-à-dire sans additifs au plomb, mais qui contiennent des quantités plus ou moins grandes d'alcools et d'esters. Ces additifs amènent des problèmes nouveaux de

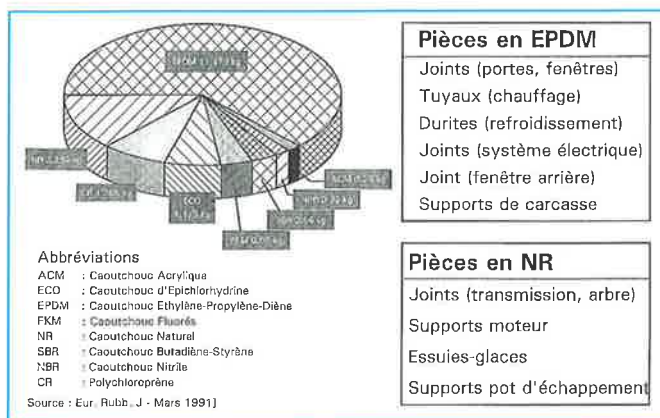


Figure 12 - Utilisation des caoutchoucs dans l'automobile. Cas de la Volkswagen Golf GL75PS (1990) (pneumatiques exclus) (source : Eur. Rubb. J-mars 1991).

résistance chimique et d'étanchéité des joints, membranes et autres tuyaux. Ces problèmes ne peuvent être résolus que par le développement de nouvelles formules de caoutchoucs, voire une conception radicalement différente des pièces concernées.

Examinons le cas de la Volkswagen Golf, dont la construction fait appel, pneumatiques exclus, à 17 kg 816 g de caoutchoucs divers (figure 12).

Le caoutchouc d'éthylène-propylène et le caoutchouc naturel dominent les applications. Le premier parce qu'il permet des solutions élégantes en terme de rapport prix/performances, le second parce qu'il offre les meilleures propriétés élastiques. En ce qui concerne les autres élastomères, ce sont leurs propriétés tout à fait spécifiques qui en imposent le choix.

Ainsi présentées, ces données ne donnent aucune idée du travail considérable de recherche et développement nécessité par l'optimisation des différents matériaux pour les pièces considérées.

Je vais tenter de vous en donner une idée en étudiant le cas des tuyaux renforcés. Si d'aventure vous ouvrez le capot du moteur de votre voiture, ce qui vous frappera au premier abord est la profusion de câbles, tubes, tuyaux et autres conduits

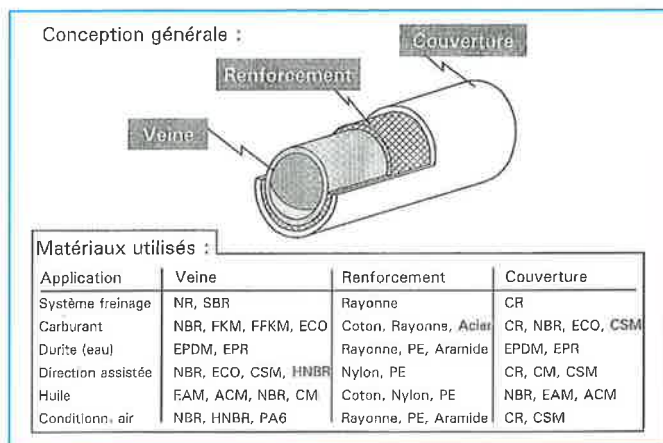


Figure 13 - Tuyaux renforcés pour l'industrie automobile.

souples. Pour chaque fluide transporté, son tuyau particulier ! Mais si les contraintes varient fortement d'un fluide à l'autre, la conception générale est toujours la même : une veine (en contact direct avec le fluide), un renforcement et une gaine de protection (vis-à-vis de l'ambiance moteur).

La figure 13 illustre les choix multiples pour plusieurs applications spécifiques. Comme il y a toujours une balance de propriétés à rencontrer, il n'y a pas de choix simple et la mise au point d'un système particulier nécessitera des travaux très complexes qui, bien souvent, aboutissent à des questions fondamentales.

Cet exemple, parmi d'autres, illustre l'extraordinaire complexité de la science des matériaux polymères, moteur essentiel du développement de notre monde moderne.

Je ne puis terminer cet exposé sans aborder brièvement l'incidence des problèmes écologiques sur l'industrie des polymères.

Nous avons vu que l'emballage concernait quelque 38 % de la consommation européenne de matières plastiques, soit environ 9 millions de tonnes de polymères dont l'essentiel se retrouve dans les déchets urbains, à concurrence de 7 % en poids.

D'aucuns y voient un problème de société et nous en connaissons tous les péripéties dans notre pays. Certes, les déchets urbains et autres posent un problème important. Mais que se passera-t-il si l'on supprimait l'emploi des matériaux polymères dans l'emballage pour les remplacer par des matériaux plus traditionnels ?

Et bien le calcul a été fait... et il aboutit à des conclusions pour le moins ubuesques, illustrées par la figure 14.

Dans l'hypothèse où l'on remplacerait les polymères dans l'emballage par leurs équivalents fonctionnels en bois, carton papier, verre et autres matériaux traditionnels, on aboutirait à une augmentation des poids manipulés de plus de 400 %, des volumes manipulés de plus de 200 %, avec en corollaire une augmentation de plus de 220 % de la facture énergétique et des coûts associés !

Comme on le voit, vouloir éliminer, voire même limiter, l'emploi des matières plastiques dans l'emballage demande à tout le moins que l'on réfléchisse sérieusement à la question.

Il reste que le traitement des déchets, de tous les déchets, pas uniquement les emballages en plastiques, est un défi majeur pour notre société.

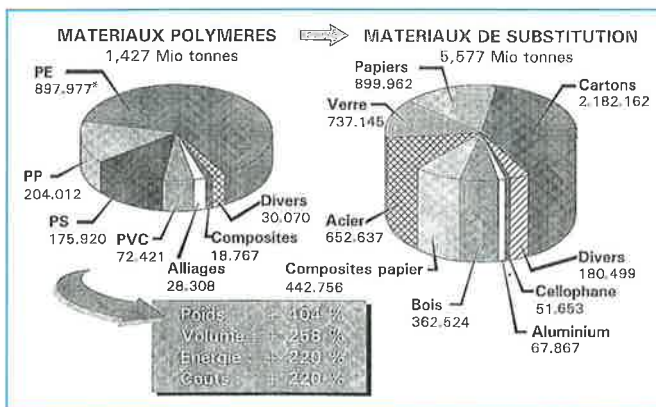


Figure 14 - L'emballage sans les matériaux synthétiques. Remplacement (hypothétique) des plastiques par des matériaux traditionnels (Europe de l'Ouest) (source : Verpacken ohne Kunststoffe, Wiesbaden, 1992).

	Matière	Capacité calorifique (MJ/kg)
Matériaux synthétiques	° Polypropylène	44
	* Polyéthylène	43
	° Polystyrène	40
	Polyamide	37
	* Polyéthylène téréphtalate (PET)	33
	Polyméthacrylate de méthyle	25
	Résines thermodurcissables	18 à 30
	° Polychlorure de vinyle	20
	Composites SMC, BMC	10
	Matériaux "naturels"	Gaz naturel
Pétrole		42
Charbon		29
° Bois		16
* Papier-carton		14

* : présent dans les déchets urbains

Figure 15 - Valeurs calorifiques des matériaux.

Une discussion exhaustive dépasse le cadre de cet exposé, mais je voudrais simplement apporter quelques considérations thermodynamiques qui supportent l'idée que la valorisation thermique des déchets de polymère est de loin la solution la plus raisonnable.

La comparaison des capacités calorifiques de quelques polymères parmi les plus courants, avec celles des combustibles traditionnels (figure 15) est, comme on peut le voir, tout à fait indicative de l'intérêt des déchets de plastiques dans la production d'énergie.

L'étude du cas spécifique des films thermoplastiques est encore plus explicite.

La figure 16 compare diverses solutions pour le recyclage de films de polyéthylène ou de polypropylène, en termes de considérations énergétiques.

La matière première, la polymérisation et la fabrication du film par extrusion-soufflage nécessitent quelque 70 MJ/kg, dont 45 sous forme d'enthalpie, c'est-à-dire de contenu calorifique du matériau. La fabrication du film a nécessité 5 MJ/kg et la polymérisation 20 MJ/kg.

La figure examine successivement le bilan énergétique associé à divers modes de recyclage, depuis la simple regranulation après lavage à froid pour refabriquer un film, jusqu'à des procédés chimiques plus complexes comme l'hydrogénation ou la pyrolyse contrôlée.

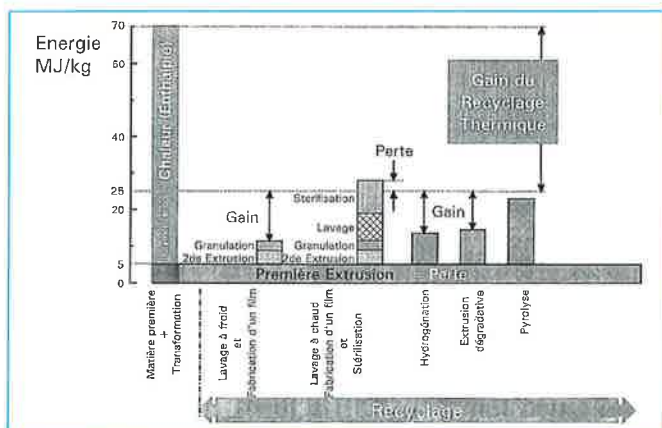


Figure 16 - Étude de cas : recyclage de film thermoplastique (PE, PP) (source : G. Menges, GAK, 2 (1993).

Développement et problèmes contemporains de l'industrie des polymères

- Situation difficile mais secteur incontournable
- Chimie macromoléculaire : hyperchoix des matériaux
- Recherche et développement : applications à haute valeur ajoutée
- Préoccupations écologiques : poser correctement les problèmes.

«Le bon sens, quoiqu'il fasse, ne peut manquer de se laisser surprendre à l'occasion. Le but de la science est de lui épargner cette surprise».

Bertrand Russel
Philosophe, prix Nobel (1950)

Dans tous les cas, on voit que les gains - quand ils existent - restent marginaux face au recyclage thermique, c'est-à-dire l'incinération avec récupération d'énergie.

Il semble donc que la thermodynamique ait des impératifs que certaines hallucinations écologiques ne sauraient circonvenir !

Au terme de cet exposé, je résumerai les quatre arguments développés (cf. encadré) :

- comme pour d'autres secteurs, l'industrie des polymères souffre d'une conjoncture difficile certes, mais ces matériaux restent incontournables dans la plupart de leurs applications ;
- cette indispensabilité des polymères est due aux progrès de la chimie macromoléculaire qui ont littéralement façonné notre fin de siècle, en permettant l'hyperchoix des matériaux ;
- la recherche dans le domaine des polymères s'oriente vers des applications, de plus en plus pointues, dont la plupart n'ont pu être évoquées au cours de cet exposé ;
- enfin, en ce qui concerne les incidences écologiques auxquelles l'industrie chimique en général, celle des polymères en particulier, sont particulièrement attentives, il convient avant tout de poser correctement les problèmes. C'est-à-dire développer une approche rigoureusement scientifique car, comme le disait Bertrand Russell : "Le bon sens, quoiqu'il fasse, ne peut manquer de se laisser surprendre à l'occasion. Le but de la science est de lui épargner cette surprise".

J'aurai la charité de penser que les détracteurs de l'industrie des polymères et des matières plastiques ont simplement oublié cette maxime pleine de sagesse.

Mise en place d'une politique de sécurité

Principes généraux. Proposition de méthodologie

Jean-Pierre Guenier* ingénieur sécurité

A ce jour, il est admis d'instaurer dans toute cellule de travail une véritable politique hygiène, sécurité et conditions de travail. Une telle ambition ne peut se réaliser qu'à la condition de définir des objectifs et des moyens pour y parvenir, ces moyens étant multiples : décisionnels, financiers, organisationnels, informatifs, formatifs, etc.

Il convient de dégager une méthodologie laquelle, partant de principes généraux, sera adaptée à chaque cas particulier ou à chaque famille de cas.

Les objectifs généraux sont clairement définis dans la loi n°91-1414 du 31 décembre 1991, applicable depuis le 31 décembre 1992. Il n'est pas inutile d'en rappeler la liste :

- éviter les risques,
- évaluer les risques qui ne peuvent être évités,
- combattre les risques à la source,
- adapter le travail à l'homme,
- tenir compte de l'évolution de la technique,
- remplacer ce qui est dangereux par ce qui ne l'est pas ou ce qui l'est moins,
- planifier la prévention,
- prendre des mesures de protection collective prioritairement à la protection individuelle,

– donner des instructions appropriées au personnel.

Ces principes sont très généraux, semblent très naturels et évidents à ceux qui en prennent connaissance, mais il peut être intéressant de préciser ce qu'ils sous-tendent sur le plan tant des actions à engager que sur le suivi à réaliser. C'est l'objet de cet article de répondre à cette préoccupation sans avoir la prétention de l'exhaustivité et en précisant qu'il conviendra d'adapter la méthodologie à des cas concrets en tenant compte de leurs particularismes.

1 - Éviter les risques

Ce premier point a une allure de gageure puisque, s'il était entièrement satisfait, les problèmes n'existeraient plus. Il y a des cas où le simple bon sens permet de satisfaire à cet objectif (par exemple, il est bien connu que le désordre est un facteur de risque, la solu-

tion du rangement devrait donc répondre à sa suppression), mais dans la majorité des situations, et pour de multiples raisons, ce n'est pas le cas.

En fait, pour éviter les risques, il faut qu'il y ait conscience qu'ils existent, donc les connaître pour les maîtriser. Ceci se traduit par la nécessité d'effectuer une évaluation, celle-ci pouvant être entreprise de trois façons complémentaires :

- Examen des connaissances bibliographiques dans le domaine, sous l'angle général, d'une part, (conditions de travail, aménagement des postes, risques généraux) et, sous l'angle spécifique lié aux activités de l'entreprise, d'autre part.
- Analyse a posteriori réalisée à partir des statistiques des accidents du travail et des maladies professionnelles, celle-ci ne devant pas être circonscrite aux données de l'entreprise, mais aussi de la profession concernée pour apporter une plus grande représentativité.

Il est souhaitable d'affiner le plus possible ces statistiques en veillant à l'enregistrement de tout incident ou presque accident et d'effectuer une analyse pluricausale permettant de traiter les origines très en amont.

- Analyse a priori, consistant à dresser un inventaire des risques potentiels, cette démarche impliquant un certain nombre de contraintes : analyse globale des matériels mis en œuvre, des activités observées sur le terrain, entretien avec les opérateurs à tout niveau hiérarchique sur les conditions réelles de travail, sur les variations de ces conditions, sur les difficultés ressenties.



* Institut National de Recherche et de Sécurité, Centre de recherche et de formation, avenue de Bourgogne, BP 27, 54501 Vandœuvre Cedex. Tél. : 83.50.20.00. Fax : 83.50.20.97.

2 - Évaluer les risques qui ne peuvent être évités

L'atteinte de cet objectif suppose que, en premier lieu, on possède les outils nécessaires à pratiquer cette évaluation qui conduira à une objectivation du risque. Schématiquement, on peut distinguer deux cas :

- les risques qui ne nécessitent qu'une détermination qualitative,
- ceux pour lesquels il est nécessaire de disposer de données quantitatives ce qui implique, d'une part, l'existence d'un processus métrologique, et, d'autre part, de valeurs de référence afin de définir si les situations sont ou non acceptables. Il est clair que la méthode d'objectivation du risque doit présenter toute qualité de sensibilité et de fiabilité et, si ce n'est pas le cas, il conviendra de faire les efforts de recherche pour satisfaire à ces conditions.

Il faut également garder à l'esprit que les expositions aux nuisances peuvent être multiples et complexes, avec des effets à retardement difficiles à évaluer, ce qui pose le problème du choix du ou des traceurs et la mise en œuvre d'études épidémiologiques lorsqu'elles sont possibles.

Cet ambitieux programme peut être facilité de différentes façons : collecte de données sur un système centralisateur qui peut être réciproque, contrôle en continu des nuisances, cartographies, appel à des experts extérieurs, etc.

Cette évaluation permettra d'établir une hiérarchisation des risques et, par conséquent, des actions à entreprendre : en effet, l'ampleur des travaux nécessaires pour maîtriser l'ensemble des risques professionnels et l'importance des moyens financiers indispensables pour y parvenir peuvent être telles qu'il faille déterminer des priorités.

Toutefois, il faut garder à l'esprit que beaucoup de problèmes ont des causes comportementales et qu'ils peuvent



trouver leurs solutions dans l'information, la formation et la mise en place de procédures, ce qui est relativement léger sur le plan strictement financier (voir objectif n°9).

3 - Combattre les risques à la source

C'est, en premier lieu, de la responsabilité des concepteurs des systèmes ; ceux-ci peuvent être des industriels mais aussi des utilisateurs amenés à modifier des dispositifs ou à effectuer des montages particuliers.

En ce qui concerne les industriels, il est impératif qu'ils intègrent la sécurité dans les mécanismes ou les machines qu'ils proposent. Cela signifie qu'ils fassent les efforts nécessaires sur le plan de la recherche et, dans un système économique équilibré, il faut qu'ils soient persuadés de la rentabilité globale de la démarche.

C'est là qu'intervient l'intérêt du parallélisme sécurité-qualité, cette dernière devenant un vecteur supplémentaire d'introduction de la sécurité. Pour le fabricant concepteur, ce peut être, en effet, un argument de vente, à condition qu'il s'adresse à un public averti et convaincu. Il faut, en particulier :

- que l'utilisateur ait conscience de la nuisance, qu'il ne l'ait pas banalisée et qu'il soit, par conséquent, demandeur de sa diminution voire de sa suppression,

- que la nuisance ne soit pas associée, par habitude, à l'efficacité du système (ex. un marteau-piqueur moins bruyant a-t-il le même rendement qu'un engin plus bruyant ?) ;
- que, s'il ne peut être totalement éliminé, le surcoût soit aussi réduit que possible et en rapport avec une efficacité réelle, aussi bien sur le plan technique que sécuritaire ;
- qu'un processus comparatif, constamment remis à jour, soit porté à la connaissance des utilisateurs.

L'approche prévisionnelle, que ce soit pour la conception des locaux ou des machines, est certes difficile, mais si l'on fait, comme cela a déjà été réalisé dans certains domaines, les efforts de recherche convenables, on doit pouvoir obtenir des résultats permettant, notamment, de parvenir à l'objectif suivant.

4 - Adapter le travail à l'homme

La définition littérale de cet objectif est «d'adapter le travail à l'homme, en particulier en ce qui concerne la conception des postes ainsi que le choix des équipements et des méthodes de travail et de production, en vue, notamment, de limiter le travail monotone et le travail cadencé et de réduire l'effet de ceux-ci sur la santé».

Ceci revient à encourager une démarche ergonomique qui conjugue une approche technique agissant sur les machines et installations et une approche permettant une action sur l'homme (physiologie et psychologie du travail en particulier) et son fonctionnement en situation réelle de travail.

En effet, l'ergonomie se définit comme la mise en œuvre des connaissances scientifiques relatives à l'homme et nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés par le plus grand nombre avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité.

La démarche ergonomique, qui suppose une action multidisciplinaire, a des conséquences bénéfiques sur l'homme et sur les performances du système auquel il participe : fiabilité, qualité, productivité. Elle peut permettre d'améliorer le facteur économique primitif, sachant que, dans un système

Tableau 1 - Évolution du taux de fréquence des accidents avec arrêts. Taux de fréquence = 106 x nbre d'accidents avec arrêt/ nb d'heures travaillées.

Années	1955	1985	1987	1989	1991
Chimie	51	22	17	16	16
Industrie (en général)	53	29,5	27,1	28,6	29,5

Tableau II - Répartition des accidents et des maladies en 1991.

	Chimie	Grandes branches d'activités
Nombre de salariés	298 680	14 559 675
Accidents avec arrêt	8 619	787 111
Accidents ayant entraîné une IP ¹	900	63 328
Journées perdues par IT ²	301 328	28 535 418
Décès	18	1 082

¹ IP : incapacité permanente

² IT : incapacité temporaire

idéal, le potentiel investi devrait conduire globalement à une enveloppe budgétaire plus réduite en diminuant notamment les agressions potentielles à l'encontre des individus.

Cette approche ne doit d'ailleurs pas s'adresser aux seuls travaux répétitifs, mais à toute organisation du travail et présenter des qualités d'interactivité, et donc de participation, impliquant la totalité des membres d'un système donné.

Elle devra s'appuyer sur les instances sécuritaires en place (CHSCT, comité d'hygiène et de surveillance des conditions de travail, structures particulières de l'établissement) et sur des groupes de travail intervenant de la conception à la mise en place des systèmes, permettant la validation des résultats obtenus, la vérification de la conformité du projet par rapport aux objectifs et le suivi avec une veille sécuritaire constante pouvant conduire à des modifications.

5 - Tenir compte de l'évolution de la technique

Le préventeur doit être conscient que les situations ne sont pas figées et qu'il est nécessaire de prévoir une prise en compte de l'évolution des obligations et des moyens pour les satisfaire. Cette mutation constante est conditionnée par :

- l'existence de moyens de protection nouveaux ou l'amélioration de ceux existants,
- l'apparition de nouvelles technologies qui peuvent soit résoudre des problèmes, soit générer des nuisances,
- l'amélioration des connaissances scientifiques, techniques ou humaines,
- les modifications apportées dans le domaine réglementaire.

Autrement dit, ce qui est vrai aujourd'hui ne le sera déjà plus demain et, pour intégrer les paramètres ci-dessus définis, il faut assurer une bonne gestion

de l'information en favorisant notamment la centralisation sur des banques de données aisément accessibles, mais aussi en utilisant tous les vecteurs possibles (périodiques, brochures spécifiques, vidéogrammes, affiches, campagnes de sensibilisation, ...).

6 - Remplacer ce qui est dangereux par ce qui ne l'est pas ou par ce qui l'est moins

Cette démarche induit un travail de valorisation de la prévention tant pour les concepteurs des systèmes que pour les utilisateurs.

Si les moyens de substitution sont connus, on est de nouveau impliqué dans une démarche informative qui peut s'accompagner d'une action de persuasion quant à l'efficacité du substitut proposé.

Dans le cas contraire, il faut compléter les connaissances techniques et scientifiques sur les risques en milieu du travail, sur leurs effets sur la santé de l'homme et sur les moyens pour les réduire. Ceci impose de développer les recherches dans ce domaine, de les encourager et de les valoriser.

Les modifications d'un système ne doivent en rien diminuer son efficacité, mais apparaître à l'utilisateur comme une garantie supplémentaire à sa sécurité afin qu'il les intègre dans son processus de travail. Les concepteurs auront intérêt à effectuer une démarche aussi prévisionnelle que possible en n'omettant pas d'utiliser les retours d'information dont ils disposent.

7 - Planifier la prévention

C'est un vaste programme qui doit intégrer, dans un ensemble cohérent, la

technique, l'organisation du travail, les conditions du travail, les relations sociales et l'influence des facteurs ambiants.

La planification doit être le résultat d'un ensemble de décisions intégrées prises à tous les niveaux de l'entreprise. Elle implique l'identification et la validation des critères à prendre en compte dans l'élaboration et le choix des mesures de prévention. Elle suppose qu'on se donne les moyens de s'assurer de son efficacité et de son suivi.

La hiérarchisation du risque permettra de concentrer le potentiel sécuritaire sur les actions prioritaires, mais devra autoriser l'évolution générale des techniques et des procédures. Il conviendra, en effet, d'associer les démarches relatives aux actions émanant des textes législatifs (par exemple, la manutention manuelle, les écrans de visualisation, les produits cancérigènes et les agents biologiques).

Planifier la prévention ne peut se réduire à une obligation de résultat (zéro accident pendant une période donnée), mais doit se traduire par une véritable culture d'entreprise afin que chaque membre du groupe soit un élément appliqué et créatif dans ce domaine

8 - Prendre des mesures de protection collective prioritairement à la protection individuelle

Les étapes d'une démarche préventive sont définies chronologiquement de



la façon suivante :

- 1) suppression du risque à la source (voir principe n°3),
- 2) mise en place d'une protection collective,
- 3) équipement en protection individuelle dont on ne fera usage que si les deux premières actions n'ont pas conduit à des résultats satisfaisants.

Il va de soi que mettre en place une protection collective est plus structurel que de prévoir un équipement individuel et que cela peut conduire à des investissements relativement importants.

Pour que cette protection collective soit efficace, il faudra s'entourer de conseils techniques compétents, définir un cahier des charges avec des objectifs qualitativement et quantitativement précisés et s'adresser à des spécialistes pour le choix des matériaux et appareils et leur mise en service. Au delà, il conviendra de prévoir une procédure périodique de contrôle, soit interne, soit auprès d'un organisme agréé.

En dernier ressort, il peut être nécessaire de faire appel à la protection individuelle : dans ce cas, il est indispensable d'utiliser le matériel le plus adapté et le plus efficace et, par conséquent, de s'informer sur les résultats des circuits comparatifs pour le protecteur choisi.

9 - Donner des instructions appropriées au personnel

Le texte réglementaire prévoit que le

chef d'établissement doit s'assurer de la capacité des agents à mettre en œuvre les précautions nécessaires pour la sécurité et la santé. Sur le plan général, les instructions sont données par le biais du règlement intérieur : chaque travailleur doit prendre soin, en l'appliquant, de sa sécurité et de sa santé, ainsi que de celle de son environnement, ceci n'affectant pas le principe de la responsabilité du chef d'établissement.

Celui-ci est tenu d'organiser une formation appropriée en matière de sécurité au bénéfice des nouveaux embauchés, des agents changeant de poste ou de technique, et des travailleurs liés par un contrat de travail temporaire.

En fait, si l'on veut obtenir une pleine efficacité dans ce domaine, il faut mettre en place les moyens et les procédures permettant d'assurer l'information, la formation et la motivation du personnel et en convaincre tous les échelons hiérarchiques.

L'information doit commencer dès l'entrée d'un agent dans le système et s'appuyer, d'une part, sur des supports généraux et, d'autre part, sur des moyens particuliers adaptés à chaque entreprise. La démarche doit être interactive pour pouvoir s'adapter aux besoins réels des agents et à leur évolution (réunions participatives, questionnaires).

La formation sécuritaire doit répondre aux attentes issues de la nature des risques et des retours d'information et s'intégrer dans la politique générale de

formation de l'entreprise.

Parmi les thèmes généraux susceptibles d'être abordés, on peut citer :

- la connaissance du cadre réglementaire,
- la conception pluricausale des accidents du travail et des atteintes à la santé : identification des risques potentiels, recherche d'une action en amont, action sur les matériels, les individus, l'organisation, ...
- la réflexion sur les facteurs humains de la fiabilité et sur certains comportements en situation de risque,
- la réflexion sur le rôle de chacun par rapport aux différentes étapes d'une démarche de prévention.

La motivation du personnel peut être obtenue s'il a le sentiment une fois informé et formé que les situations s'améliorent et qu'on tient compte des avis pertinents ou des besoins qu'il peut être amené à faire connaître. Il faut créer un véritable esprit de prévention dans l'entreprise et, pour ce faire, une majorité doit être convaincue de s'engager dans l'action : un vecteur efficace est constitué par la participation à la protection des personnes et des biens (sauvetage-secourisme du travail, équipes d'incendie et d'évacuation).

Propositions générales pour la mise en place d'une politique hygiène, sécurité et conditions de travail (HSCT) dans l'entreprise

Il existe maints écueils à la mise en place d'une politique HSCT : le manque de temps, la contrainte apparente qu'elle peut représenter pour l'avancement des travaux et l'efficacité, le désintérêt dû à l'aspect peu valorisant qu'elle semble constituer sur le plan de la carrière de l'individu, la banalisation du risque par les professionnels confortée par une rareté relative de l'accident et le fait que la prise de risques puisse être considérée comme faisant partie du travail, les exigences financières.

Afin de les vaincre, il faut une implication forte du chef d'établissement. Elle doit se matérialiser sous la forme d'une déclaration d'intention, à l'instar de ce qui se fait dans le domaine de la qualité :

Tableau III - Coût moyen brut d'un accident (charges non comprises) en francs. Période triennale 1989-1991.

Comité technique national	Accidents avec arrêt	Accidents graves ¹ ≤10 %
Métallurgie	9 321	433 973
Bâtiment et travaux publics	13 646	401 570
Bois	8 482	359 412
Chimie	13 574	575 586
Pierres et terres à feu	11 631	470 493
Caoutchouc, papier, carton	10 143	474 455
Livre	12 193	447 778
Textiles	8 634	394 414
Vêtement	8 504	367 018
Cuir et peaux	8 378	334 866
Alimentation	8 441	376 714
Transports et manutention	15 446	489 465
Eau, gaz, électricité	11 831	465 523
Commerces non alimentaires	11 325	450 449
Interprofessionnel	9 861	379 579
Coût moyen France entière (toutes activités)	10 978	416 014

¹ Accidents avec incapacité permanente

elle officialise la mise en place d'une politique sécuritaire dans l'entreprise qui va concerner, sous sa responsabilité, l'ensemble du personnel.

Cette déclaration doit rappeler les principes généraux à respecter et l'assurance d'engager les moyens organisationnels et matériels pour qu'il soient appliqués. Elle doit définir les actions générales :

- démultiplication de l'action par la mise en place d'un système formatif au bénéfice de la hiérarchie pour qu'elle s'implique dans le projet,
- planification des actions informatives et formatives au profit de l'ensemble du personnel,
- activation de la démarche HSCT le plus en amont possible : localisation, matériel et conditions de travail de chaque agent, réaménagement des locaux et des structures de travail, intégration dans les activités et les propositions budgétaires,



- proposition d'actions prioritaires.

Cette politique doit évidemment utiliser le potentiel sécuritaire de l'entreprise : le CHSCT, le médecin du travail ainsi que le personnel consacrant tout ou partie de son temps à cette activité (animateur, responsable, voire service de sécurité).

Conclusions

L'objet de cet article était de tenter de dégager les contingences liées à l'application de la loi du 31 décembre 1991 et de définir une méthodologie de mise en place d'une politique HSCT dans l'entreprise. Pour être efficace, la démarche doit être aussi généraliste et structurée que possible. Dans de nombreux cas, les solutions permettant la réduction des risques existent, mais seule une volonté politique au sein de l'entreprise permettra d'aboutir à des résultats tangibles.

A partir de ces éléments généraux, il est nécessaire, pour chaque type d'activité, de préciser les modalités de son application (par exemple, étudier le cas des laboratoires de chimie ou analogues à l'intérieur desquels on est susceptible de rencontrer une conjonction de nuisances qu'il est impératif de dominer).



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

CNRS Formation

au service de l'Entreprise

du 26 au 29 septembre 1994 à CAEN (14)

Instrumentation nucléaire pour la détection des rayonnements

du 14 au 18 novembre 1994 à BONDY (93)

Spectrométrie d'absorption atomique. Perfectionnement

du 14 au 18 novembre 1994 à GIF-SUR-YVETTE (91)

Les techniques chromatographiques

du 14 au 18 nov. et du 29 au 30 nov. 1994 à ORSAY (91)

**Formation de la Personne Compétente à la radioprotection.
Option IIB : sources non-scellées**

Catalogue, programme et inscriptions :

CNRS Formation

1 place Aristide Briand- 92195 MEUDON Cedex - FRANCE

Téléphone : (33-1) 45 07 56 72 - Télécopie : (33-1) 45 07 59 00

Les enjeux de la chimie européenne

Propos recueillis par **Miren Helou**

Jacques Puéchal, président-directeur général d'Elf Atochem et président du CEFIC (Conseil Européen de l'Industrie Chimique), a fait le 15 mars dernier, une intervention devant l'Association Française des Techniciens du Pétrole* sur le thème "Les enjeux de la chimie européenne". L'industrie chimique est aujourd'hui confrontée à une conjoncture difficile, particulièrement en Europe où se sont cumulées faible croissance de l'économie et forte augmentation du chômage. En abordant quatre thèmes majeurs : présentation, défis, enjeux et solutions, Jacques Puéchal a cherché à définir les options de l'industrie chimique pour le futur.

Portrait de l'industrie chimique

L'industrie chimique est, dans le monde, la troisième branche industrielle et représente pour 1992 un chiffre d'affaires de 941 milliards d'écus (1 écu = 6,57 F environ). Il s'agit d'une industrie complexe et très diversifiée, en termes de produits et de procédés, et dont la croissance est très liée à celle de l'économie.

* Association Française des Techniciens du Pétrole, 39, rue Louis Blanc, 92400 Courbevoie. Tél. : (1) 47.17.67.32.

L'industrie chimique est une industrie fortement capitalistique. C'est une industrie globale, dont les marchés et la compétition se situent la plupart du temps au niveau mondial. La composante technologique est essentielle, d'où une composante recherche très importante.

L'industrie chimique européenne comporte un nombre important d'acteurs. On évalue à 10 000 le nombre d'entreprises dans ce secteur, depuis les très grandes sociétés allemandes jusqu'à un grand nombre de sociétés comptant peu d'employés.

L'industrie chimique européenne demeure la première au plan mondial. Son chiffre d'affaires est de 333 milliards d'écus, soit une fois et demi celui de l'industrie américaine et le double de celui de la chimie japonaise (figure 1).

L'industrie chimique fournit presque tous les secteurs de l'économie :

- l'industrie : 65 % des débouchés (industrie chimique 45 % ; autres 20 %),
- la consommation : 27 % (ménages 16 % ; administration et services 11 %),
- agriculture : 6 %,
- le bâtiment : 2 %.

Elle représente un débouché significatif de l'industrie pétrolière (7 % des débouchés totaux).

Les grands défis

La croissance rapide de l'Asie

La part de l'Asie du Sud-Est dans le produit national brut mondial (PNB) est de 21 % (24 % en 2000). Sa part des marchés chimiques mondiaux est de 26 % (30 % en 2000).

Les investissements des chimistes



Jacques Puéchal, PDG Elf Atochem et président du CEFIC

européens en Asie du Sud-Est vont croissant. Exemple : Elf Atochem à Singapour (NDLR : il s'agit de l'usine de polystyrène d'Elf Atochem, d'un montant de 40 millions de dollars). L'objectif n'est pas de délocaliser les productions d'Europe en Asie, mais de participer à la croissance des marchés locaux et consolider les positions de la chimie européenne au plan mondial.

L'accroissement de la concurrence en Europe

Nous vivons aujourd'hui la deuxième vague du fait de la chute du Mur de Berlin et de l'ouverture des frontières d'Europe l'Ouest. Comment réagir à cette situation ? En essayant de prendre de nouvelles positions dans ces pays et en introduisant de nouvelles formes de coopération avec eux.

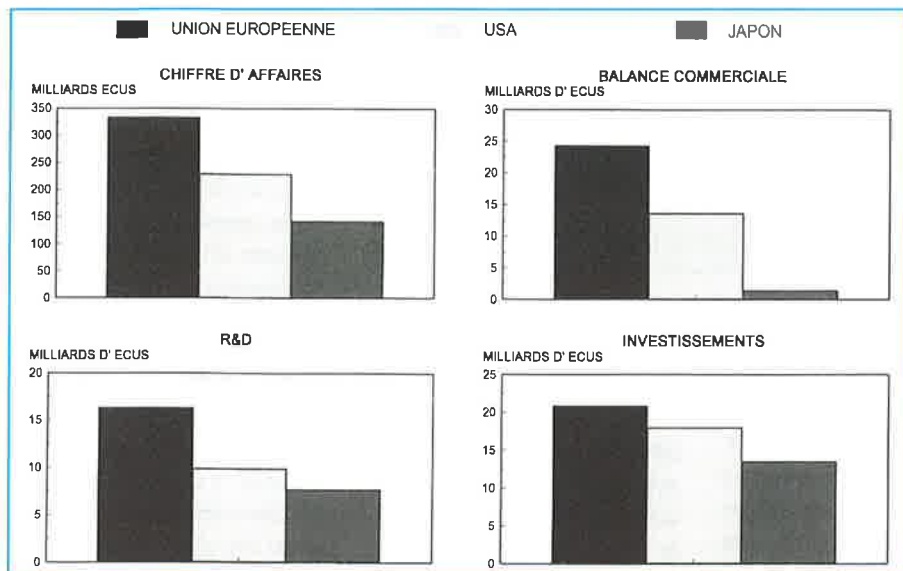


Figure 1 - L'industrie chimique européenne par rapport à ses concurrents (source : CEFIC).

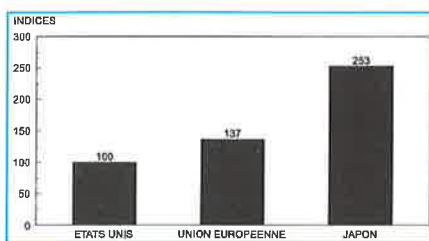


Figure 2 - Les coûts énergétiques dans l'industrie chimique (source : CEFIC). Chiffres 1991.

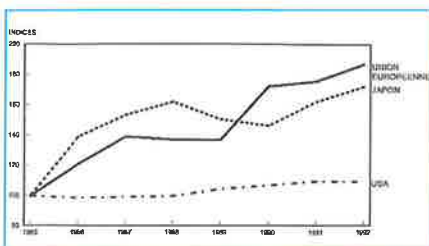


Figure 3 - Les coûts salariaux unitaires dans l'industrie chimique, en dollars US courants (source : OCDE).

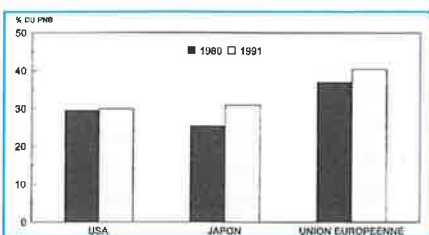


Figure 4 - Évolution de la part des recettes fiscales en % du PNB dans l'industrie chimique (source : OCDE).

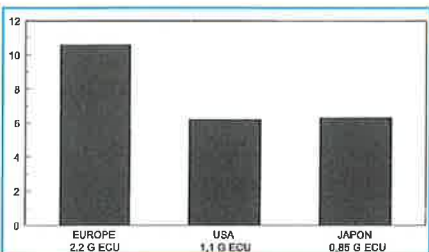


Figure 5 - Les coûts environnementaux dans l'industrie chimique (source : CEFIC).

La pression croissante de l'environnement

À la réglementation européenne - 445 textes législatifs - s'ajoute parfois celle nationale. C'est le cas de la réglementation concernant les emballages et les déchets d'emballages.

Ces trois défis vont influencer l'évolution de l'industrie chimique dans les années à venir, à une époque où elle se trouve confrontée à un enjeu majeur, le maintien de sa compétitivité.

Le maintien de la compétitivité

Quatre facteurs essentiels pèsent aujourd'hui sur la compétitivité européenne :

- Les coûts énergétiques : les matières premières et utilités représentent parfois jusqu'à 80 % des coûts de production. Il est nécessaire d'arriver au niveau de compétitivité de l'industrie américaine dans ce domaine, notamment en évitant d'aggraver le handicap existant par la mise en place d'écotaxes (figure 2).

- Les coûts salariaux qui, ramenés en dollars, ont crû plus vite en Europe qu'aux États-Unis, malgré l'amélioration de productivité (figure 3).

Les taxes représentent le troisième facteur d'atteinte à la compétitivité européenne, la pression fiscale étant, en % du PNB, supérieure d'un tiers en Europe par rapport aux États-Unis (figure 4).

- Les coûts environnementaux : les chimistes européens dépensent des sommes plus importantes que leurs prin-

cipaux concurrents. Ces coûts représentent 10 % (voire 15 à 20 %) du montant de chaque nouvel investissement contre 6-7 % aux États-Unis et au Japon.

Il ne s'agit pas aujourd'hui de revenir en arrière, mais bien d'opter pour une approche scientifique et plus réaliste des problèmes d'environnement et plus pragmatique, quant aux solutions et moyens à mettre en œuvre pour les résoudre (figure 5).

Les solutions à l'échelle de l'Europe

L'amélioration de la compétitivité de l'industrie chimique européenne est une nécessité, car :

- cette industrie emploie directement 2 millions de personnes,
- elle est située en amont de nombreux secteurs industriels (automobile, électronique..) et sa compétitivité conditionne celles de ces secteurs.

Quatre solutions doivent être étudiées :

- Un marché intérieur européen à achever. Beaucoup de dérives subsistent. Ce n'est pas "trop d'Europe" qui nous guette mais "pas assez d'Europe".

- Une politique commerciale européenne. Elle donnera à l'industrie européenne les garanties nécessaires vis-à-vis de pays n'appliquant pas les mêmes standards "environnementaux" et de protection des travailleurs.

- De nouvelles alliances, passant par la recombinaison des différents facteurs de production.

- Une politique de recherche et développement dynamique soutenue par un cadre réglementaire favorable, en ligne avec la politique de recherche suivie aux États-Unis et au Japon, notamment pour les biotechnologies.

Mais le succès de l'industrie chimique dépendra aussi du niveau de confiance qui aura été développé avec l'ensemble de la société. D'où les efforts du CEFIC et de l'industrie chimique, et notamment la publication régulière de rapports environnement, détaillant performances et objectifs de progrès dans ce domaine.

J. Puéchal a conclu en exprimant une grande confiance dans l'aptitude de l'industrie chimique à créer les conditions de son succès futur.

NORMES DE RECYCLAGE DES EMBALLAGES EN POLYSTYRÈNE EXPANSÉ

Le SNPA (Syndicat National des Plastiques Alvéolaires) a signé le mardi 1er mars 1994 un accord international, sur le recyclage des emballages en polystyrène expansé, avec ses homologues de 17 pays différents dans le cadre de l'EUMEPS (European Manufacturers of Expanded Polystyrene).

Considérant que les normes de gestion des déchets solides varient largement d'un pays à l'autre, cet accord demande aux fabricants d'emballages en polystyrène expansé, via leurs associations nationales respectives, de prendre les actions suivantes :

- Accroître les programmes en cours et en initier de nouveaux qui permettent aux emballages en polystyrène expansé de continuer à satisfaire les normes environnementales locales quel que soit leur pays d'origine.

- Continuer à promouvoir l'utilisation de polystyrène expansé recyclé dans une gamme d'applications aussi vaste que possible.

- Poursuivre le travail en cours pour arriver à des normes environnementales internationales uniformes et conséquentes concernant l'emballage en polystyrène expansé, particulièrement dans le domaine des déchets solides.

- Établir un réseau d'échange d'informations concernant les programmes de gestion des déchets solides et d'environnement du polystyrène expansé entre les professionnels de l'emballage, les producteurs de la matière première, les responsables gouvernementaux, les fabricants d'emballage en polystyrène expansé et les consommateurs.

• **SNPA, 15, avenue du Recteur Poincaré, 75016 Paris. Tél. : (1) 45.20.42.68. Fax : (1) 42.24.59.02.**

ANVAR : BILAN 93 ET OBJECTIFS 94

Henri Guillaume, président-directeur général de l'Anvar, a

En bref

présenté les résultats de l'Anvar en 1993 et les objectifs pour 1994.

En 1993, les PMI ont maintenu leur effort d'innovation et leurs investissements de R & D. L'Anvar a soutenu cet effort au titre de l'aide à l'innovation pour un montant de 1,422 milliard de francs, dont 1,293 milliard directement pour les entreprises.

Pour 1994, les crédits de paiement de l'Agence augmentent de 16 %, ils devraient atteindre 1,5 milliard (dont 996 MF de dotations budgétaires, auxquels s'ajoutent les remboursements d'aides antérieures).

L'Anvar a atteint l'objectif des 1000 aides aux jeunes fixé par François Fillon, ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, et y a consacré 24 millions de francs. L'action en faveur des jeunes sera encore intensifiée en 1994.

Le conseil d'administration du 18 mars 1994 a élargi le champ d'action de l'aide à l'embauche de chercheurs. L'Anvar soutient, par une subvention plafonnée à 200 000 francs, l'embauche, par une PME de moins de 2 000 personnes, d'un ingénieur ou d'un docteur affecté à des travaux de recherche et développement. Cette mesure abaisse le niveau minimal de formation requis de bac + 6 à bac + 5.

• **Anvar, 43, rue de Caumartin, 75436 Paris Cedex 09. Tél. : (1) 40.17.83.00. Fax : (1) 42.66.02.20.**

RHÔNE-POULENC S'IMPLANTE DANS LES SILICES AUX ÉTATS-UNIS

Le secteur Intermédiaire organiques et minéraux (IOM) de Rhône-Poulenc a lancé, dans le

cadre de sa filiale américaine Rhône-Poulenc Basic Chemicals, la construction aux États-Unis d'une unité de production de silices précipitées et a décidé d'y renforcer ses laboratoires d'applications. Ces actions permettront de répondre à la croissance de nouveaux segments de marché des silices, notamment dans les industries du pneumatique et du dentifrice.

D'une capacité initiale de 20 000 tonnes, aisément extensible, cette unité sera construite sur le site Rhône-Poulenc de Chicago Heights 1 (Illinois) et sera opérationnelle au milieu de l'année 1995.

• **Rhône-Poulenc, Secteur Intermédiaire organiques et minéraux, 25, quai Paul Doumer, 92408 Courbevoie Cedex. Tél. : (1) 47.68.02.15. Fax : (1) 47.68.14.44.**

ACCORD POUR UNE PRODUCTION DE PARAXYLÈNE HAUTE PURETÉ

L'Institut Français du Pétrole (IFP) et Chevron Chemical Company (CCC), filiale à 100 % de Chevron Corporation, annoncent la signature d'un accord pour le développement commercial conjoint d'Eluxyl. Cette nouvelle technologie a été mise au point par l'IFP pour la production de paraxylène haute pureté.

L'accord porte sur la construction et les essais d'une unité de démonstration dans la raffinerie Chevron de Pascagoula (Missouri/États-Unis) où sont localisées les installations de production de paraxylène de CCC.

• **Institut Français du Pétrole, BP 311, 92506 Rueil-Malmaison Cedex. Tél. : (1) 47.52.67.16. Fax : (1) 47.52.70.96.**

LE PROJET DE RAFFINERIE DE LEUNA

Le Conseil d'administration d'Elf Aquitaine a approuvé l'action de son président et le projet d'accord sur la construction de la nouvelle raffinerie de Leuna entre la Treuhandanstalt et Elf Aquitaine.

L'engagement de Thyssen Handelsunion dans le consortium, soit 33 %, sera repris par la société chimique allemande Buna GmbH lorsque Thyssen décidera de sortir du projet. A cette occasion, Buna pourrait racheter à Elf 33 % du capital de l'ex réseau de distribution Minol.

Par ailleurs, les sociétés pétrolières d'État russes, Rosneft, Surgutneftegaz, Megionneftegaz, d'une part, et Elf Aquitaine, d'autre part, ont conclu un accord prévoyant leur entrée à hauteur de 24 % dans le projet de Leuna.

La part d'Elf Aquitaine dans ce projet qui se trouvait être de 100 % du fait de la possibilité de sortie de Thyssen sera donc, à terme, ramenée à 43 %.

• **Elf, tour Elf, Cedex 45, 92078 Paris-La Défense. Tél. : (1) 47.44.37.76. Fax : (1) 47.44.68.21.**

TRANSFORMATION DES CATALYSEURS USAGÉS POUR GAZ D'ÉCHAPPEMENT

La société Degussa a récupéré en 1993, à partir de 250 tonnes de catalyseurs usagés, des métaux précieux tels que le platine, le rhodium et le palladium pour une valeur d'environ 10 millions de DM. Ces matériaux proviennent d'Allemagne, des pays européens dotés d'une législation dans le domaine des pots catalytiques ainsi que d'Amérique du nord et d'Amérique du sud.

Le recyclage de ces derniers est un marché prometteur. Selon les estimations de Degussa, la valeur estimée de métaux précieux s'élevait à environ un milliard de DM.

• **Degussa AG, D-60287 Frankfurt-am-Main. Tél. : +49 (69) 218-28 60. Fax : +49 (69) 218-37 43.**

Enseignement, images vidéo, ordinateurs... 10 ans après...

Jean-Pierre Rabine * ingénieur

Dans l'avant-propos des actes d'un colloque organisé en juin 1984 à Bruxelles [1], Bernadette Wilmet écrivait : «*Il serait impensable qu'on néglige désormais dans l'enseignement l'apport des techniques audio-visuelles...*». Dix ans plus tard, on ne peut malheureusement pas prétendre que l'apport des techniques audio-visuelles [2] ait été fondamental dans l'enseignement. Bien que la volonté d'introduction des nouveaux médias constitue toujours l'un des objectifs proclamé du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, une étude récente [3] montre que dans de nombreuses disciplines, s'il existe beaucoup d'idées et de réalisations, les pionniers de l'audiovisuel et de l'informatique sont toujours plus ou moins isolés dans leur avant-poste et souvent considérés comme marginaux dans leur discipline. On reste au stade de la craie et du tableau noir... Cette étude fait ressortir malgré tout que la chimie est la discipline la plus innovatrice dans

le domaine de l'utilisation des nouvelles technologies de communication. On ne peut que s'en féliciter... et toujours continuer à s'agiter ! A l'heure où l'on parle de plus en plus des médias, des multimédias et où l'on se demande encore et toujours... s'il faut les utiliser [4], il semble intéressant de voir quels sont les nouveaux outils de technologie éducative disponibles dans l'enseignement de la chimie, à savoir le vidéodisque, le CD-Rom et l'ordinateur [5].

Le vidéodisque et le CD-Rom

Le vidéodisque

Bien moins répandu que le rétroprojecteur, le projecteur de diapositives, de films, le magnétoscope..., le lecteur de vidéodisque est un outil puissant pour la manipulation des images fixes ou animées. Il permet la recherche rapide et la projection d'images et/ou de séquences d'images avec possibilités d'arrêt, de ralenti, d'accélération en marche avant ou arrière sans aucune usure notable du disque en raison du procédé de lecture adopté (rayon laser sans contact physique avec le support).

Le principe du vidéodisque a été décrit dès 1927 par John L. Baird, physicien écossais, et la technologie dévelop-

pée à partir des années 70 par différents constructeurs avec des standards propres. On en comptait plus d'une douzaine fin 1980, un seul standard reste actuellement sur le marché, le vidéodisque optique laser conçu par Philips. De la taille d'un disque 33 tours ordinaire (30 cm), d'une épaisseur de 2,5 mm, chaque face du disque peut contenir 54 000 images enregistrées sous forme analogique. Sa vitesse de rotation de 1 500 tours par minute donne une grande stabilité lors de la lecture d'images fixes. Chaque image étant indiquée, l'accès à une image ou à une séquence d'images ne prend pas plus de 3 secondes. On atteint même des vitesses d'acquisition de l'information bien supérieures sur les appareils actuels. Cette vitesse d'accès, importante pour l'interactivité, ne peut pas être obtenue avec les appareils à lecture séquentielle, tels que les projecteurs de diapositives ou de films, et même les magnétoscopes. Cette caractéristique range le vidéodisque (tout comme le CD-Rom), dans la catégorie des unités de stockage les plus rapides au niveau de la restitution de l'information.

Par contre, comme une séquence animée requiert la projection d'au moins 25 images par secondes, chaque face du vidéodisque ne peut contenir que 36 minutes de projection. Ce constat explique pourquoi le vidéodisque n'est pas un support qui a conquis le «grand public»... Sa capacité ne suffit pas pour enregistrer la totalité d'un film classique (environ 1 heure 30). Des essais de compression ont été tentés pour mettre plus d'images sur le disque... mais sans suite.

Malgré cela, le vidéodisque reste encore le support le mieux adapté pour

* Centre Documentaire Informatique Enseignement Chimie (CDIEC), Université de Nice Sophia-Antipolis, 06108 Nice Cedex 02.
Tél. : 93.52.99. 64. Fax : 93.51.79.25.

les applications audiovisuelles interactives (quoique l'avenir semble appartenir au CD-Rom). Le vidéolecteur peut être utilisé [6] comme un simple lecteur du disque en continu (pour des opéras), avec la possibilité d'accéder à l'image que l'on désire avec des arrêts automatiques préprogrammés sur une séquence d'images ou sur un chapitre, ou avec un contrôle par micro-ordinateur. Dans ce dernier cas, le vidéolecteur peut se comporter soit comme un périphérique de lecture d'images ou de séquences d'images asservi à un programme informatique, soit comme une partie essentielle d'un système informatique interactif.

Cette association des deux techniques, l'envoi d'informations sous forme d'images fixes ou animées avec contrôle par ordinateur et l'envoi parallèle de séquences interactives sur ordinateur est communément appelé multimédia. Il peut aussi mettre en jeu le son provenant de la source vidéo ou de la partie informatique (une carte interface sonore est alors nécessaire).

Toutes les fonctionnalités du lecteur vidéodisque peuvent être gérées par logiciel, à condition que le vidéolecteur soit adressable par ordinateur (par exemple par le port série RS232). C'est à l'auteur du programme de mettre en œuvre ces fonctionnalités en fonction des interactions qu'il désire. Il peut écrire un simple programme de commande, sorte de menu déroulant géant, qui adresse au vidéolecteur le numéro ou la séquence des numéros d'images à afficher, ou réaliser un didacticiel dans lequel des questions relatives aux images provenant du vidéodisque sont posées. Dans le premier cas, l'ordinateur se substitue simplement à la télécommande du vidéolecteur, alors que dans le second une activité de réflexion est développée. Notons qu'il existe maintenant des vidéolecteurs avec commande par l'intermédiaire d'un lecteur code-barres. Mis à part le numéro de début des séquences, les documents d'accompagnement des vidéodisques contiennent maintenant en plus un code-barres pour chaque séquence ce qui évite de saisir des séries de 5 numéros sur la télécommande.

Les modes d'interactivité possibles

L'interactivité qui s'institue relie l'image vidéo affichée et la question qui

est posée par l'ordinateur. Au niveau de la conception du programme informatique, deux options sont offertes avec l'emploi du vidéolecteur.

- Soit on dispose de deux écrans, l'un pour l'image vidéo et l'autre pour l'affichage de l'ordinateur. L'image vidéo n'est pas intégrée à l'écran informatique et le vidéolecteur a une fonction périphérique et illustratrice. Dans ce cas, on ne peut pas masquer certaines parties de l'image vidéo. L'ordinateur commande l'affichage d'images fixes ou animées en fonction de la séquence en cours du programme informatique. On peut très bien imaginer des séquences vidéo qui font appel à des questions-réponses, s'enchaînant ensuite par une projection de nouvelles séquences filmées infirmant ou confirmant la réponse de l'apprenant.

- Soit l'image du vidéolecteur est dirigée sur le moniteur de l'ordinateur. Les deux affichages s'effectuent sur le même écran. On peut alors masquer une ou plusieurs parties de l'image vidéo... Le mixage du signal vidéo et informatique requiert l'utilisation d'une interface et d'un moniteur particuliers ou d'un adaptateur (IBM M-motion adapter par exemple), pour afficher en même temps sur un écran VGA graphique standard des signaux informatique et vidéo (sur une partie ou sur la totalité de l'écran).

Comme chaque image doit s'insérer dans une interaction programmée, la réalisation de la maquette du vidéodisque doit parfaitement suivre la réalisation de la maquette du programme informatique. Quand on connaît les contraintes de la production d'un vidéodisque et celles de la réalisation d'un programme informatique, lier les deux relève d'une véritable gageure...

Le CD-Rom

C'est un disque compact obtenu par pressage constituant un support de stockage non réinscriptible (Compact Disk - Read Only Memory). Un CD-Rom peut contenir 750 millions d'octets, dont 630 sont disponibles pour stocker 650 000 pages de texte ou 40 000 images de définition moyenne ou 1 heure de vidéo plein écran, ou 4 heures en 1/4 écran. L'affichage de l'image vidéo est intégré dans l'environnement informatique. Il faut savoir

qu'une séquence animée (25 images/seconde), dont chaque image possède une définition de 256x512 points en 256 couleurs, requiert environ 3 millions d'octets par seconde [7]. Il devient donc nécessaire de comprimer l'information puis, pour la restituer, de la décompacter à l'aide de logiciels particuliers (IBM PhotoMotion, par exemple) et d'avoir aussi des systèmes qui permettent une vitesse importante de transfert des données. Malheureusement, il n'y a pas encore de standardisation de tous les lecteurs CD. A chaque lecteur CD-Rom correspond un logiciel d'exploitation (logiciel de pilotage) spécifique qui permet la recherche de l'information sur le disque. Au niveau des ordinateurs dits «multimédias», plusieurs systèmes coexistent sur le marché pour les différents types d'ordinateurs. Des kits sont commercialisés pour équiper les PC sous environnement Windows en poste multimédia. Tous permettent d'afficher sur un même écran à la fois l'image vidéo et le signal informatique avec plus ou moins de possibilités au niveau du stockage des informations, des vitesses de transferts, avec ou sans carte interface pour le son généré par l'ordinateur, etc. Le confort d'utilisation dépend des sommes investies.

La technologie du CD-Rom est en constante évolution. Son utilisation a un avenir prometteur, mais tout comme le vidéodisque, cette technologie reste coûteuse au niveau de la conception, de la réalisation et du pressage des disques. Même si les moyens d'acquisition des images deviennent de plus en plus abordables, la qualité nécessaire pour ce type de réalisation réclame la participation d'un personnel hautement qualifié et spécialisé dans la technique. Au niveau du disque, à la fin de la chaîne de réalisation, quand la matrice est conçue, les prix de pressage sont inversement proportionnels au nombre de disques désirés. Malgré cela, compte tenu des étapes précédentes, le prix du disque reste important quand on vise des marchés qui ne sont pas internationaux. Les risques à prendre sont donc importants pour les concepteurs-réalisateurs, les producteurs, ce qui explique peut-être le petit nombre de vidéodisques et de CD-Rom en chimie actuellement sur le marché.

Les expériences de «vidéo» interactive en chimie

Les bandes vidéo

L'utilisation classique de bandes vidéo (pour magnétoscopes) permet d'illustrer des réactions dans leurs conditions réelles de déroulement [8], parfois impossibles à réaliser dans une salle de cours traditionnelle. C'est un moyen économique de faire de la chimie en présence d'un nombre important d'étudiants, lorsque la faiblesse des moyens disponibles interdit la répétition d'une expérience. Son enregistrement dans de bonnes conditions à la fois matérielles et opératoires (manipulation parfois obligatoire sous une hotte), avec une sécurité optimale, permet, grâce à la projection de séquences vidéo, de palier l'absence d'expériences de cours.

De nombreuses bandes vidéo pour magnétoscopes sont disponibles en chimie et un examen exhaustif de ce marché sera de plus en plus difficile à effectuer, compte tenu de la facilité de création de ce type de support avec les moyens audio-visuels légers disponibles maintenant. Un catalogue inventaire [9], regroupant la description de plus de 250 films et vidéos pour magnétoscopes, a été établi en 1984 par Bernadette Wilmet, responsable à l'époque du groupe «Enseignement assisté par multimédias» mis en place en 1983 par ReCoDiC¹.

Dix ans après, il n'existe pas, à notre connaissance, de compilation similaire et les données de ce catalogue consti-

tuent un point de départ indispensable pour toute recherche d'information sur les réalisations audiovisuelles (diapositives, films, vidéos, transparents) existant en chimie.

Pour suivre la production anglophone, il suffit principalement de consulter le *Journal of Chemical Education*. Le numéro de juillet 1993 annonce ainsi 4 nouvelles bandes, une sur la catalyse et trois autres sur des expériences de chimie. De nouvelles productions sont décrites dans les numéros suivants... c'est dire que la production est féconde !

Malgré tout, la bande vidéo a un inconvénient important : son défilement séquentiel. La recherche d'une image ou d'une séquence filmée peut prendre plusieurs minutes, selon la longueur de la bande et la position à partir de laquelle la recherche est ordonnée. L'interactivité peut s'en trouver pénalisée et l'élève démotivé [10], ce qui n'est pas le cas avec le vidéodisque interactif où l'accès est quasi immédiat. Cet aspect contraignant du temps d'accès à l'information limite la durée des vidéocassettes, actuellement disponibles, à une heure ou la moitié.

Les vidéodisques

Dès 1980, les premières expériences de vidéodisque interactif en chimie ont été menées aux États-Unis, l'une à l'université de Californie à Los Angeles [11] et l'autre dans le Nebraska [12]. Dans le premier cas, un programme d'utilisation était mémorisé sur le disque et permettait l'accès à certaines séquences en fonction de réponses à des questions à choix multiples. Dans le second cas, le vidéolecteur était l'esclave d'un ordinateur et un programme permettait un échange interactif avec l'élève. A des phases d'affichage de séquences vidéo pouvaient succéder des phases de questions-réponses sur l'ordinateur et ainsi de suite.

Ces premières expériences montrèrent l'enthousiasme des étudiants devant ces nouveaux médias qui leur permettaient de travailler à leur propre rythme, de voir et revoir à volonté des séquences vidéo sur des manipulations de laboratoire et des réactions. A notre connaissance, les vidéodisques mentionnés dans ces deux articles ne sont pas distribués.

La plus importante expérience d'intégration de la vidéo interactive est l'expérience faite par L.L.Jones et S. Smith de l'université de l'Illinois : Exploring Chemistry. 4 vidéodisques ont été réalisés. D'autres vidéodisques au standard américain NTSC, incompatible avec le standard PAL européen (il est nécessaire d'avoir un lecteur approprié pour utiliser ces disques), existent en chimie. Ce sont : - Chemistry at work, - Redox, - The world of chemistry : Selected Demonstrations and Animation I & II, - Demonstration in Organic Chemistry, - The periodic Table videodisc, - Chemistry in Motion. Un disque au format européen est maintenant disponible : Images des Corps Simples.

Exploring Chemistry

En 1984, grâce au projet Excel, Loretta L. Jones et Stanley Smith du département de chimie de l'université de l'Illinois ont pu mettre en place un centre d'enseignement utilisant les techniques de l'informatique et de la vidéo interactive avec le soutien conjoint de leur université et d'IBM, pour étudier l'impact de ces technologies avancées dans le domaine de l'éducation. 30 stations de travail équipées d'un ordinateur, d'un lecteur de vidéodisque et d'un moniteur permettant d'afficher simultanément les signaux vidéo et informatique, d'une interface pour mixer simultanément les deux signaux furent installées. 20 autres stations étaient en outre équipées d'écrans tactiles. Ces ordinateurs étaient en réseau pour faciliter la gestion et le stockage des données. Ce centre recevait à l'époque près de 3 000 étudiants par an pour effectuer des simulations d'expériences de laboratoire avant les travaux pratiques [13]. Il était ouvert en libre accès 84 heures par semaine.

Ce système permettait aux étudiants de réaliser des réactions en choisissant eux-mêmes les réactifs et de voir les résultats de leurs «expériences» en vidéo, même quand celles-ci sont hasardeuses et/ou dangereuses. Parallèlement, l'étude des paramètres des réactions pouvait être effectuée avant l'expérimentation au laboratoire.

L'avantage de telles manipulations prélaboratoire réside dans le fait que l'étudiant doit préparer lui-même ses expériences. Il doit prévoir le matériel à

1 Recherches Coopératives en Didactique de la Chimie : réseau interuniversitaire franco-phoné créé en 1976 avec le soutien de la direction des Enseignements supérieurs, en vue du développement coopératif des innovations, recherches, études, et toutes réalisations utiles à l'enseignement de la chimie en langue française. La dissolution du réseau en tant que structure organisée a été effectuée fin 1985. Deux nouvelles structures ont été mises en place : le Réseau des Enseignants de Chimie de Langue Française (RECLAF) et - le Service Enseignement Supérieur - Didactique de la Chimie (SESDIC) qui concerne plus spécifiquement la France. Pour tout renseignement sur ces structures, veuillez contacter le SESDIC [2].

utiliser, les produits à demander, etc., et réaliser seul son expérience. Son intérêt est donc de simuler le plus possible son expérimentation, avant d'en entreprendre sa réalisation pratique... Dans le cas de cette simulation prélaboratoire un énorme gain manipulatoire est obtenu, car l'apprenant peut étudier au préalable l'appareillage qu'il doit utiliser et établir quelles sont les meilleures conditions opératoires à appliquer. La sécurité au laboratoire se trouve également augmentée car il est évident que l'accent est porté dans la vidéo sur le bon geste à accomplir et illustre les erreurs classiques à ne pas commettre.

Signalons que, dans le domaine de la sécurité au laboratoire, une réalisation française [14] permet maintenant de rendre la formation du chimiste plus efficace en travaux pratiques, grâce à un magnétoscope asservi à un ordinateur. Le didacticiel permet à la fois la commande du magnétoscope et une interaction avec l'utilisateur. L'ensemble traite de l'initiation aux techniques de laboratoire de chimie et des règles de bases en matière de sécurité et de prévention.

Un projet similaire sur la sécurité au laboratoire de chimie est également mené à l'université de Twente [15] et devrait conduire à la réalisation de 3 vidéodisques et CD-Rom avec les logiciels interactifs correspondants.

Le premier *videodisc laboratory* produit par le centre de l'université de l'Illinois contient 18 leçons. Elles illustrent la cinétique chimique, la notion d'équilibre, le comportement physico-chimique des gaz, les équations et les réactions chimiques. Chaque leçon nécessite une interaction d'environ une demi-heure pour pouvoir être correctement assimilée. L'apprenant peut agir sur de nombreux paramètres tels que : concentration, température, pression, selon le thème abordé, et voir les conséquences de ses choix dans ses différentes simulations. Il est certain qu'un utilisateur qui se prend au jeu de la simulation acquiert, et souvent sans s'en rendre compte, une vue globale du phénomène sans commune mesure avec celle d'un élève qui ne ferait qu'une seule expérience en travaux pratiques. C'est dire combien ce vidéodisque est un complément efficace. Il ressort de ces premières expériences de vidéo interactive que les étudiants qui ont

suivi cet enseignement manifestent plus de confiance en soi au niveau de leur manipulation et sont beaucoup plus à même d'interpréter les résultats qu'ils obtiennent. Cette évaluation positive encouragea les responsables à poursuivre et développer l'expérience.

Deux nouveaux disques [16], *Gases et Kinetics and Equilibrium*, contenant 30 leçons furent mis au point pour permettre la visualisation de réactions trop dangereuses, trop chères ou nécessitant trop de temps pour leur réalisation. Il est ainsi possible de montrer aux étudiants des expériences qu'ils ne sont pas en mesure de réaliser... Parallèlement, le programme sur ordinateur permet de poursuivre directement l'expérience par une phase d'analyse et d'interprétation à l'aide de questions, réponses, commentaires. Le quatrième vidéodisque de la collection traite des réactions acide-base ainsi que de la chimie des métaux de transition.

Au niveau matériel, L.L.Jones et A.Smith ont mis au point plusieurs moyens de mixage des images vidéo et du programme informatique [17]. En effet, l'évolution des techniques est rapide et il est maintenant possible d'utiliser des cartes interfaces qui traitent l'image vidéo «analogique» provenant du vidéodisque ou d'utiliser directement le signal de l'image vidéo «digitale» stockée sur CD-Rom et lue par le lecteur de CD. Les images de la collection des vidéodisques *Exploring Chemistry* ont été compactées et sont maintenant disponibles sur ce type de support [18]. L'évolution matérielle et logicielle a également permis d'envisager plusieurs types d'interactions dans cette collection de leçons : choix multiples, choix sur écran tactile, choix par pointage à la souris...

Cette production reste la plus importante dans le domaine de la vidéo interactive. L'expérience dure toujours et depuis 1993, le centre possède 63 stations et plus de 2 000 étudiants y passent chaque semestre !

Chemistry at Work

Ce vidéodisque [19] contient des images fixes (graphiques, diagrammes) ainsi que des séquences animées sur des expériences trop dangereuses à faire effectuer par des apprenants et/ou qui

mettent en œuvre des produits toxiques, onéreux... D'après le peu d'informations dont nous disposons, ce disque serait destiné principalement à l'enseignement secondaire.

RedOx

C'est un vidéodisque qui permet de visionner 57 réactions d'oxydoréduction [20]. Ces réactions sont souvent très dangereuses et nécessitent parfois l'emploi de réactifs très toxiques ; les explosions sont audibles et vous pourrez visionner ces réactions en toute sécurité et sans aucun désagrément !

C'est un disque organisé en chapitres avec des arrêts préprogrammés, des séquences filmées et des séquences d'images fixes extraites de la séquence filmée. Après le titre de la réaction, une vue détaille les appareils, les réactifs utilisés, avec quelques légendes (en anglais). La réaction est ensuite déclenchée. A la fin, une séquence d'images fixes peut détailler les phases principales de la réaction. Le son et la couleur jouent un rôle très important sur ce vidéodisque.

Les actions à effectuer sur la télécommande du vidéolecteur sont affichées pour chacune des séquences.

Le manuel d'accompagnement détaille toute les réactions et donne les références bibliographiques permettant de retrouver la description originale de la réaction. Les équations des réactions ne sont pas affichées au niveau des images du vidéodisque, mais sont mentionnées dans le livret d'accompagnement.

Un disque pour ordinateur Macintosh accompagne également ce vidéodisque. Il contient un programme d'hypercartes (Hypercard version 1.2xxx et version 2.0) avec les détails contenus dans le manuel d'accompagnement. Ce programme permet la commande interactive du vidéolecteur ; un accès aux réactions est possible à partir des éléments du tableau périodique. C'est un programme limité au pilotage du vidéolecteur et à l'affichage d'informations. Chaque «carte», correspondant à une réaction, fournit l'équation de la réaction. Par contre, ce programme ne contient pas de séquences interactives du type question-réponse-commentaire.

The World of Chemistry : Selected Demonstrations and Animations I & II

Ces deux disques [21, 22], principa-

lement à l'usage des lycées, sont tirés d'une série télévisée de même nom. Le premier permet l'étude des états de la matière, de la structure atomique, du tableau périodique, des structures moléculaires ; il permet aussi d'introduire la thermodynamique, l'électrochimie et les notions d'acide et de base. Le second est consacré à la chimie descriptive et appliquée dans les domaines de la biochimie, de la chimie organique, de la chimie inorganique et de la chimie de l'environnement.

Certaines réactions sont suivies par des animations qui permettent de saisir ce qui se passe au niveau moléculaire. Les apprenants peuvent ainsi voir ce qui se passe à la fois dans le macro- et le micromonde chimique. Ce parallélisme a pour but de rendre plus aisée la conceptualisation des phénomènes observés.

Toutes les séquences sont commentées (en anglais) et le texte intégral est fourni dans le document d'accompagnement pour une étude préalable éventuelle. Ce document contient aussi les indices numériques des séquences ainsi que de nombreux détails relatifs aux séquences filmées. Chaque séquence de réaction inclut un arrêt automatique de fin de séquence.

Demonstrations in Organic Chemistry

Il s'agit d'un vidéodisque traitant de chimie générale et organique [23] à l'usage des lycées et du premier cycle universitaire. Il est organisé en 19 chapitres groupant les principales fonctions chimiques. De nombreuses expériences montrent des aspects pratiques de la chimie des carburants, de la chimie alimentaire, pharmaceutique, chimie des colorants et des polymères. Des techniques d'extraction et d'analyses chromatographiques sont filmées. A côté de ces expériences, des séquences sont consacrées à l'utilisation et la manipulation de modèles moléculaires pour illustrer la conformation des alcanes et des cycloalcanes, l'énantiométrie et l'attribution des configurations R ou S à certains centres chiraux. Des notes sont à la disposition de l'enseignant ; elles incluent des détails sur les réactions et les équations de ces réactions.

Pour consultation, un prêt des vidéodisques, *Redox, The world of Chemistry : Selected Demonstrations and Animation I & II* et *Demonstra-*

tions in Organic Chemistry, peut être obtenu auprès du Centre Documentaire Informatique Enseignement de la Chimie (CDIEC). Pour cela, veuillez envoyer au CDIEC le titre du vidéodisque que vous désirez consulter et, pour chaque disque demandé, 2 carnets de timbres au tarif lettre en vigueur pour couvrir les frais d'envoi en formule Colissimo. Le prêt est accordé pour deux semaines maximum.

Le contenu détaillé de chacun de ces disques peut être également obtenu au CDIEC.

Ces trois disques *The World of Chemistry : Selected Demonstrations and Animation I, The World of Chemistry : Selected Demonstrations and Animation II, Demonstrations in Organic Chemistry*, distribués par le *Journal of Chemical Education : Software* [24], sont des disques de 12 pouces, double face, 60 minutes, au format NTSC. Ils ne nécessitent pas l'emploi d'un ordinateur et sont utilisables directement à l'aide de la télécommande du vidéolecteur.

Chemistry in Motion

Ce vidéodisque [25], réalisé par Patricia L. Samuel de l'université de Boston, contient 597 illustrations et 34 expériences de chimie. Il est accompagné d'un manuel indiquant le contenu exact du disque avec les indices des différentes images et séquences animées. Une bande vidéo est également disponible ; elle contient les mêmes images que le vidéodisque.

Un programme de même nom, *Chemistry in Motion*, pour ordinateur Macintosh, distribué par le même éditeur, est également disponible. Ce programme ne semble pas être destiné à la conduite du vidéodisque.

Images des Corps Simples

Ce disque [26] constitue une banque d'images créées, d'une part, à partir de photographies d'échantillons des corps simples et de quelques-unes de leurs applications les plus importantes (corps simples et ses composés), d'autre part à partir de séquences filmées des réactions de ces corps simples avec l'air, l'eau, les acides et les bases, lorsque ces réactions ont effectivement lieu et/ou ont pu être réalisées dans des conditions de coût raisonnables et de risque minimal. Le commentaire de ces images, en sept langues, est le fruit d'une coopération internationale.

La version originale de ce vidéodisque, *The Periodic Table Videodisc*, A.J.Banks, a été publiée par le *Journal of Chemical Education Software - Special Issue 1*. La version européenne a pu être réalisée grâce à l'esprit de coopération et à la compréhension de James V. DeRose, coordinateur des publications du *Journal of Chemical Education*, et de John W. Moore, directeur du Seraphim Project et éditeur du *Journal of Chemical Education Software*, ainsi qu'aux collègues des divers pays européens qui ont assuré les traductions (allemand : J. Brandt, R. Luft, espagnol : A. Ordax, français : R. Luft, D. Cabrol-Bass, italien : E. Roletto, néerlandais : P. Van Zandberger, portugais : V.T. Teodoro).

Le tableau périodique (*tableau 1*) donne le contenu exact du vidéodisque dont la version initiale a été complétée par des images fixes contenant la traduction des textes anglophones originaux dans 7 langues. Ces textes concernent principalement les applications. Pour des raisons techniques, il n'a pas été possible d'intervenir sur les textes incrustés dans les séquences d'images animées. Sur ce disque, sept langues d'usage courant en Europe sont donc disponibles : allemand, anglais, espagnol, français, italien, néerlandais et portugais (le prêt de ce disque pour consultation peut être obtenu auprès du CDIEC selon les conditions mentionnées précédemment).

L'affichage télécommandé des images et des séquences réactionnelles s'effectue à l'aide des indices numériques des images et des séquences qui figurent dans le manuel d'accompagnement. Ce dernier comporte, en outre, pour chacun des éléments, une liste d'applications complémentaires à celles du vidéodisque.

Pour le commentaire des images, vous pouvez retenir une langue parmi sept d'usage courant en Europe : allemand, anglais, espagnol, français, italien, néerlandais et portugais et, grâce à un fichier de configuration, la conserver pour vos utilisations futures.

L'accès aux séquences et aux images est également possible grâce à un programme [27] (pour PC compatibles et vidéolecteur adressable par micro-ordinateur) dédié à ce vidéodisque. Vous pouvez aussi commander le vidéolecteur à l'aide du programme Propriétés des Corps simples (PCS), un logiciel qui

bénéficie d'une diffusion sous contrat de licence mixte [28]. Ce programme permet de retrouver et de manipuler un grand nombre d'informations relatives aux propriétés des corps simples et de mettre en évidence leurs relations avec la place des éléments correspondants dans le tableau périodique de Mendeleïev.

La base de données du programme PCS rassemble les valeurs des propriétés et caractéristiques indiquées figure 1. Le programme peut être employé par le professeur pour collecter sous forme de listes ou de graphiques des données utiles à l'illustration de son cours.

Il peut également être mis à la disposition des élèves pour résoudre une grande variété de problèmes ou de questions faisant intervenir ces données.

L'utilisation du programme se fait par un jeu de menus hiérarchisés très simples d'emploi, pouvant être activés avec la souris ou le clavier.

Doté d'une grande richesse fonctionnelle, le programme offre :

– divers moyens d'accéder à la base de données,

– plusieurs modes de représentation et de comparaison des résultats,

– un ensemble de ressources qui en font un véritable environnement pédagogique d'apprentissage.

Les fonctions de recherche : les données répertoriées dans la base de données peuvent être extraites de plusieurs façons.

Il est possible de :

– Rechercher tous les corps simples présentant une même caractéristique ou pour lesquels la valeur numérique d'une propriété se situe dans une plage que l'on se fixe.

– Classer les corps simples selon l'ordre croissant ou décroissant des valeurs d'une propriété quantitative avec affichage simultané des valeurs de deux autres propriétés.

– Dresser des listes, classées ou non, comportant le numéro atomique, le nom, le symbole et les valeurs de trois proprié-

tés quantitatives pour les éléments dont une propriété entre dans une plage de valeurs.

– Construire des graphes en portant une propriété en abscisse et une autre (ou combinaison de deux autres) en ordonnée. Élargir des portions de graphe, afficher les valeurs individuelles des points du graphe. Le graphe peut se présenter sous forme de nuage de points, d'histogramme ou de courbe de tendance.

– Utiliser la table périodique pour dresser des listes ou construire des graphes le long des lignes ou des colonnes. Cette fonction est très utile pour analyser les tendances le long des groupes ou des périodes.

– Visualiser en trois dimensions les variations d'une propriété selon les lignes et les colonnes du tableau périodique.

– Constituer des ensembles d'éléments dont les corps simples ont des propriétés voisines.

– Consulter à l'écran les fiches des éléments ainsi sélectionnés par l'une ou l'autre des méthodes précédentes.

Pour chaque élément, il est possible de consulter sa carte d'identité en 3 pages d'écran : propriétés macroscopiques, propriétés atomiques et moléculaires (propriétés microscopiques), structure cristalline typique [29].

A partir de ces pages vous pouvez accéder au menu Vidéo. Cette option n'est activable que si un lecteur de vidéodisque est relié à l'ordinateur et que le fichier de configuration a été initialisé préalablement (cette initialisation permet de voir si la liaison entre l'ordinateur et le vidéolecteur est correcte. Elle se fait à l'aide du programme livré avec le vidéodisque). Ce menu offre les possibilités suivantes : vue de l'échantillon, réaction avec l'air, réaction avec l'eau, réaction avec les acides, réactions avec les bases et exemples d'application.

Les fonctions d'accès à la base de données sont complétées par un système expert [30] dont le rôle est de conseiller l'apprenant dans la résolution d'un problème particulier. Le programme comporte un superviseur qui enregistre les différentes commandes et choix effectués par l'étudiant et un moteur d'inférence qui exploite une base de conseils (propre à chacun des problèmes ou exercices) pour fournir des recommandations et avis adaptés aux besoins

Tableau I - Contenu schématique du vidéodisque Images des Corps Simples

Symbole																																													
Signes relatifs à la présence ou à l'absence d'images vidéo.																																													
Images relatives																																													
Séquence filmée sur la réaction																																													
Séquence filmée sur la réaction																																													
<p>☉ à l'échantillon, ☉ aux applications.</p> <p>☉* avec l'air, ☉* avec l'eau,</p> <p>☉* avec les acides, ☉* avec les bases.</p> <p>☐ signifie une absence de réaction donc pas d'image vidéo...</p> <p>⊗ indique une absence d'images vidéo à cause du coût, de la toxicité ou de la radioactivité.</p> <p>⊕ aucune application n'est connue pour cet élément !</p>																																													
H																	He																												
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne																								
Na	Mg															Al	Si	P	S	Cl	Ar																								
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																												
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																												
Fr	Ra	Ac																																											
<table border="1"> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																

Info	Problème	Sélection	Liste	Graphe	Ressources	Conseil
Propriété						
Número atomique	Année de la découverte	Etat physique				
Masse atomique	Nb. d'isotopes	Structure				
Masse volumique	Energie 1ère ionisation	Source				
Dureté (échelle Mohs)	Energie 2ème ionisation	Applications				
Point de fusion	Energie 3ème ionisation	Caractéristiques				
Point d'ébullition	Affinité électronique	Couleur				
Enthalpie de fusion	Electronégativité	Toxicité				
Enthalpie de vaporisat.	Polarisabilité	Action cancérigène				
Enthalpie d'atomisation	Volume atomique	Réaction /air				
Conductivité thermique	Rayon ionique (ion 2-)	Réaction /eau				
Conductivité électrique	Rayon ionique (ion 1-)	Réaction /HCl 6M				
Abondance cosmique	Rayon atomique	Réaction /HNO3 15M				
Abondance croûte terr.	Rayon ionique (ion +1)	Réaction /NaOH 6M				
Coût (qual. analyt.)	Rayon ionique (ion +2)					
Coût (qual. courante)	Rayon ionique (ion +3)					
Nb. oxydation courant Max	Nb. oxydation Max. connu					
Nb. oxydation courant min	Nb. oxydation min. connu					
Grandeur variant entre 1 et 103						
F1 Aide Choisissez une propriété ← Sélection Esc Retour						

Figure 1 - Propriétés et caractéristiques du vidéodisque Images des Corps Simples.

spécifiques de l'étudiant. Ce système n'a pas pour but de remplacer l'enseignant, ni de résoudre le problème à la place des étudiants, mais de prendre en charge les difficultés et besoins les plus fréquemment rencontrés par ceux-ci. La base de conseils traduit une stratégie d'enseignement et doit être conçue et mise au point par l'enseignant pour chaque problème qu'il propose. Pour cela, un système de développement (Éditeur de Base de Conseils) est livré avec le logiciel, il lui permet de construire ou de modifier des bases de conseils conformément à sa stratégie pédagogique personnelle. Un autre programme peut être utilisé pour masquer un certain nombre de propriétés et/ou d'éléments de la base de données. Cette possibilité est intéressante sur le plan pédagogique. On peut en effet demander aux élèves de prédire des valeurs de propriétés ou de prévoir des tendances qui auraient été préalablement cachées.

En dehors du système expert de conseils, le programme intègre les ressources suivantes :

- les définitions de toutes les propriétés référencées, accompagnées de la mention de l'origine des données,
- un bloc-notes permettant à l'élève de consigner ses observations et ses conclusions au cours même de son travail,
- une calculatrice «chimique»,
- un module permettant d'appliquer aux ensembles d'éléments les opérateurs

réunion, intersection ou exclusion pour en former de nouveaux,

- un lexique des termes employés dans le programme,
- un rappel sur le système international d'unités,
- un mode d'emploi hypertexte contextuel détaillant les diverses opérations possibles,
- un journal «historique» de l'activité de l'utilisateur.

Nota : le programme anglophone The periodic table stack [31] est conçu pour la seule version américaine du vidéodisque The Periodic Table Videodisc. Il ne permet pas le pilotage de la version européenne du disque Images des Corps Simples. Les tables d'indices des images sont en effet complètement différentes.

L'ordinateur

Contrairement à l'audio-visuel, l'outil informatique a été mieux intégré dans l'enseignement [5]. Cela est dû essentiellement à la généralisation des cours d'informatique qui ont confronté les enseignants avec les ordinateurs et à l'émergence de deux types d'appareils, Apple et IBM PC.

Il faut relever également que si la philosophie du Macintosh d'Apple est plutôt dédiée aux travaux d'édition et de gestion (ou, du moins, elle l'était fortement au départ et il semble que là aussi les choses commencent à évoluer), le

compatible PC a eu dès sa naissance une vocation plus scientifique : résolution de problèmes de mathématiques, de statistiques, de logique, etc., ainsi que l'analyse de données expérimentales. Beaucoup d'appareils de mesures et d'analyses physico-chimiques sont maintenant couplés à un ordinateur, le plus souvent un compatible PC. Dans les laboratoires de recherche et dans l'industrie, l'ordinateur est devenu le principal instrument pour le contrôle, l'acquisition et le traitement des données. Il est donc impératif que cette évolution apparaisse également au niveau des enseignements pratiques. Une importante expérience est menée d'ailleurs dans ce sens depuis plus de dix ans au Québec à l'université de Sherbrooke [32]. Des expériences similaires sont menées également dans l'Hexagone [33-35].

Dans le domaine des logiciels pour l'enseignement, les réalisations commencent à être nombreuses, mais il reste à maîtriser l'important problème de la circulation de l'information. Celle-ci doit être précise et actualisée.

En ce qui concerne les réalisations anglophones, le meilleur vecteur d'information pour tout ce qui touche le multimédia appliqué à l'enseignement de la chimie reste sans doute le *Journal of Chemical Education* et les publications de l'American Chemical Society. Provenant de ce dernier, un catalogue des réalisations anglophones en chimie est disponible [36] mais ce catalogue inventorie à la fois les logiciels destinés à la recherche et à l'enseignement.

Pour les réalisations francophones, rappelons que le Centre Documentaire Informatique Enseignement Chimie (CDIEC) réalise tous les deux ans le catalogue inventaire des Applications pédagogiques de l'ordinateur en chimie. L'édition 1994 regroupe 161 applications de l'ordinateur en chimie. Ce catalogue est principalement diffusé sous forme d'une base de données directement consultable (sur IBM PC, disquette 5"1/4 et 3"1/2) dans laquelle la recherche peut se faire par mots clefs, noms des programmes et applications, nom(s) d'auteurs [37]. Une édition papier est également disponible.

En alternance avec l'Institut National de Recherche Pédagogique (INRP) et l'Union des Physiciens (UdP) qui

organise les Journées informatiques et pédagogie des sciences physiques [38], le CDIEC organise les Journées sur les méthodes informatiques dans l'enseignement de la chimie (MIEC) [39]. Il est possible grâce à ces manifestations de se tenir au courant des dernières innovations dans le domaine de l'utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques.

Nous ne reviendrons pas sur les avantages et les multiples utilisations de l'ordinateur en chimie. Ces aspects sont fréquemment développés [40]. Le seul problème reste sans doute celui de «l'intégration de l'informatique dans l'enseignement et la formation des enseignants» [41]. Plus de vingt ans après les premières opérations nationales d'introduction de l'informatique dans les lycées, le problème reste toujours entier, à la fois dans les lycées mais aussi dans le supérieur...

La situation «multimédiate» de l'Université

Suite à l'enquête commandée par la Mepente [2] sur les utilisations pédagogiques des nouvelles technologies dans les premiers cycles universitaires, un séminaire a été organisé [42] avec l'objectif «de faire se rencontrer les acteurs les plus motivés et les plus imaginatifs, de rapprocher des audiovisuels et des informaticiens, pour qu'ensemble ils imaginent des voies nouvelles susceptibles de déboucher sur des solutions réalistes et acceptables par les différents partenaires».

Lors des travaux de ce séminaire de nombreuses questions ont été soulevées et abordées...

Quelles peuvent être les stratégies de conviction qui amèneraient les enseignants à pratiquer les nouvelles technologies ?

Comment utiliser ces nouveaux médias, comment les insérer dans les cursus ?

Comment évaluer les projets en termes d'opportunité, mais aussi de budget ?

Comment faire l'économie de médiatisation, de la production ?

Comment faire reconnaître le travail de créateurs de nouveaux médias ?

Comment faire passer l'information ? etc.

Le multimédia étant le fruit de la rencontre de l'audiovisuel (liant l'image et le son) et de l'informatique grâce au «tout numérique», la chaîne de production est très complexe et nécessite de faire appel à de nombreuses compétences à la fois au niveau de l'audiovisuel (saisie des images, du son, édition, conversion, compression, transfert, réalisation du «master», pressage du disque) mais également au niveau de l'informatique (la qualité requise aujourd'hui par les logiciels informatiques nécessite la mise en place d'une équipe de pédagogues, scénaristes, informaticiens).

Le «concepteur-réalisateur-diffuseur» isolé, c'est-à-dire l'auteur type de la précédente décennie, ne peut plus entrer en compétition. Le multimédia à venir sera le fruit du travail de plusieurs années d'une équipe de «concepteurs médiatiques». De ce point de vue, il est ressorti nettement des débats qu'un soutien institutionnel est nécessaire pour faire progresser l'usage des nouvelles technologies, soutien à la fois matériel et humain, et surtout soutien au niveau d'une prise en compte non négative (voir le compte rendu du CNU dans *L'Actualité Chimique* du mois de décembre 1992) du travail pédagogique effectué par ceux qui y croient encore...

Suite à ce séminaire de Bouzigues, une association (type loi 1901) à structure fédérative a été créée : Item-Sup (Intégration des Technologies Modernes dans l'Enseignement Supérieur). L'objet de cette association est de «susciter et encourager toutes les actions visant à reconnaître, développer et intégrer les technologies de la documentation, de la communication et du traitement de l'information, principalement dans le cadre des missions de l'enseignement supérieur». A cette fin et selon l'ensemble de ses fondateurs, «l'association :

- contribuera à mieux définir la place que les technologies doivent occuper dans le système universitaire et éducatif, en collaboration avec tous les partenaires concernés ;
- demande que les recherches scientifiques développant des concepts, des savoirs, des méthodes, des réalisations ou des produits liés à l'utilisation des technologies modernes, soient reconnues par les instances qui ont à en connaître dans le système universitaire ;

- demande que les compétences professionnelles, les réalisations et les productions des techniciens, ingénieurs et documentalistes soient reconnues et prises en compte dans l'évolution de leurs carrières ;

- affirme la nécessité d'une formation initiale et continue des personnels enseignants à l'utilisation de ces technologies dans les enseignements des disciplines ou spécialités, et de leur intégration accrue à l'ensemble des cursus ;

- encouragera l'évolution et le développement de l'enseignement à distance (EAD) en particulier par la création d'une chaîne de télévision éducative».

Item-Sup rassemble les associations, les institutions ou des adhérents individuels qui désirent se regrouper pour réfléchir et agir en commun au sein d'une structure associative, qui pourrait être reconnue comme représentative des utilisateurs des nouvelles technologies dans l'enseignement supérieur [43].

Conclusion

La chimie est actuellement l'une des disciplines qui s'intéresse le plus à la didactique... Il est évident que l'apport de l'image vidéo sous quelle que forme qu'elle soit, bande vidéo pour magnétoscope, vidéodisque ou CD-Rom, ne peut être que positive au niveau de l'expérimentation...

Si la bande vidéo classique présente l'inconvénient majeur d'un accès peu rapide, les techniques du vidéodisque et du disque compact pallient largement cet inconvénient. Si l'image vidéo ne peut pas remplacer l'expérimentation pratique nécessaire à toute acquisition des techniques chimiques d'analyse et/ou de synthèse, elle constitue véritablement le seul moyen :

- d'être sûr de montrer des démonstrations qui marchent...,
- de connaître le temps que va prendre la démonstration, de contrôler ce temps,
- de montrer des réactions qui ne pourront jamais être réalisées par les étudiants...,
- de pouvoir analyser visuellement les détails d'une réaction, la voir, la revoir..., de montrer des réactions qui mettent en jeu des réactifs chers et/ou toxiques, ou qui sont trop lentes, trop dangereuses...,

– de montrer le bon geste à effectuer mais aussi les conséquences d'un mauvais geste, d'un mauvais choix, et ainsi contribuer à une plus grande sécurité au laboratoire...,

et cela pour un coût raisonnable compte tenu de la baisse des prix des supports et des appareils audiovisuels.

Utiliser le vidéodisque interactif, bientôt le CD-Rom interactif, les outils informatiques, c'est aussi donner à l'apprenant la possibilité de travailler à son propre rythme et d'être l'acteur principal de son apprentissage.

Avec l'arrivée des appareils de laboratoire couplés à des ordinateurs, la saisie et le traitement automatique des données, les facilités offertes au niveau de l'édition et de la gestion, l'outil informatique devient un outil commun pour le chercheur. Aussi, on ne peut qu'espérer que les «chercheurs enseignants» familiarisés désormais avec l'informatique l'utilisent de plus en plus en tant que «enseignants chercheurs».

A l'heure où l'université doit faire face à une augmentation considérable de ses effectifs de 1er cycle, à une hétérogénéité des niveaux des nouveaux bacheliers, le recours aux nouvelles techniques d'information, que ce soit dans le domaine vidéo ou celui de l'informatique, constitue un des éléments de réponse à ne pas négliger. Toutes les tâches répétitives nécessaires pour les remises à niveau, les renforcements de connaissances, les auto-apprentissages peuvent pour une bonne part être prises en compte à l'aide des nouvelles technologies.

Références

- [1] L'enseignement de la chimie et les techniques audiovisuelles, Colloque organisé les 5 et 6 Juin 1984 à l'Université Libre de Bruxelles.
- [2] a) Dumon A., Les moyens audiovisuels et l'enseignement expérimental de la chimie, *Revue des Sciences de l'Éducation*, 1986, 12, 3, p. 421-435.
b) Dumon A., Les moyens audiovisuels et l'enseignement expérimental (de la chimie. Guide pour la conception et l'évaluation de séquences d'enseignement, *L'enseignement expérimental de la chimie*, 1989 (publication du Service Enseignements Supérieurs-Didactique de la Chimie (SESDIC), Centres Documentaires sur l'Enseignement Expérimental de la Chimie (EXC1 et EXC2). Diffusion : secrétariat SES-
- DIC, Université de Poitiers, Faculté des sciences, Laboratoire de chimie XIII, 40, avenue du Recteur Pineau, 86022 Poitiers Cedex).
- [3] Dumont B., Étude sur les utilisations pédagogiques des nouvelles technologies dans les premiers cycles universitaires, université Paris VII, UF de didactique des disciplines (2, place Jussieu, 75251 Paris Cedex 05. Tél. : (1) 44.27.60.74. Fax : (1) 44.27.57.40), rapport rédigé à la demande de la Mission des Équipements Pédagogiques et des Nouvelles Technologies d'Enseignement (MEPENTE), janvier 1992.
- [4] Les outils multimédias ont-ils un sens dans les premiers cycles ? Conférence universitaire Rhône-Alpes, Grenoble, 10 juin 1993, Pôle Européen Universitaire et Scientifique, BP 52, 470, av. de la Bibliothèque, Domaine Universitaire, 38402 Saint-Martin-d'Hères. Tél. : 76.82.64.82).
- [5] Perche A., Le micro-ordinateur et l'enseignement expérimental de la chimie. Guide pour la conception et l'évaluation de séquences d'enseignement dans le premier cycle universitaire, *L'enseignement expérimental de la chimie* [2b].
- [6] Wanegue J.-J., Le vidéodisque, support de l'audiovisuel interactif, actes du Forum EAO 84 organisé par l'Adira dans le cadre du projet national EAO, publication de la revue *Informatique Rhône-Alpes*, septembre 1984, n° spécial EAO, p. 43-47.
- [7] Roxin I., Multimédia et les nouvelles technologies éducatives, Lipsi/Insa, Lyon, étude incluse dans le fascicule du colloque mentionné en [4].
- [8] Haight G.P., Jones L.L., Kinetics and mechanism of the iodine-azide reaction. A videotape experiment, *J. Chem. Educ.*, 1987, 64, 3, p.271-273.
- [9] Catalogue des médias de langue française pour l'enseignement de la chimie, 1984, conçu et réalisé grâce à une coopération entre la division Enseignement de la Société Chimique de Belgique et le réseau Recherches Coopératives en Didactique de la Chimie, diffusion par le CUDNME (Université de Poitiers, Faculté des sciences, Laboratoire de chimie XIII, 40, avenue du Recteur Pineau, 86022 Poitiers Cedex) et par Wilmet B. (Chimie générale I, Université Libre de Bruxelles, CP 160/04, 50, av. Franklin D. Roosevelt, B-1050 Bruxelles, Belgique. Tél. : +32 (2) 650 32 20. Fax : +32 2 650 35 95).
- [10] Russell A.A., From videotapes to videodiscs : from passive to active instruction, *J. Chem. Educ.*, 1984, 61, 10, 866-868.
- [11] Russel A.A., Staskun M.G., Mitchell B.L., The use and evaluation of videodiscs in the chemistry laboratory, *J. Chem. Educ.*, 1985, 62, 5, p. 420.
- [12] Brooks D.W., Lyons E.J., Tipton T.J., Laboratory simulations by computer-driven laser videodiscs, *J. Chem. Educ.*, 1985, 62, 6, p. 514.
- [13] Jones L.L., The video laboratory : a new element in teaching chemistry, Actes des 3e Journées sur les Méthodes Informatiques dans l'Enseignement de la Chimie (MIEC), Orsay, 1987.
- [14] Muchow G., Babadjamian A., Walling M., Conception d'un outil d'initiation, multimédia individualisé, aux techniques de laboratoire de chimie, Actes des 5e MIEC, Mulhouse, 1991 (disponibles au CDIEC, Centre de documentation informatique-enseignement Chimie, université de Nice Sophia-Antipolis, 06108 Nice Cedex 2. Tél. : 93.52.99.64.).
- [15] Henny Framers-Pals, Interactive video : safety in the chemical laboratory. I- fire and explosion, II-laboratory waste disposal, III-glassware and heating (Department of Chemical Technology, University of Twente, PO Box 217, 7500 AE Enschede, Pays-Bas. Tél. : +31 53 89 21 01).
- [16] Smith S.G., Jones L.L., Images, Imagination, and Chemical reality, *J. Chem. Educ.*, 1989, 66, 1, p. 8-11.
- [17] Jones L.L., Smith S.G., Multimedia technology : a catalyst for change in chemical education, *Pure & Appl. Chem.*, 1993, 65, 2, p.245-249.
- [18] Exploring Chemistry IV CD, Falcon Software (PO Box 200, Wentworth, NH, États-Unis. Tél. : +1 (603) 764-5788. Fax : +1 (603) 764-9051), 1990.
- [19] *Chemistry at Work*, distribué par Video Discovery Inc. (1515 Dexter Avenue North, Suite 400, Seattle, WA 98109, États-Unis. Tél. : +1 (206) 285 54 00).
- [20] *Redox*, prix (1993) : 165 \$US + port 25 \$US, Project Seraphim (Department of Chemistry, University of Wisconsin-Madison, 1101 University Avenue, Madison, WI 53706-1396. Fax : +1 (608) 262 03 81).
- [21] Ben-Zvi N., Ragsdale L., Showalter D., demonstrator, The world of chemistry : selected demonstrations and animations I, *J. Chem. Educ. : Software*, 1992, SP-3. Abstract, *J. Chem. Educ.*, 1992, 69, 4, p.304.
- [22] Ben-Zvi N., Ragsdale L., Showalter D.,

- demonstrator, The world of chemistry : selected demonstrations and animations II, *J. Chem. Educ. : Software*, **1992**, SP-4. Abstract, *J. Chem. Educ.*, **1993**, 70, 2, p. 127.
- [23] Trammell G., Demonstrations in Organic Chemistry, *J. Chem. Educ. : Software*, **1993**, SP-6. Abstract, *J. Chem. Educ.*, **1993**, 70, 4, p. 301-302.
- [24] JCE Software, prix (1993) du disque : 175 \$US + port 25 \$US, (format du disque NTSC), Department of Chemistry, University of Wisconsin (1101 University Avenue, Madison, WI 53706-1396. Fax : +1 (608) 262 03 81).
- [25] *Chemistry in motion*, video disk, £200.00, Video tape, £40.00, distribué par Andrew B. Durnell (43 High Street, Tunbridge Wells, Kent TN1 1XL, Grande-Bretagne. Tél. : +44 (892) 54 42 72. Fax : +44 (892) 51 11 52).
- [26] Prix public : 4151 F TTC, prix Éducation nationale : 3320 F TTC, distribué par Médiaconcepts Technologie (Pact ZI République 2, 86000 Poitiers. Tél. : 49.88.81.25. Fax : 49.55.33.24).
- [27] Ce programme, livré avec le disque, permet la conduite des vidéoprojecteurs suivants : Sony LDP 3600, Sony LDP 1500, Phillips VP 310, Phillips VP 831, Pioneer LDV 4100. La connexion s'effectue à l'aide du port série RS232 et d'un câble spécial qui doit être réalisé conformément aux indications données dans le mode d'emploi du lecteur vidéo et en respectant le mode de transmission du port RS232. Les branchements pour les lecteurs Sony et Phillips sont donnés dans le manuel du vidéodisque.
- [28] Diffusion dans le cadre de la licence mixte (lycées et collèges) par la société Chrysis (1, allée de la Providence, BP 42, 86002 Poitiers Cedex. Tél. : 49.45.20.20. Fax : 49.45.23.23) et pour les autres cas (universités, IUT et écoles d'ingénieurs) par la société Médiaconcepts Technologie [26].
- [29] Les représentations des structures cristallines ont été créées grâce au logiciel Cristal, distribué par la société Inovasys (8 bis, rue Paul Langevin, 21300 Chenove. Tél. : 80.51.66.07) que nous remercions de nous avoir autorisé à incorporer ces images dans le logiciel.
- [30] Cabrol-Bass D., Luft R., *Développement d'un système expert didactique ouvert pour le programme Mendeleïev.*, Actes des 5e Journées nationales informatique et pédagogie des sciences physiques, Marseille, 26-28 mars **1992**, p.57-63, (disponibles auprès de l'INRP et de l'UdP).
- [31] Farris M., Banks A., The periodic table stack, *J. Chem. Educ. : Software*, **1989**, IC, n°1.
- [32] Giguere J., Automation des travaux pratiques pour l'enseignement du 1er cycle de chimie physique, Actes des 6e MIEC, 1-3 avril **1993**, CNAM, Paris. (disponibles auprès du CNAM ou du CDIEC [14]).
- [33] Mougenel J.C., Informatique et instrumentation : Introduction à la chimie expérimentale moderne, Actes des 5e MIEC, 12-14 septembre **1991**, ENSC Mulhouse (disponibles auprès du CDIEC).
- [34] Azay P., Dumont C., Contrôle d'installations de laboratoire à l'aide d'un micro-ordinateur en fonctionnement multitâche, Actes des 6e MIEC, 1-3 avril **1993**, CNAM Paris (disponibles auprès du CNAM ou du CDIEC [14]).
- [35] De nombreux exemples d'applications de l'utilisation des ordinateurs en acquisition de données peuvent être trouvés dans les Actes des 5e Journées informatique et pédagogie des sciences physiques, M. Schwob (Ed.), INRP-UdP, Paris, **1992**.
- [36] Directory of chemistry software 1992. An up-to-date reference for software used in chemistry including : molecular modelling, structural drawing, chemical structure searching, quantum mechanics, edited by W.Warr, P.Willet and G.Downs, Chervell Scientific Publishing (Magdalen Center, Oxford Science Park, OX4 4GA, Grande-Bretagne) et American Chemical Society (Distribution Office, Department 225, 1155 A6th St., N.W. Washington, DC 20036, États-Unis).
- [37] Disquette disponible au CDIEC [14] contre 1 carnet de 10 timbres au tarif lettre en vigueur, envoi gratuit pour l'étranger. La copie, la duplication de cette disquette est autorisée afin de faciliter la circulation de l'information.
- [38] 6e Journées nationales informatique et pédagogie des sciences physiques, 20-23 mars **1994**, Villeneuve-d'Ascq (contacter F.-M. Blondel, 91, avenue Gabriel Péri, 92120 Montrouge. Fax : (1) 46.57.06.16).
- [39] Le CDIEC organise tous les 2 ans, en collaboration avec des universités d'accueil, les Journées MIEC : 1982 à Marseille, 1985 à Lille, 1987 à Paris-Sud (Orsay), 1989 à Pau, 1991 à Mulhouse et 1993 au CNAM à Paris. Les actes des 5e et 6e MIEC sont disponibles au CDIEC [14]. Les 7e Journées MIEC sont prévues les 6-8 avril 1995 à l'université de Bourgogne à Dijon.
- [40] Cabrol, D., Cachet C. Cornelius R., Teaching chemistry with microcomputer, dans *Computer Aided Chemistry* (Vernin et Chanon Eds.), Hellis & Horwood, Chichester, **1986**, p.103-153.
- [41] L'intégration de l'informatique dans l'enseignement et la formation des enseignants, 28-30 janvier **1992**, Actes du colloque, Institut National de Recherche Pédagogique (INRP) (29, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05. Tél. : (1) 46.34.90.00).
- [42] Nouvelles technologies : quelles stratégies pour de nouvelles formes d'enseignement supérieur ? Séminaire national organisé par la Desup (Direction des Enseignements Supérieurs) et divers réseaux de spécialistes, Aras (Association des Responsables et Spécialistes Audiovisuels des Établissements d'Enseignement Supérieurs), Fied (Fédération Interuniversitaire de l'Enseignement à Distance), Epi (Enseignement Public et Informatique) et Afcet (Association Française des Sciences et Technologies de l'Information et des Systèmes), Université de Montpellier II, Université Paris VII, avec la collaboration du CNDP, 2-4 décembre **1992**, Bouzigues (Hérault).
- [43] Item-Sup (Intégration des Technologies Modernes dans l'Enseignement Supérieur), siège social : École Normale Supérieure, Fontenay-Saint-Cloud (31, avenue Lombart, 92260 Fontenay-aux-Roses. Tél. : (1) 47.02.60.50. Fax : (1) 47.02.12.24).

Polyéthylène basse densité



Historique

Le polyéthylène est la polyoléfine (thermoplastique) la plus anciennement préparée industriellement.

L'ensemble des travaux de base se situe dans les années 1932 à 1935 : la société ICI, qui cherchait à faire réagir l'éthylène sur le benzaldéhyde à 170 °C et 1400 bar, fabrique accidentellement en 1933 puis volontairement en 1935 les premiers grains de polyéthylène.

– en 1937, la première unité pilote est mise en service et l'on démarre des études sur les procédés en autoclave et tubulaire ;

– en 1944, le procédé d'I.C.I. est l'objet d'une variante : la polymérisation est réalisée par BASF dans un réacteur tubulaire à des pressions atteignant 4 000 bar ;

– en 1954, les premières unités industrielles sont démarrées en France par Éthylène Plastique (actuellement Enichem) sous licence ICI (procédé en autoclave) ;

– en 1964, la première unité industrielle en France est mise en route selon le procédé tubulaire par Aquitaine Organico (Elf-Atochem).

La même décennie a vu le développement des procédés par catalyse organométallique pour la production de polyéthylène haute densité (PE-HD) et de polyéthylènes basse densité linéaires (PE-BDL), respectivement homopolymère de l'éthylène et copolymères éthylène - oléfine (Dupont of Canada, Union Carbide, Enichem).

En 1978, Union Carbide a lancé le polyéthylène linéaire par un procédé en lit fluidisé.

De 1980 à 1992, la capacité mondiale en PE-BD ramifié a peu évolué. En 1992, elle approchait les 17 millions de tonnes.

Principe des procédés haute pression

Le polyéthylène basse densité (PE-BD) est produit par *polymérisation radicalaire de l'éthylène*, sous des pressions de 100 à 350 MPa et des températures de 150 à 300 °C (dans ces conditions, la masse volumique de l'éthylène est de 400 à 600 kg/m³ et sa concentration de 13 à 21 mol/L).

Les procédés haute pression sont caractérisés par un milieu réactionnel constitué d'une solution de polymère et de monomère. La teneur en polymère atteint 16 à 30 % en masse. Elle est représentative du taux de conversion par passe et dépend du type de réacteur utilisé et de la qualité désirée.

Cette fiche pédagogique a été rédigée par la rédaction de *L'Actualité Chimique*. Elle reprend de larges extraits de l'article de B. Levresse (Enichem Polymères France) publié par les Techniques de l'Ingénieur (juin

1993, J 6539), 21, rue Cassette, 75006 Paris. Tél. : (1) 42.22.35.50. Fax : (1) 45.49.35.22. *L'Actualité Chimique* remercie Les Techniques de l'Ingénieur pour leur aimable autorisation.

Le polymère obtenu, séparé par détente successives, est finalement repris à l'état fondu (entre 200 et 300 °C) par une extrudeuse, puis transformé en granulés.

Matières premières

• **Éthylène** à 99,9%, tel qu'il est fourni par les vapocraqueurs.

Les principales impuretés admissibles sont le méthane, l'éthane, l'azote. Les impuretés critiques à contrôler sont l'oxygène, l'acétylène, les diènes.

• **Agents de transfert** (ou de contrôle de masse moléculaire) : hydrocarbures saturés (propane, butane, hexane, gaz de pétrole liquéfié, coupes légères), hydrogène, oléfines, etc.

• **Comonomères** : α -oléfines (propylène), acétate de vinyle, acides et esters acryliques.

• **Amorceurs de polymérisation** :

– peroxydes et peresters organiques, comme le per-2-éthylhexanoate de tertibutyle et le peroxyde de di(tertibutyle).

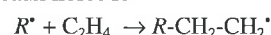
– oxygène (ou plus exactement ses composés de réaction sur l'éthylène).

Chimie du procédé

La polymérisation haute pression de l'éthylène obéit aux lois classiques de la polymérisation radicalaire, mais représente cependant un cas particulier. En effet, les conditions pratiques (pression et température) sont telles que les mesures cinétiques directes sont très délicates.

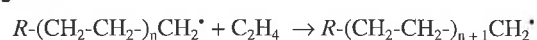
Initiation

amorceur A \rightarrow radicaux libres R^{*}



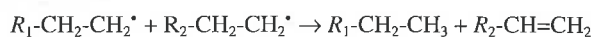
On note que la cinétique d'homolyse (autodécomposition thermique) de l'amorceur est en général ralentie par la pression.

Propagation

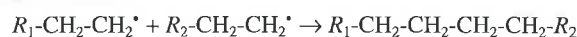


Terminaison : deux mécanismes sont possibles

– *dismutation*



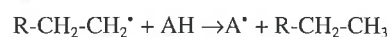
– *recombinaison*



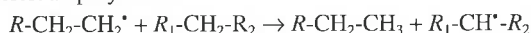
Le processus de terminaison est mineur. Son effet sur la structure du polymère est pratiquement négligeable car la longueur des chaînes est réglée par les mécanismes de transfert et de dégradation des radicaux.

Réactions de transfert

– sur l'agent de transfert AH :



– transfert au polymère :



puis propagation d'un branchement long à partir du nouveau site actif (ramification).

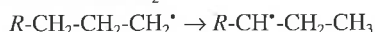
Bien entendu, ce mécanisme est d'autant plus prépondérant que la température et la concentration en polymère (taux de conversion) sont plus élevées.

La présence de branchements longs est caractéristique du PE-BD, lui apporte une partie de ses propriétés particulières et rend difficile la connaissance exacte de sa structure.

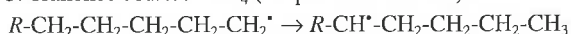
Réactions des macroradicaux

– transferts internes

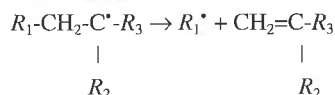
• 1 - 3 : branches courtes en C₂ :



• 1 - 5 : branches courtes en C₄ (les plus nombreuses) :



– *dégradation thermique* des radicaux : cette réaction règle véritablement la masse moléculaire car, aux températures élevées (>200 °C), chaque macroradical peut subir plusieurs centaines de fois cette dégradation avant terminaison :



Les radicaux *secondaires*, plus stables donnent naissance à une insaturation du type vinyle.

Décomposition de l'éthylène

Une concentration excessive en radicaux va provoquer un emballement de la réaction. L'augmentation de température qui en résulte crée des radicaux par dégradation thermique du polymère présent. La réaction *divergente* conduit à la décomposition explosive de l'éthylène :



Mise en œuvre industrielle

Procédé en autoclave

L'éthylène frais, fourni en limite d'unité à une pression de 0,4 à 7 MPa, est successivement comprimé entre 20 et 30 MPa, puis entre 100 et 250, et introduit en plusieurs points du réacteur autoclave (figure 1).

Ce réacteur, dont le volume dépasse 1000 L sur les plus grosses unités, est muni d'un agitateur entraîné par un moteur électrique (en général interne), alimenté par des électrodes étanches. Il est muni des protections adéquates contre les surpressions (disques de rupture).

La température (150 à 300 °C) est contrôlée en divers points du réacteur avec le débit des amorceurs injectés par des pompes volumétriques à haute pression. Le taux de conversion (éthylène polymérisé/éthylène introduit), de l'ordre de 15 à 20 %, est limité par la température maximale de sortie (environ 300 °C). Il faut noter que la réaction exothermique (-3370 J/g) est à peu près adiabatique, les échanges de chaleur avec l'extérieur étant très restreints par suite de la conception des appareils.

Une première séparation a lieu à l'étape 20 - 30 MPa ; l'éthylène qui n'a pas réagi est refroidi et recyclé à l'aspiration du compresseur

secondaire. Le dégazage final se fait dans la trémie d'extrusion, avec recyclage de l'éthylène résiduel vers le compresseur primaire.

Une petite partie du gaz recyclé est ramenée au vapocraqueur pour diluer les gaz inertes qui peuvent s'y accumuler (principalement le méthane et l'éthane).

Le polymère fondu est repris dans l'extrudeuse, où l'on peut lui ajouter l'antioxydant, les agents glissants ou antibloquants. Il est granulé (coupe à chaud sous l'eau), puis séché et dégazé avant stockage et ensachage.

Variante : procédé tubulaire

Le réacteur est un tube haute pression (diamètre : 30 à 60 mm), dont la longueur peut atteindre 1500 m, muni d'une double enveloppe où circule de l'eau sous pression qui assure le préchauffage de l'éthylène et l'évacuation d'une partie de la chaleur de réaction.

Dans ce procédé, les pressions de polymérisation sont plus élevées : 200 à 350 MPa. Les taux de conversion sont également plus grands (de l'ordre de 25 %).

Consommation d'utilités

Les moyennes, par tonne de PE-BD produit, sont les suivantes	
– électricité	0,7 à 1,2 MWh
– vapeur > 2 MPa consommée	0,1 à 0,2 t
– vapeur < 1 MPa produite	0,5 à 1,0 t
– eau de refroidissement	200 à 250 m ³
– azote	1 Nm ³

Aspects économiques

En France, en 1992, pour une unité de 100 000 t/an capable de fabriquer toute la gamme des polyéthylènes basse densité, l'investissement en limite d'unité pouvait être estimé à 320 MF (hors études et licence).

L'entretien annuel est de l'ordre de 2,5 % de l'investissement.

Si la capacité des premières installations industrielles était limitée à quelques milliers de tonnes par an, la taille des unités a rapidement augmenté à 100 000 puis 180 000 t/an au cours des années soixante-dix à quatre-vingt-dix. La production française est donnée *tableau I*.

Le polyéthylène basse densité est un thermoplastique de *grande diffusion*, dont la majeure partie est utilisée sous forme de films : sachets, sacs, housses rétractables, films agricoles (serres, paillage). Les autres débouchés font appel au moulage par injection (articles ménagers, bouchons, etc.), à l'enduction (cartons de lait), à l'isolation

Tableau I - Production française de PE-BD.

Société	Site industriel	Capacité en 1992 (kt/an)
Elf Atochem	Balan (Ain)	380
	Gonfreville (Seine-Maritime)	
	Lillebonne (Seine-Maritime) Mont (Pyrénées-Atlantique)	
Enichem Polymères France	Saintt-Avoid (Moselle)	510
	Dunkerque (Nord)	
Cochimé	Berre (Bouches-du Rhône)	110
Shell	Fos (Bouches-du-Rhône)	100

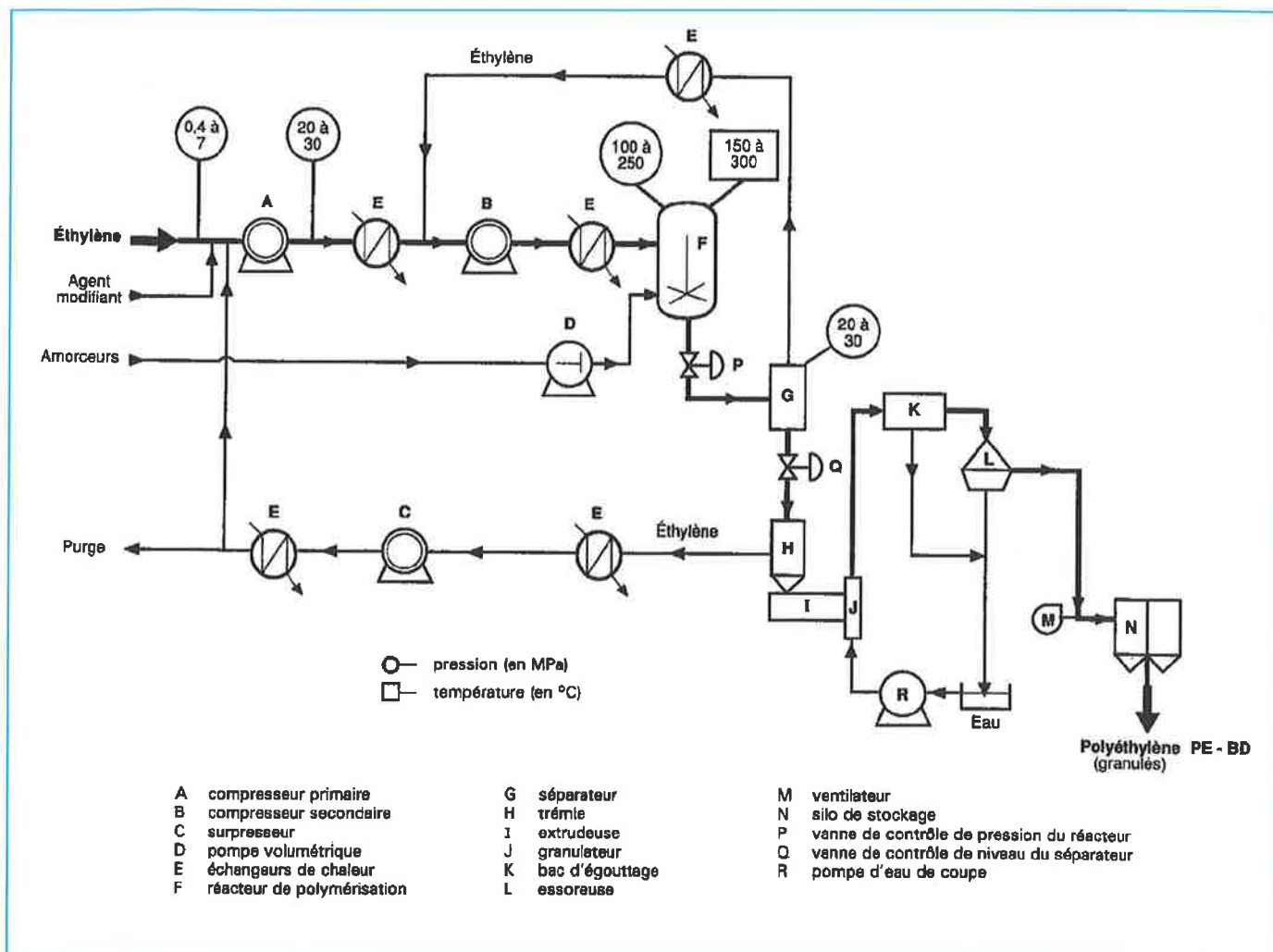


Figure 1 - Procédé de polymérisation en autoclave du PE-BD.

et au gainage des cibles électriques et téléphoniques.

Les deux grandeurs principales qui permettent de caractériser le polyéthylène basse densité sont :

- sa masse volumique : 915 à 935 kg/m³ ;
- son indice de fluidité: masse de polyéthylène s'écoulant d'une filière calibrée sous une charge donnée, à 190 °C : 0,1 à 300 g/10 min (ce qui correspond à des viscosités de 10⁵ à 10² Pa.s environ).

On mesure également ses caractéristiques optiques sur film (trouble, clarté, brillance) et les propriétés mécaniques (contrainte au seuil d'écoulement, allongement, résistance au choc).

Sa température de fusion va de 105 à 115 °C.

La croissance de la production de polyéthylène basse densité a été fortement affectée dans la décennie 80 par l'apparition et le développement du polyéthylène de basse densité linéaire. Ce copolymère

Tableau II - Capacité mondiale (en kt/an) par procédé.

Produit	Procédé	1985	1990	1991	1992	1995
PE-BD	autoclave.	7 180	7 930	8 220	8 290	8 630
	tubulaire.	7 090	7 840	8 130	8 040	8 400
PE-L	suspension	8 810	10 870	12 460	13 120	14 120
	solution.	1 190	1 780	2 020	2 560	3 340
	phase gaz.	3 940	6 430	7 740	9 120	10 210
Total PE.		28 210	34 850	38 570	41 130	44 700

Tableau III - Capacité mondiale (en kt/an) par type de polyéthylène.

	1985	1990	1991	1992	1995
					(estimations)
PE-BD.	14 270	15 770	16 350	16 330	17 030
PE-BDL.	4 570	7 240	8 720	10 800	11 830
PE-HD.	9 370	11 840	13 500	14 000	15 840
Total	28 210	34 850	38 570	41 130	44 700

d'éthylène et d' α -oléfine (butène, hexène, 4-méthylpentène, octène) est obtenu selon des techniques de polymérisation sous basse pression mettant en œuvre des catalyseurs à base d'oxyde de chrome (Phillips) ou des catalyseurs organométalliques (Ziegler) (Cf. Doc. Péd. n°2, *L'Actualité Chimique*, 1994, 2, p. 57-59)

Il est à noter que ce type de catalyse a été appliqué à la polymérisation sous haute pression dont la caractéristique principale (procédés en solution dans les monomères) est particulièrement bien adaptée à la production des polyéthylènes linéaires de très basse densité, couvrant le domaine de 860 à 910 kg/m³.

Les tableaux II et III présentent, à titre de comparaison, les capacités mondiales de polyéthylène par procédé et par type de polyéthylène.

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE : UN BICENTENAIRE ET UN COLLOQUE

L'École Normale Supérieure fêtera, en octobre 1994, le bicentenaire du décret de la Convention qui l'a fondée. Pour honorer un passé prestigieux, les Archives nationales présenteront une exposition, l'Institut tiendra une séance solennelle le 18 octobre, et plusieurs ouvrages seront publiés.

Cet anniversaire doit aussi aider à faire connaître les activités actuelles de l'école et l'avenir qu'elles préparent. Dans l'Europe qui prend forme, à côté d'institutions tout aussi efficaces mais plus spécialisées, les grands collèges pluridisciplinaires où littéraires et scientifiques de toutes disciplines se côtoient au cours de leur formation, tels qu'il en existe par exemple à Pise, à Oxford, à Cambridge, à Uppsala, à Budapest, et à Paris au 45 de la rue d'Ulm, ont un rôle à jouer et des propositions à formuler.

Un colloque international «l'apprentissage du savoir vivant : fonction des grands collèges européens» sera organisé à Paris, du 18 au 21 octobre 1994, pour débattre des perspectives offertes par ces grands collèges, en liaison avec d'autres institutions, pour la formation des compétences, le développement des connaissances et la communication interdisciplinaire dans l'Europe de demain.

- Association pour le Bicentenaire de l'École Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05.

LES ÉTUDIANTS INSCRITS A L'UNIVERSITÉ EN 1992-1993

La Direction de l'évaluation et de la prospective du ministère de l'Éducation nationale a réalisé une enquête qui recense les étudiants inscrits dans les universités françaises publiques, les instituts nationaux polytechniques, l'Insti-



tut d'études politiques, l'Observatoire de Paris et l'Institut national des langues et civilisations orientales. Cette enquête concerne les étudiants inscrits dans les universités et les flux d'entrée à l'université en première année de 1er cycle.

En 1993-1994, la population universitaire (y compris celle des IUT) s'élève à 1 403 000 étudiants pour la France métropolitaine et les DOM, soit 92 000 étudiants supplémentaires par rapport à l'année précédente.

Cette progression (7 %) est la plus élevée depuis quatre ans. Elle s'explique par la forte hausse des premières inscriptions en première année de 1er cycle (6,4 % après 3,5 % en 1992-1993) et par l'amélioration du taux de poursuite en 2e cycle.

Ainsi, les effectifs de 2e cycle continuent de progresser à un rythme plus rapide que les années précédentes ; 9 % en 1993-1994 après 7,9 % en 1992-1993, 7,4 % en 1991-1992 et 7,1 % en 1990-1991. Leur part dans l'ensemble augmente au détriment du 3e cycle et représente actuellement un tiers des effectifs totaux, le poids du 1er cycle restant stable (53 % des étudiants).

Les effectifs en sciences connaissent un ralentissement (5,8 % après 7,7 % en 1992-1993), lié à celui du 1er cycle et malgré une légère reprise des premières inscriptions (2,8 % après - 0,3 % en 1992-1993). Parallèlement, la forte décélération des effectifs de sciences économiques (3,2 % après 6,4 %) est imputable à la chute des effectifs dans le 1er cycle, notamment à celle des premières inscriptions (- 11,6 %).

En revanche, ces disciplines progressent fortement en

deuxième cycle (11,9 % en sciences et 14 % en sciences économiques). Dans les écoles d'ingénieurs universitaires, les effectifs continuent de progresser à un rythme soutenu pour la troisième année consécutive. En 3e cycle, la plus forte croissance s'observe en droit.

EUFORIA : RÉSEAU EUROPÉEN DES UNIVERSITÉS EN SCIENCES APPLIQUÉES

L'Insa de Lyon a signé une convention avec la Commission des Communautés européennes pour l'étude et l'expérimentation d'un projet pilote, Euforia (EUropean FORMation In Applied Sciences).

Après avoir développé un modèle original de formation d'ingénieurs européens en créant un 1er cycle en 1991 "Eurinsa", l'Insa de Lyon poursuit sa volonté de favoriser l'interpénétration des cultures européennes.

Ce projet vise à institutionnaliser la dimension européenne dans les formations relatives aux sciences appliquées et à l'ingénierie, avec pour finalité le renforcement de l'industrie européenne, en procurant à celle-ci des ingénieurs polyglottes ayant une réelle aptitude au travail en équipe internationale.

Plusieurs concepts se dégagent : une charte de qualité de la formation, un label européen, la lisibilité des diplômes par les industriels européens et un enseignement communautaire (mise au point de modules d'enseignement transférables).

L'université polytechnique de Barcelone, les Politecnico de Turin et de Milan, la faculté

d'ingénierie de Porto, la Technische Universität de Karlsruhe sont associés à l'Insa de Lyon dans la réalisation de ce projet.

Les travaux dureront jusqu'en juin 1997 et un financement d'un demi-million d'écus géré par l'Insa de Lyon est attaché à la convention.

- Jean-Claude Bureau, Insa Lyon. Tél. : 72.43.80.90.

L'UNIVERSITÉ DE PROVENCE A L'HEURE DES MATÉRIAUX

L'université de Provence ouvrira, à partir de la rentrée 1994-1995, une maîtrise de sciences et techniques : matériaux et polymères.

En deux ans, avec 1595 heures d'enseignement et deux stages en entreprise, les étudiants (possédant un Deug scientifique ou équivalent à bac + 2) obtiendront une spécialisation dans divers secteurs économiques : industries des matières plastiques, industries maritimes, automobile, bâtiment, peintures, produits pour la médecine et la pharmacie, recyclage des déchets...

- Alain Perichaud, Université de Provence, case 55, 3, place Victor Hugo, 13331 Marseille Cedex 3. Tél. : 91.10.64.42 ou 91.10.62.49 (secrétariat).

NOMINATION

Jean-Claude Mendelsohn a succédé à Marcel Chapurlat à la présidence d'ITC-Lyon (Institut des Technologies Chimiques).

J.-C. Mendelsohn est le directeur du Centre de recherche Rhône-Alpes (CRRA) d'Elf Atochem à Pierre-Bénite. Il est membre du conseil d'administration de la Société Française de Chimie et du comité de rédaction de *L'Actualité Chimique*.

- ITC-Lyon, 6, rue Jean Macé, 69190 Saint-Fons. Tél. : 78.70.00.40. Fax : 78.70.37.19.

Fourcroy

chimiste, homme d'État

créateur du système éducatif français

1794-1994



BICENTENAIRE
LAVOISIER

Robert Luft* professeur

Antoine François de Fourcroy est né le 15 juin 1755 à Paris. Son enfance est placée sous le signe du malheur ; son père, Jean-Michel de Fourcroy, ancien apothicaire du duc d'Orléans, connaît des revers de fortune ; sa mère meurt lorsqu'il a sept ans. Entré au collège d'Harcourt comme demi-pensionnaire à l'âge de neuf ans, il le quitte à quinze, suit une formation de clerc et entre à la Chancellerie comme rédacteur.

Le temps des études

Un ami paternel, Félix Vicq d'Azir, professeur d'anatomie à la faculté de Médecine, fondateur en 1776 de la Société royale de médecine¹ et ami de Jean-Michel de Fourcroy, frappé par les qualités et l'intelligence du jeune Antoine François, le tire vers 1773 de cette situation subalterne en persuadant son père de le laisser entreprendre des études de médecine. Antoine François se montre brillant élève, de sorte que les membres de la Société royale de médecine lui accordent de nombreux encouragements et quelques aides financières.

La Société royale de médecine est issue d'une commission royale créée le 29 avril 1776 pour établir un rapport sur

des problèmes d'épidémiologie. Elle se voit chargée par lettres patentes non seulement de travaux pour l'avancement des connaissances médicales théoriques et pratiques, de l'examen et de la recommandation des ouvrages médicaux, mais, surtout, de l'examen des médicaments nouveaux et de leur approbation, ainsi que du contrôle de la qualité et de la distribution des eaux minérales du royaume. Aussi, la faculté de médecine s'estime-t-elle lésée dans certains des droits qui lui avaient été accordés et renouvelés régulièrement depuis sa fondation, près de six cents ans auparavant. Elle exige le 22 juin 1778 de ceux de ses membres affiliés à la Société royale de médecine de quitter cette dernière dans les sept jours. Mais le conseil d'État juge cette exigence illégale, rejette les requêtes de la faculté de médecine et, en août de la même année, fait délivrer à la Société royale de médecine des lettres patentes fixant les dispositions de sa composition et de ses compétences, telles qu'elles étaient prévues à l'origine. Il en résulta une lutte sourde entre les deux organismes dont Fourcroy fit les frais.

Sollicité par la Société royale de médecine, Fourcroy est chargé en 1777 de la traduction du fameux *De Morbis Artificum Diatriba de Ramazzini*, un ouvrage sur les maladies professionnelles qui paraît sous le titre français *Essai sur les maladies des artisans, traduit du latin de Ramazzini, avec des notes et des additions, par M. de Fourcroy, Maître-ès-Arts en l'Université de Paris et étudiant en médecine, à Paris, chez Moutard, M. DCC. LXXVII*². En considération de la qualité de son travail, Fourcroy est chargé de la gestion de la bibliothèque de la Société royale de

médecine, ainsi que de la préparation de rapports sur différents mémoires, bien qu'il ne soit pas encore docteur en médecine. Quel outrage pour l'Université ! Mais la faculté de médecine saura attendre l'occasion de laver ce qu'elle considère comme un affront.

Fourcroy est pénalisé doublement au moment de la soutenance de sa thèse, le 28 septembre 1780. Tout d'abord, malgré ses résultats brillants, en dépit de l'intervention de certains de ses professeurs et bien que sa situation économique soit désastreuse, il se voit refuser par la faculté la bourse nécessaire au paiement des droits de soutenance de 6000 livres requis pour la délivrance de son diplôme ; fort heureusement, des membres de la Société royale de médecine lui avancent les fonds nécessaires. En second lieu et surtout, la faculté lui refuse le titre de «docteur régent» qui seul donne vocation à enseigner la médecine à l'université. En réponse, le 10 octobre 1780 la Société royale de médecine élit Fourcroy comme «associé libre».

Au cours de ses études de médecine, Antoine François de Fourcroy s'intéresse particulièrement à la chimie et aux sciences de la nature qu'il étudie sous la direction de Jean-Baptiste Michel Bucquet, l'un des fondateurs de la Société royale de médecine³. Frappé par les capacités de son élève, Bucquet propose à Fourcroy en 1778 de participer à ses travaux et, lorsque la maladie qui devait l'emporter le fait trop souffrir, il lui demande de le remplacer dans son enseignement privé, au laboratoire de la rue Jacob. A sa mort, au début de 1780, Fourcroy qui venait d'épouser la fille d'un administrateur du ministère de la Guerre, consacre une partie de la dot de

* Lartic, Université de Nice-Sophia Antipolis, 06108 Nice Cedex 2.
Tél. : 93.52.98.54. Fax : 93.51.79.25.

sa femme au rachat des appareillages et de la bibliothèque de son maître ; il installe un laboratoire près du Parvis Notre-Dame et y enseigne pendant trois ans. Son cours est publié en 1782 sous le titre *Leçons élémentaires d'Histoire Naturelle et de Chimie* (en 2 volumes), chez Cuchet à Paris. Il était rédigé en 4 parties, dans l'esprit des enseignements de Bucquet. Un examen des principes de la chimie, ainsi que des propriétés générales de l'air, de l'eau et des «terres», est suivi d'une étude détaillée de composés chimiques des trois règnes animal, végétal et minéral. Dans cette première édition Fourcroy compare entre elles les théories phlogistique et pneumatique, sans faire son propre choix, mais en insistant sur les faits qui ont amené Lavoisier à rejeter les idées de Stahl. Cet ouvrage a été l'objet d'un rapport élogieux de Macquer.

L'enseignant

Nommé en 1783 professeur de physique générale et de chimie à l'école royale vétérinaire de Maisons-Alfort, alors en plein développement, Fourcroy y enseigne jusqu'en 1787 et y dispose d'un laboratoire de chimie. A la mort de Macquer, le 15 février 1784, Fourcroy, ainsi que Cl.-L. Berthollet, plus âgé et déjà membre de l'Académie royale des sciences, postulent à sa succession au poste de professeur de chimie aux «Écoles du Jardin royal des plantes», aujourd'hui Muséum d'Histoire Naturelle du Jardin des Plantes. Compte tenu de la réputation de conférencier acquise par Fourcroy au cours des cinq années écoulées, sa candidature est retenue dès le 23 février 1784 par Buffon, alors intendant du Jardin du roi, et sa nomination a lieu le lendemain⁴. Berthollet est dédommagé en obtenant la direction de la manufacture royale des Gobelins, l'autre charge occupée précédemment par Macquer. En 1787, Fourcroy accepte aussi d'enseigner la chimie au «lycée des Arts» de la rue de Valois, une université privée fondée par Pilâtre de Roziers en 1781. Il y exerce effectivement jusqu'en 1807.

C'est dans le grand amphithéâtre de 1200 places du Muséum, construit entre 1787 et 1788 (ce bâtiment, agrandi en 1794, est toujours en service de nos

jours), que les conférences de Fourcroy se tiendront jusqu'à sa mort. Elles étaient suivies de «démonstrations», effectuées à partir de 1779 par Antoine-Louis Brongniart⁵. (né le 14 août 1742 à Paris - décédé le 25 février 1804 à Paris), nommé le 09 avril 1779 professeur de chimie dans la «chaire secondaire» de chimie qu'il occupe jusqu'à sa mort.

Dans le cadre de ses charges d'enseignement, Fourcroy a rédigé en totalité ou en partie plusieurs ouvrages. Nous avons déjà cité le plus ancien, les *Leçons élémentaires d'Histoire Naturelle et de Chimie* (1782). Sous le nouveau titre *Éléments d'histoire naturelle et de chimie* une seconde édition (en 4 volumes), fortement remaniée, est prête dès 1784, mais ne paraît qu'en 1786, car Lavoisier, chargé par la Société royale de médecine, ainsi que par l'Académie royale des sciences du rapport d'imprimatur, ne fournit sa copie qu'en juillet 1786. Entre-temps, Fourcroy adopte définitivement la théorie de Lavoisier et l'explique dans un chapitre préliminaire, sans cependant remanier les parties du texte de l'édition précédente reprises dans le corps principal du manuel. La troisième édition, datée de 1789, ne contient que peu d'additions, mais le corps de l'ouvrage est réécrit sous l'angle de la théorie pneumatique. Un cinquième volume est ajouté pour introduire la nouvelle nomenclature chimique mise au point et publiée en 1787 sous le titre *Méthode de nomenclature chimique, proposée par MM. de Morveau, Lavoisier, Berthollet (sic) & de Fourcroy. On y a joint un nouveau système de caractères chimiques, adoptés (sic) à cette nomenclature*, par MM. Hassenfratz et Adet.

La popularité des *Éléments de Chimie* a fait que la troisième édition fut à son tour rapidement épuisée, mais aussi que la nouvelle nomenclature fut très rapidement adoptée par tous les chimistes d'Europe⁶. Une quatrième, puis une cinquième édition des *Éléments de Chimie* virent le jour respectivement en 1791 et en l'An II de la République (1793), sans apports ni modifications sensibles⁷.

Un second ouvrage didactique est intitulé *Principes de Chimie*, en 2 volumes (chez Cuchet), Paris, 1787. Il fait partie de la *Bibliothèque Universelle des Dames* de l'éditeur Cuchet. Fourcroy l'a conçu comme une introduction aux

Éléments de Chimie. C'est le premier ouvrage écrit sans aucune référence à la théorie du phlogistique de Stahl et en recourant exclusivement à la nouvelle nomenclature chimique. Le succès des *Principes* fut tel qu'ils furent réimprimés dès l'année de leur parution. Sous un autre titre et avec une autre préface le même ouvrage a reparu en 1788 : *Principes de chimie, d'après les découvertes modernes, à l'usage des élèves de l'école royale vétérinaire d'Alfort*, près Paris, toujours chez Cuchet.

Dans le domaine de la vulgarisation scientifique et de la documentation il faut relever les contributions de Fourcroy à l'*Encyclopédie Méthodique*. Dans les sept premiers volumes de la partie médecine de cette encyclopédie, rédigés entre 1787 et 1798 sous la direction de Vicq d'Azir, on trouve beaucoup d'articles de Fourcroy sur la chimie médicale et sur des médicaments ; quelques-uns de ces articles étant repris de *L'Art de connoître et d'employer les médicamens dans les maladies qui attaquent le corps humain* (2 volumes, chez Cuchet) que Fourcroy avait fait paraître en 1784-1785 et qui a été traduit en allemand en 1789-1790. La partie chimie, pharmacie et métallurgie était placée initialement sous la direction de Guyton de Morveau qui publia le premier volume en deux parties en 1786 et 1789 et rédigea les trois articles principaux : Acidité - Affinité - Air, couvrant ainsi une grande partie de la chimie connue à l'époque. A partir de 1790, Fourcroy est chargé de mener l'édition à bonne fin (parution des volumes : II en 1792, III en 1796, IV en 1805 et V en 1808). Après la mort de Fourcroy, son élève Vauquelin reprend le flambeau et publie le dernier volume en 1815. Auteur très méthodique, Fourcroy introduit dans le volume II un article «Axiomes» qui constitue un survol en douze points de toute la chimie. Cet article a par la suite été réimprimé séparément en 1792 sous le titre *Philosophie chimique ou vérités fondamentales de la chimie moderne, disposées dans un nouvel ordre*, Paris 1792, sans nom d'éditeur⁸.

La chimie ayant considérablement progressé depuis les travaux de Lavoisier, une édition refondue des *Éléments de Chimie* semblait s'imposer en 1800. Mais, Fourcroy choisit une autre voie en préférant écrire son «Système des

connaissances chimiques, et de leurs applications aux phénomènes de la nature et de l'art», 10 volumes, Paris, Baudouin, brumaire An IX (1800)⁹, traduit en anglais (1804), en allemand (2 éditions, 1801) et en espagnol (1803-1809). Cet ouvrage a été complété en 1802 par une *Table alphabétique et analytique des matières contenues dans les dix tomes du système des connaissances chimiques, rédigée par Mme Dupiery, et revue par le Cen. Fourcroy*, Paris, Baudouin, pluviôse an X (1802). Dans le système des connaissances chimiques, Fourcroy abandonne la classification des articles en fonction de l'occurrence des substances dans la nature, pour une autre, fondée sur la composition des substances. Il retient huit classes : substances simples ou non décomposées (lumière, chaleur, azote, hydrogène, carbone, phosphore, soufre, métaux) - corps brûlés (oxydes, eau, acides minéraux) - bases salifiables (terres et alcalis) - sels - métaux (repris en détail de la classe 1) - substances minérales (d'origine naturelle, appartenant aux cinq premières classes) - substances organiques végétales - substances organiques animales. La matière des connaissances chimiques s'avérant trop vaste pour un étudiant débutant, Fourcroy publie en 1800 des *Tableaux synoptiques de chimie, pour servir de résumé aux leçons données dans cette science dans les écoles de Paris*, Paris, Baudouin, 1800. Ces *Tableaux* ont été traduits en anglais (1801), en danois (1805), en portugais (1802) et en allemand (3 éditions, 1800 et 1801).

Pour l'anecdote, signalons le petit prospectus résumé d'un cours dispensé pendant la période la plus dure de la Révolution, intitulé *Mort aux Tyrans. Programmes des cours révolutionnaires sur la fabrication des salpêtres, des poudres et des canons. Fait à Paris, par ordre du comité de salut public, dans l'amphithéâtre du Muséum d'histoire naturelle, et dans la salle des Électeurs, maison du ci-devant Évêché, les 1, 11 et 21 ventôse, deuxième année de la République française une et indivisible, par les citoyens Guyton, Fourcroy, Dufourny, Bertholet (sic), Carny, Pluvinet, Monge, Hassenfratz et Perrier* (1794).

Le chimiste

Membre associé de la Société royale de médecine depuis le 10 octobre 1780, nommé censeur royal des ouvrages d'histoire naturelle, de médecine et de chimie en 1783, Fourcroy entre à la Société d'agriculture de la généralité de Paris en 1783 ou 1784 (les registres ont disparu) et est élu «associé chimiste» de l'Académie royale des sciences le 11 mai 1785. Dans ces trois institutions scientifiques, chargées par l'administration royale d'effectuer des études et rapports rémunérés sur des sujets divers, Fourcroy se fait remarquer par son acharnement au travail, le nombre et la qualité des rapports qu'il fournit. On relève ainsi, entre octobre 1780 et mars 1791, dans les registres de la Société royale de médecine, 88 rapports sur des médicaments, des inventions chimiques, des cosmétiques, etc. cosignés par Fourcroy et au moins un autre associé.

L'analyse initiale et le contrôle régulier des eaux minérales constituaient une autre des tâches de la Société royale de médecine. Ce sujet intéressait tout particulièrement Fourcroy qui lui a consacré tout un chapitre de ses *Éléments de chimie* et qui a laissé à la postérité un rapport, cosigné avec les autres membres de la commission d'étude, intitulé *Analyse chimique de l'eau sulfureuse d'Enghien, pour servir l'histoire des eaux sulfureuses en général* et publié chez Cuchet.

Dans le même cadre, Fourcroy a participé en 1784 à une commission chargée par le ministre de la Marine de problèmes de diététique à bord des vaisseaux et dans les hôpitaux de la Marine. En 1791, il participe à une commission chargée du contrôle sanitaire des prisons.

Le premier mémoire de recherche de Fourcroy qui ait été lu à l'Académie royale des sciences, ainsi que sa première candidature à un poste «d'adjoint chimiste» de cette société scientifique prestigieuse, datent de 1778. Bucquet fut élu, à sa mort (1780) le poste d'adjoint chimiste alla à Bertholet. En 1784, au décès de Macquer, un «pensionnaire chimiste», c'est à nouveau l'échec pour Fourcroy qui se voit préférer Quatremère. Enfin, après la réorganisation de l'Académie (23 avril 1785), un poste «d'associé chimiste» devient disponible, Fourcroy y est élu le



Antoine François de Fourcroy (Archives de l'Académie des sciences, Photo Jean-Loup Charmet).

11 mai 1785 et déploie immédiatement une grande activité. Dès le 22 mai il remet à Cadet, alors doyen des pensionnaires chimistes, un rapport destiné à l'équipe de J.F. de La Pérouse qui préparait son voyage d'études autour du monde et l'exploration de l'océan Pacifique. Ce rapport énumère les faits d'ordre chimique qui semblent devoir être étudiés prioritairement (étude des sols, de l'air, des eaux minérales, des sels naturels et des bitumes, du jus des plantes et fruits, etc.).

Déjà, avant son élection, Fourcroy avait présenté une trentaine de mémoires à l'Académie, tous objet de rapports favorables. Rebuté par les lenteurs de leur publication, il en fit paraître lui-même la collection en 1784 sous le titre *Mémoires et observations de chimie... pour servir de suite aux éléments de chimie, publiés en 1782, par l'Auteur*, Paris Cuchet, 1784. Parmi ces mémoires, le premier est particulièrement intéressant, en ce qu'il correspond à un véritable code de l'expérimentation chimique pour débutants. Intitulé *Mémoire sur l'art de faire des recherches en chimie, & sur celui d'observer & de décrire les phénomènes*, ce texte est toujours d'actualité. Après avoir relevé que certains chimistes négligeaient d'étudier la totalité de la documentation existant sur un sujet donné et que l'on trouvait quelquefois des descriptions trop hâtives (trop courtes et inexactes), ce qui fausse les idées, Fourcroy décrit les quatre sources d'erreurs les plus courantes au cours de l'expérimentation et donne les conseils suivants pour les éviter :

- une jamais examiner les résultats d'une expérience en fonction d'idées préconçues, mais avec un esprit ouvert,
- une expérience pouvant être altérée sous l'effet de conditions extérieures, contrôler toujours soigneusement les conditions de température, de l'humidité et de la non-pollution de l'air par des gaz divers, ne pas oublier que la forme et le volume des réacteurs peuvent avoir une influence sur la réaction,
- vérifier toujours la pureté des réactifs utilisés,
- chaque chimiste ayant ses tours de main particuliers, il est essentiel de fournir une description complète et suffisamment détaillée de chaque expérience, pour que tout autre chimiste puisse la reproduire exactement.

Indépendamment des rapports et études que lui demandait l'Académie royale des sciences, Fourcroy a publié environ 130 mémoires originaux sur des thèmes chimiques et médicaux dont la plupart ont été imprimés par la suite dans plusieurs journaux scientifiques. On relève en particulier près de 30 mémoires à l'Académie, 60 aux *Annales de Chimie*, une vingtaine dans les *Annales du Muséum*, une dizaine dans le *Journal de la Société de pharmacie* et autant dans la *Médecine éclairée*.

Après avoir partagé initialement le point de vue de Macquer selon lequel tous les gaz inflammables, qu'il s'agisse de ceux obtenus par action d'un acide sur un métal [\rightarrow H₂], par chauffage du bleu de Prusse [\rightarrow (CN)₂] ou par chauffage d'oxyde de zinc avec du charbon de bois [\rightarrow CO], ou bien du gaz qui se dégage des matières en putréfaction ou des marais [\rightarrow CH₄], n'étaient que de l'hydrogène plus ou moins pur, Fourcroy révisé sa position au fur et à mesure de ses observations personnelles dans l'étude des substances gazeuses. Celles-ci ont porté notamment sur l'action du gaz ammoniac sur des sels de métaux, puis sur la combustion des chandelles dans des gaz divers, la réaction du phosphore ainsi que celle de l'ammoniac avec l'acide muriatique oxygéné (le chlore) qui conduit à la formation du nitruide de chlore hautement instable (explosion) avec un excès de chlore. Cette dernière étude est la première effectuée avec Vauquelin, assistant de Fourcroy à partir de 1783 ou 1784. Il est remarquable que Fourcroy ait relevé dès 1780 que la

présence d'oxygène dans la molécule d'acide muriatique (chlorure d'hydrogène) n'était pas prouvée et ne constituait qu'une pure hypothèse.

Au moment des guerres de la Révolution, Fourcroy et Vauquelin ont étudié (1796) pour le compte des armées les conditions de manipulation du chlorate de potassium permettant d'éviter sa décomposition explosive, les conditions de détonation de mélanges de chlorate de potassium et de matières inflammables (la fleur de soufre en particulier), l'inflammation des mélanges de chlorate et de sucre sous l'action de traces d'acide sulfurique. Au contact de l'acide sulfurique concentré avec le chlorate de potassium ils ont observé la formation de dioxyde de chlore, ce gaz explosif qui servit cent ans plus tard dans une tentative d'attentat contre Bismarck.

La nouvelle nomenclature de chimie laissant entrevoir la possibilité d'existence d'un grand nombre de combinaisons d'acides et de bases, Fourcroy entreprit une étude extensive des sels et en décrit plus d'une centaine (cf. *Système des connaissances chimiques*). En 1797, Fourcroy et Vauquelin arrivent à la conclusion que l'acide sulfurique possède une «affinité prédisposée» pour favoriser la formation d'éthers (et d'esters, confondus avec les premiers).

Un grand nombre de mémoires portent sur la chimie inorganique, sur l'analyse de substances des règnes végétal et animal, ainsi que sur des problèmes de chimie médicale (p.ex. nature des calculs biliaires et rénaux). Ces travaux furent souvent réalisés dans le contexte des missions officielles de l'Académie royale des sciences et de la Société royale de médecine. Parmi les travaux notoires effectués avec Vauquelin, signalons l'étude détaillée de l'acide sulfureux et des sulfites.

La Révolution interféra beaucoup avec les travaux des hommes de science de l'époque ; en particulier elle fit dévier, pour un temps, Fourcroy de ses travaux de chimiste. En 1803 il reprend avec Vauquelin des recherches sur les composés inorganiques. Ils établissent l'identité de composition entre la calcite et l'aragonite. En dissolvant le platine brut dans l'eau régale, ils observent le dégagement d'un gaz fétide (tétroxyde d'osmium) qu'ils supposent être le dérivé d'un élément nouveau, l'osmium,

mais n'identifient pas ce métal dont la découverte revient à Tennant (1804). Selon Partington (*op. cit.* p.704), les travaux de Fourcroy, Vauquelin et Collet-Descotils «Sur la cause des couleurs différentes qu'affectent certains sels de platine» (*Annales de Chimie*, 1804, 98, 153) justifieraient que l'on attribue aussi à ces trois chercheurs la découverte de l'iridium, indépendamment de Tennant.

Le citoyen

Partageant dès son jeune âge les soucis de la vie quotidienne des couches laborieuses exploitées par les privilégiés de la cour royale, Fourcroy s'est toujours rangé parmi ceux qui, sans remettre en cause la royauté elle-même, souhaitent une réforme profonde de l'administration du royaume. En 1789, au moment où, sous la pression du tiers état qui assume seul la banqueroute du royaume, le roi accepte la suggestion de Necker de convoquer les états généraux pour étudier les cahiers de doléances du peuple et trouver des remèdes à la situation, Fourcroy fait partie du corps électoral de Paris dans la circonscription des «Blancs Manteaux». A ce titre, il participe aux assemblées primaires chargées de désigner les délégués qui éliront à leur tour les représentants du tiers état¹⁰. Fourcroy est mentionné dans les procès-verbaux comme ayant participé le 5 mai, lendemain de l'ouverture des états généraux, à une délégation chargée de porter un message à l'assemblée de la noblesse. Les procès-verbaux du 18 mai indiquent qu'il est signataire d'une pétition pour la liberté de la presse. Retourné à ses travaux scientifiques, il n'a pas exercé de responsabilités publiques avant 1792, mais dans son éloge funèbre rédigé par Palisot de Beauvois, on relève que Fourcroy avait accepté des tâches bénévoles au niveau de divers organismes de santé, d'éducation et de bienfaisance publique, ainsi que de la «section révolutionnaire» de son quartier. Pour un temps il a aussi été «médecin des pauvres» dans le Faubourg Saint-Marceau.

Pendant deux ans environ, la Révolution avait gardé un caractère royaliste, mais les palinodies du roi et de ses conseillers finissent par discréditer la royauté au profit de l'idée d'une répu-

blique. Les revers subis dès l'entrée en guerre avec l'Autriche, en avril 1792, la crainte d'un complot des aristocrates, l'incurie du ministère de la Guerre (pénuries d'armes et de vivres), les travaux de sape et les intrigues des hommes de la cour, etc. induisent une seconde révolution, républicaine celle-là. Cette période de remous culmine avec l'attaque des Tuileries le 10 août 1792, pour aboutir à la déchéance du roi, à la prise de pouvoir par la Commune insurrectionnelle et aux massacres du 3 et 4 septembre (première Terreur). Sous l'effet de choc de ces événements et à la suite du développement d'une contre-révolution, «*l'opinion publique réclame une rénovation des mœurs et des institutions ; le passé lui semble si détestable qu'elle n'en accepte même plus ses legs les plus valables*» (P. Lafue, in *Histoire du Peuple Français*, t. 3, Paris, 1952).

C'est dans ce contexte que, le 21 août 1792, Vicq d'Azyr et Fourcroy sont confrontés au problème de la révision de la liste des membres de la Société de médecine et réussissent à conserver l'ensemble des membres actifs, tout en donnant des gages au nouveau pouvoir par la suppression de la catégorie des «associés vétérans» (retraités), la radiation des émigrés, ainsi que celle de Loménie de Brienne (ancien ministre du roi et ancien cardinal déchu pour avoir prêté serment à la Constitution civile du clergé) et d'Amelot (ancien ministre) emprisonnés. Aucun des exclus n'avait eu une réelle activité dans la Société de médecine.

Quelques jours plus tard, le 25 août, Fourcroy annonce à l'Académie des sciences «*que la Société de médecine a rayé de sa liste plusieurs de ses membres émigrés et notoirement connus pour contre-révolutionnaires ; il propose à l'Académie d'en user pareillement avec certains de ses membres connus pour leur incivisme ; qu'en conséquence lecture soit faite de la liste de l'Académie, pour prononcer leur radiation*». Mais, la majorité des académiciens présents refuse de suivre Fourcroy. Certains objectent que l'Académie ayant pour seule préoccupation le progrès des sciences, n'avait pas le droit de s'enquérir des opinions politiques de ses membres. Le débat et la lecture de la liste sont renvoyés à la séance du 29 août. A l'ouverture de celle-ci, le directeur de



Hôtel de Magny au Jardin des Plantes. Le rez-de-chaussée et le 1^{er} étage furent occupés par Fourcroy jusqu'à sa mort, le 2^e étage par Haüy. Lithographie par Champin d'après Régnier (Photo Jean-Loup Charmet).

l'Académie informe les membres qu'il a pris l'initiative de faire enlever plusieurs bustes «*dont la vue aurait pu choquer le public dans les circonstances présentes*». Le géomètre Cousin relève alors que de tout temps l'Académie avait pour habitude d'en référer au ministre de tutelle en ce qui concernait les problèmes autres que les progrès de la science et que, dans l'affaire des radiations, cela lui semblait la procédure à adopter. La majorité se range à ce point de vue et transmet le dossier. Le 21 novembre, la liste révisée par le ministre de l'Intérieur est lue et approuvée après des corrections mineures. Neuf des membres ont été rayés, tous émigrés sauf Menard-Chausy, un ancien conseiller d'État.

Une assemblée électorale se réunit le 27 août 1792, Fourcroy y participe en tant qu'électeur désigné par la section des «Gardes-Françaises». Marat, dont l'influence auprès de la Commune est très grande, dresse une liste de citoyens qu'il estime posséder les capacités nécessaires pour être député et y inscrit

Fourcroy, sans lui demander son avis semble-t-il. Mais qui aurait osé opposer un refus au sanguinaire Marat ? Parmi les 24 députés et 8 suppléants élus le 21 septembre 1792, Fourcroy occupe la place de quatrième suppléant ; vers cette date il rejoint le club des Jacobins.

Il ne semble pas qu'à ce moment Fourcroy ait eu l'ambition de «servir la patrie» autrement qu'en continuant à assumer ses tâches scientifiques antérieures. En effet, au début de septembre 1792, il refuse par deux fois la charge de régisseur des Poudres et Salpêtres en proposant la nomination à ce poste de Vauquelin, Hassenfratz ou Adet. De même démissionne-t-il, le 15 janvier 1793, du poste d'administrateur du département de Paris auquel il avait été élu deux jours auparavant, apparemment sans son consentement. Il accepte par contre, le 5 septembre 1792, d'être l'un des deux représentants de l'Académie des sciences au bureau de consultation des Arts et Métiers, chargé d'examiner les découvertes et inventions nouvelles.

De même, du 9 avril 1793 à la fin de 1795, il participe à la commission restreinte créée par le comité de salut public pour la recherche de nouveaux moyens de défense et passe 18 mois à étudier des problèmes de poudres explosives, de canons et d'autres armes. Ces travaux préfigurent sa mutation de simple citoyen en homme public.

L'homme public

Une nouvelle carrière commence pour Fourcroy avec la création de la commission d'Instruction publique du département de Paris, formée le 30 mai 1793, et dont il est l'un des 28 membres. Le 13 juillet de la même année, Marat, député titulaire, est assassiné, le mouvement révolutionnaire populaire des sans-culottes et des enragés bat son plein. Fourcroy est invité le 25 juillet par la Convention à siéger en tant que son successeur.

Dès le 30 juillet, il est élu au comité d'Instruction publique de la Convention et intervient dans les débats relatifs au projet de Louis-Michel Le Peletier¹¹ d'éducation et de vie commune des enfants, projet dont il déclare soutenir les principes généraux, mais qu'il estime trop onéreux en ces temps de guerre et de bouleversements sociaux¹². Le 15 septembre, deux jours avant le vote de la brutale «loi des suspects» qui légalisait et induisait la Terreur, la Convention adopte un plan d'éducation général qui contient une proposition de Fourcroy pour la création de sections d'enseignement technique destinées à la formation des artisans.

Après la laïcisation et un début de restructuration de l'enseignement (décret du 10 juin 1793), la grande affaire du moment pour le comité d'Instruction publique était la suppression des sociétés savantes. La dissolution de toutes les institutions d'ordre littéraire, artistique et scientifique avait été décrétée par la Convention le 8 août 1793, sur la proposition suivante de l'ex-abbé Grégoire présentée au nom de la commission de l'Instruction publique :

«Toutes les académies et sociétés littéraires patentées et dotées par la nation sont supprimées.....

.... L'Académie des Sciences demeure provisoirement chargée des divers

travaux qui lui ont été renvoyés par la Convention nationale ; en conséquence elle continuera à jouir des attributions annuelles qui lui sont accordées jusqu'à ce qu'il en soit autrement ordonné. - La Convention nationale charge son comité d'Instruction publique de lui présenter incessamment un plan d'organisation d'une société destinée à l'avancement des sciences et des arts ...».

Seules la suppression des académies et sociétés, ainsi que la dévolution de leurs biens, furent votées, la seconde partie de la proposition Grégoire fut disjointe par la Convention à l'incitation du peintre David.

Lavoisier, alors trésorier de l'Académie des sciences, écrit dès le 10 août au comité d'Instruction publique pour lui rappeler les nombreux travaux en cours dont la Convention avait chargé l'Académie, en particulier ceux sur la mesure du méridien et ceux relatifs à la création du système métrique des poids et mesures. Confronté au séquestre de ses comptes, il demande que, pour pouvoir assurer la continuation des travaux, l'Académie des sciences soit retirée de la liste des institutions visées par la loi du 8 août.

Mais on est alors très proche des émeutes du début de septembre et de l'instauration de la Terreur ; les luttes des clans politiques priment les préoccupations des scientifiques. Toutefois, la Convention réclame le 20 août au comité d'Instruction publique une liste des travaux dont la poursuite semble indispensable. Dès le 7 septembre, une commission à laquelle Fourcroy prend une grande part propose¹³ à la Convention, en attendant de prendre position sur d'autres travaux, la création d'une «commission des Poids et Mesures» que celle-ci entérine dès le 11.

Les 12 membres de la nouvelle commission (dont Fourcroy en tant que représentant de la Convention) sont tous membres de l'Académie, la présidence étant assurée par Borda, le secrétariat par Haüy, Lavoisier étant trésorier. Cette répartition des tâches et le fait que, en septembre 1793 Lavoisier et Fourcroy entrent tous deux, ainsi que d'autres académiciens, à la Société Philomatique et y reconstituent un cadre de travail scientifique, semblent propres à démentir les insinuations calomnieuses à l'égard de Fourcroy, reprises à la fin du

siècle dernier par Grimaux et par Berthelot, d'une mésentente profonde entre Fourcroy et Lavoisier qui aurait amené le premier à ne rien entreprendre pour sauver la vie du second.

Ce qui est certain, par contre, c'est que la loi des suspects, votée le 17 septembre 1793, vise directement les anciens fermiers généraux (catégorie des «accapareurs»), corps auquel Lavoisier avait appartenu jusqu'à sa suppression en 1791. Or, au moment de la suppression de l'Académie des sciences, Lavoisier était déjà impliqué dans la procédure intentée contre les anciens fermiers généraux dont les papiers avaient été mis sous scellés. Aussi, le 9 septembre Lavoisier écrivait au comité de salut public pour demander une levée de scellés apposés sur des documents et appareils indispensables aux travaux de la commission des Poids et Mesures. Dès le lendemain, Fourcroy et Romme obtinrent cette levée, faite en présence de deux représentants du comité de surveillance de la «section des Piques» dont relevait Lavoisier. Non seulement les appareils et documents furent débloqués, mais, après examen du reste de la correspondance sous séquestre, les représentants du pouvoir révolutionnaire retirèrent définitivement les scellés. Le secrétaire greffier de sa section confirma, par lettre du 28 septembre à Lavoisier, son civisme et le déclara libre de toute suspicion (cf. Kersaint, *op. cit.*).

Une dernière preuve de l'absence de dissensions entre Lavoisier et Fourcroy peut être trouvée dans le comportement de ce dernier au moment de «la régénération» (l'épuration) du Lycée. Kersaint qui a étudié à fond les dossiers concernant cet établissement indique que Lavoisier figure bien sur la liste, établie par Fourcroy le 16 brumaire de l'an II (6 novembre 1793), après «recensement de ceux des membres (du Lycée antérieur) qui par leurs vertus civiques, par leur amour pour les sciences et les arts et par leur zèle pour l'intérêt de cet établissement ont paru dignes d'être appelés à composer le Lycée républicain» (procès-verbal du comité régénérateur).

Or, si la liste des fondateurs soumise à l'assemblée générale du 12 frimaire (2 décembre 1793) ne contient plus le nom de Lavoisier, arrêté le 8 frimaire dans le cadre de l'action contre les fermiers généraux, Fourcroy qui connaissait le

brevet de civisme délivré le 28 septembre par les «commissaires politiques» de la section des Piques, prenant des risques certains, réussit cependant à en faire ajourner l'approbation définitive, en attendant d'avoir obtenu du comité de surveillance des renseignements sur le citoyen Lavoisier. De toute évidence, il en espérait un nouveau brevet de civisme.

Il ne semble pas nécessaire de continuer à examiner le comportement de Fourcroy dans l'affaire Lavoisier ; le sort de Lavoisier s'est joué au niveau de Robespierre et nulle part ailleurs. Dans les circonstances du moment, celles du sommet de la Terreur, où un emprisonnement était en général considéré comme équivalent à une condamnation à mort que rien ne semblait pouvoir faire annuler, le procès contre les fermiers était dirigé contre un corps «*in solidum*», pas contre des individus¹⁴.

L'action de Fourcroy au sein du comité d'Instruction publique s'est poursuivie pendant un peu plus d'un an. Elle a porté sur des projets d'enseignement supérieur scientifique et médical. En particulier, il soumet à la Convention un système d'enseignement supérieur concurrentiel, c'est-à-dire ne constituant pas un monopole de l'État, pour maintenir une compétition tant entre établissements (de statut privé), qu'entre enseignants (contractuels), mais aussi pour éviter la reconstitution d'un système éducatif analogue à celui de l'Ancien Régime. Il en espérait le développement d'écoles de grande renommée. Des bourses devaient venir en aide aux étudiants indigents, des pensions assurer la vieillesse des enseignants après 25 ans de services. La Convention ne donna pas suite à ce projet.

En mars 1794, Fourcroy a été associé par le comité de salut public aux travaux de transformation de l'École des Ponts et Chaussées, ancienne institution royale, en une «École Centrale des Travaux Publics», chargée de former au cours de cycles de 3 années d'études des promotions de 400 ingénieurs de toutes les branches d'ingénierie. Cette école a ouvert ses portes en décembre 1794. C'est encore Fourcroy qui a proposé à la Convention la création d'une «école de santé» doublée d'un centre de recherches médicales. Cette proposition fut entérinée le 4 décembre 1794 (création des

écoles de santé de Paris, Strasbourg et Montpellier).

Après la chute de Robespierre (27 juillet 1794) et la réorganisation du comité de salut public (pour l'empêcher d'exercer à nouveau des pouvoirs dictatoriaux), Fourcroy y est élu le 1er septembre 1794. Il est chargé de la mise sur pied d'entreprises industrielles indispensables pour ravitailler les armées en armes et munitions. Il s'avère être un excellent organisateur, décuple la production de salpêtre, force la production de ballons pour les observations sur les champs de bataille, pousse au développement du procédé Leblanc et, entre autres, généralise le remplacement, comme source d'énergie et comme réducteur de minerais, du charbon de bois par le charbon.

En 1795, Fourcroy est réélu au comité d'Instruction publique qui dresse les plans d'un système d'éducation amélioré selon lequel on installera une école élémentaire dans chaque canton, une école centrale (pour les enfants de 11 à 18 ans) dans chaque département et au niveau national huit écoles spécialisées. Celles-ci seront destinées à la formation des cadres des divers services publics de l'État et dispenseront des enseignements dans les sciences politiques, l'art militaire, la navigation, les arts et l'architecture, les techniques minières, les sciences de l'ingénieur, la médecine et l'art vétérinaire. Selon les propositions de Fourcroy, ces huit écoles seront issues de la réorganisation d'écoles existantes et devront donner une formation spécialisée aux élèves diplômés d'une École polytechnique, dispensant un enseignement fondamental des sciences et formée elle-même à partir de l'École Centrale des Travaux Publics qui ne conservera que les sections d'enseignements spécialisés. À côté de ces écoles sera créé un Institut National des Sciences et des Arts, chargé d'accueillir les savants étrangers et de développer les recherches que lui commandera le gouvernement.

Sous la première législature du Directoire (octobre 1795), Fourcroy est élu au conseil des anciens ; son activité s'y limite à l'étude de problèmes d'ordre éducatif ou industriel, sans qu'il ne fasse partie d'aucune commission. Il n'est pas réélu lors de la seconde législature (avril 1797), ne semble pas le regretter (cf. lettre publiée par G. Kersaint dans *Bull.*

Soc. Chim. Fr., 1958, 1618) et retourne à ses travaux scientifiques qu'il développe avec Vauquelin. Il faut relever qu'au cours de toute la période révolutionnaire, il n'avait jamais abandonné ses conférences au Muséum d'Histoire Naturelle, nouvelle dénomination de l'École du Jardin du roi, ainsi qu'au Lycée, malgré ses nombreuses tâches politiques et administratives. À la fondation de l'École Centrale des Travaux Publics, Fourcroy y est nommé professeur de chimie, en même temps qu'il est nommé professeur de chimie à l'École de Santé (appelée plus tard École de Médecine).

Au cours de la phase de la structuration de l'État républicain, Fourcroy participe à la constitution ou à la reconstitution d'organismes de recherches et de sociétés savantes. En 1795, il est élu à l'Institut National des Sciences et des Arts et contribue à en établir le règlement intérieur ; en 1796, il devient l'un des 100 membres résidents de la Société de santé de Paris, devenue Société de médecine l'année suivante. La même année, il est élu à la Société des pharmaciens et devient l'éditeur du *Journal de la Société des Pharmaciens de Paris* qu'il incorpore ultérieurement aux *Annales de Chimie* dont il était éditeur-fondateur avec Lavoisier en 1789.

Le conseiller d'État

Après le renversement du Directoire le 18 brumaire de l'an VIII (9 novembre 1799) et l'instauration du Consulat, un conseil d'État est recréé par la nouvelle constitution et installé le jour de Noël 1799. Bonaparte y nomme Fourcroy qui est affecté à la section de l'Intérieur et chargé de missions de supervision de l'administration. En 1802, un bilan du système éducatif mis en place en 1795 fait apparaître de nombreux défauts. Fourcroy contribue à sa réforme et la présente aux consuls le 20 avril ; elle est concrétisée par la loi du 1er mai 1802.

Ce système d'administration centralisée des enseignements est basé sur :

- des écoles primaires dont les enseignants seront rétribués par les parents d'élèves ;
- des écoles secondaires dont la création est soumise à une autorisation administrative et dont le fonctionnement donne lieu à inspection. Elles sont à la

charge des autorités locales ; on y étudie le français, le latin, l'histoire et la géographie, ainsi que des mathématiques ;

– des lycées créés par transformation de certaines écoles centrales et pris en charge par le gouvernement ; la scolarité y est payante (et le restera jusqu'après la Première Guerre mondiale), leur programme d'enseignement comporte l'étude de la littérature ancienne et moderne, des sciences mathématiques, physiques et naturelles. Pour l'exploitation d'un gisement de talents, de nombreuses bourses aideront les enfants des classes peu fortunées ;

– enfin, les nouvelles structures seront complétées par la création de 3 nouvelles écoles de médecine à Mayence, Turin et Gênes, ainsi que de 10 écoles de droit. Un corps d'inspecteurs garantira l'uniformité des formations et la qualité des enseignements.

En septembre 1802, Fourcroy est nommé «conseiller d'État chargé de l'Instruction publique», titre changé ultérieurement en celui de «directeur général de l'Instruction publique». Dans cette fonction, il uniformise en 1803 les examens des études juridiques, médicales et pharmaceutiques ; il impose aux médecins non issus des écoles de médecine de Paris, Montpellier et Strasbourg, seules reconnues de niveau satisfaisant, de repasser des examens d'approbation.

En 1805 Napoléon, imbu de ses succès et désireux d'assurer la pérennité de son pouvoir, souhaite que les enfants acquièrent des idées «correctes» dans le domaine des institutions impériales et religieuses, ce qui protégerait, pense-t-il, la nation des troubles et des bouleversements. Il charge Fourcroy d'établir un projet de corps de fonctionnaires des enseignements et de fournir un rapport détaillé sur le fonctionnement du système scolaire créé en 1802.

Après une série d'inspections¹⁵, complétée par les rapports de ses inspecteurs, Fourcroy présente son «état des lieux» le 27 février 1806. Il y relève le manque d'enseignants qualifiés dans l'enseignement primaire et recommande que les autorités locales, plutôt que les parents, leur paient un salaire régulier. Les écoles secondaires (370 écoles publiques et autant d'écoles privées) lui semblent dispenser un enseignement de qualité à environ 50 000 enfants. Quant

aux 29 lycées déjà en fonctionnement, ils sont excellents selon ses observations. Dans la suite de son rapport Fourcroy propose alors la création d'une «grande université impériale», un système administratif avec des corps hiérarchisés d'enseignants, destiné à gérer et à coordonner les enseignements supérieurs, les lycées et écoles secondaires publiques, ainsi qu'à superviser les écoles primaires publiques et les écoles privées. A la tête de cette université serait nommé un conseiller d'État qui prendrait le titre de directeur général de l'Instruction publique. De toute évidence, notre héros espérerait bien diriger cette institution.

Napoléon et le Conseil d'État discutent de ce projet avec Fourcroy et, le 7 mars 1806, un texte sensiblement modifié est rédigé. A la tête de l'université il y aurait un grand recteur nommé par l'empereur (titre changé ultérieurement en grand maître), pas nécessairement issu du Conseil d'État, mais qui deviendrait membre du Sénat. Le projet aboutit à un texte de décret qui reçoit l'aval du Conseil d'État le 4 juillet 1806, mais l'empereur était alors trop occupé par ses campagnes militaires pour prendre la décision finale.

Ce n'est que le 17 mars 1808, après de nouvelles modifications et l'insertion d'une clause indiquant qu'elle était basée sur les principes de la religion catholique, que l'Université Impériale est enfin créée par Napoléon qui nomme comme premier grand maître Louis de Fontanes, homme de lettres et président du Corps législatif¹⁶. Si elles n'avaient été détruites dans les incendies du siège de Paris de 1871, les archives du Conseil d'État nous auraient peut-être révélé la raison de la mise à l'écart de Fourcroy qui, selon Aulard (1911), serait liée à la signature du Concordat en 1801. Napoléon, quoique lui-même indifférent à la religion, aurait estimé que pour être acceptée par le pays, la nouvelle université devait faire référence aux idées de celle des églises dont la majorité des Français se réclamait. Or, Fourcroy avait déclaré publiquement devant le Conseil d'État être libre penseur, avoir espéré en son temps que l'éducation rendrait inutile toute religion, ajoutant que si une certaine forme de religion devait être nécessaire à la masse du peuple, il aurait préféré à tout prendre que ce fût la religion protestante, car elle cherchait beau-

coup moins que la religion catholique à interférer dans les affaires de l'État.

Fortement affecté de ne pas se voir confier la tutelle de l'université, son enfant, Fourcroy déclare à des amis «ce coup me tuera ; une griffe de fer me déchire le cœur». Il continue cependant de traiter des affaires éducatives au Conseil d'État, travaille en particulier au projet de règlement intérieur de l'université et accepte la responsabilité d'un service d'attribution des bourses pour les lycées et le Collège de France. Mais ces tâches ne semblent pas avoir suffi à l'occuper, car en 1807 il établit trois rapports relatifs à l'attribution des concessions minières et, en 1808, il propose, au titre de la section de l'Intérieur du Conseil d'État, la première version d'un code minier complet. Malgré une santé déclinante il peaufine son travail dont il présente cinq versions successives au Conseil d'État, mais le code lui-même n'a été promulgué que le 21 avril 1810, plusieurs mois après sa mort, survenue le 16 décembre 1809 à 54 ans. Ce jour en effet, Napoléon signait les lettres patentes nommant Fourcroy comte de l'Empire. Devant sa famille réunie pour fêter l'événement, il se dresse tout d'un coup en disant «je suis mort», «je suis mort» puis s'écroule.

Bibliographie

- Aulard F.A., Recueil des actes du comité de salut public, Paris, **1889 à 1933**.
 Aulard F.A., Napoléon 1er et le monopole universitaire, Paris, **1911**.
 Berthelot M., *La révolution chimique, Lavoisier*, nouveau tirage, A. Blanchard, Paris, **1964**.
 Guillaume J., Procès verbaux du comité d'Instruction publique de la Convention nationale, Paris, **1891 à 1907**. Ces procès verbaux contiennent les rapports et projets de Fourcroy ou leurs résumés.
 Grimaux E., *Lavoisier*, Alcan, Paris, **1888**.
 Hoefler F., *Histoire de la chimie*, tome 2, Firmin Didot, Paris, **1869**.
 Kersaint G., Lavoisier, Fourcroy et le scrutin épuratoire du lycée de la rue de Valois, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, **1958**, 259/60. voir aussi G. Kersaint, *Nature*, **1959**, 184, 1452 et H. Guerlac, *Isis*, **1954**, 94, 51.
 Partington J.R., *A history of chemistry*, tome III, Macmillan, Londres, **1962**.
 Smeaton W.A., *Fourcroy, chemist and revolutionary*, Heffer & Sons, Cambridge (GB), **1962**.
 Taton R., *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIIIe siècle*,

Hermann, Paris, 1986.

Taton R., *Histoire Générale des Sciences*, tomes II et III, Presses Universitaires de France, Paris, 1958 et 1961.

Notes

- 1 Cette Société royale de médecine, dominée par la personnalité de Vicq d'Azyr, était une institution issue d'une commission créée par le roi pour étudier une épidémie animale, au grand dépit de la Faculté de médecine de l'université de Paris qui prit ombrage de la rapide réputation de cet organisme. Pensant calmer les esprits, Vicq d'Azyr assure aux membres de sa faculté une majorité statutaire ; en effet, sous la présidence du premier médecin du roi, la Société royale de médecine compte 30 membres, tous docteurs en médecine résidant à Paris dont 20 doivent être membres de la faculté de médecine, 12 membres associés pouvant être spécialisés dans des domaines scientifiques autres que la médecine et n'étant pas nécessairement docteurs, les 2 doyens de la faculté de médecine et enfin le secrétaire permanent, Félix Vicq d'Azyr. Un nombre illimité (et non rémunéré) de correspondants assure à la Société une solide assise dans l'ensemble du royaume et permet une bonne diffusion de ses travaux.
- 2 Les notes et additions de Fourcroy concernent un certain nombre d'observations personnelles, ainsi qu'une analyse des ouvrages sur le sujet parus au cours du demi-siècle précédent.
- 3 Jean-Baptiste Michel Bucquet (né le 18 février 1746 à Paris - décédé le 24 janvier 1780 à Paris). Ce docteur en médecine et chimiste dispensa dès 1768 des conférences de chimie dans son laboratoire, à titre privé. Après sa nomination comme professeur de pharmacie (1775) et de chimie (1776) à la faculté de médecine, il fut le premier professeur en Sorbonne à compléter, à partir de 1777, son enseignement magistral public par des exercices pratiques, ceux-ci étant dispensés dans son laboratoire privé, installé rue Jacob. Intéressé par les applications de la chimie en médecine, Bucquet fait partie des fondateurs de la Société royale de médecine. En 1778, à la suite de ses travaux sur l'action des gaz connus sur les animaux (*Mémoire sur la manière dont les animaux sont affectés par les différents fluides aëriiformes méphitiques*), considérés par P.J. Macquer et

A.L. Lavoisier (rapport à l'Académie royale des sciences) comme le travail «*le plus méthodique et peut-être le plus complet*» sur ce sujet, Bucquet est élu membre de l'Académie royale des sciences et réalise un grand nombre d'expériences en collaboration avec Lavoisier dont il adopte la théorie pneumatique «anti-phlogistique» et l'enseigne en 1779, au cours de son dernier cycle de conférences.

- 4 Comme professeur dans la «chaire principale de chimie». Il s'agit de la charge de «démonstrateur et opérateur pharmaceutique» créée en 1635. Cette charge devient chaire de chimie générale en 1793.
- 5 Antoine-Louis Brongniart (né le 14 août 1742 à Paris - décédé le 25 février 1804 à Paris) fut nommé le 09 avril 1779 professeur de chimie dans la «chaire secondaire» de chimie. Il s'agit de la charge de «démonstrateur en chimie» créée en 1695. En 1793 cette charge devient chaire des arts chimiques.
- 6 D'autant que Cuchet pratiqua la même technique de l'ajout d'un volume sur la nouvelle nomenclature chimique à l'occasion du second tirage (1789) du *Traité élémentaire de chimie* de A.L. Lavoisier qui comporte 3 volumes, au lieu de 2 pour sa première édition (1789).
- 7 Les *Éléments de Chimie* ont été traduits en anglais (5 éditions), en espagnol (2 éditions), en italien (1 édition) et en allemand (1 édition).
- 8 Cette *Philosophie chimique* a connu trois éditions à Paris sans compter les éditions pirates, une à Bruxelles (avec des notes de van Mons), 5 éditions en anglais, 5 en italien, 2 en russe, 1 respectivement en danois, néerlandais, allemand, grec, polonais, portugais, espagnol et suédois. Le texte de la seconde édition a été réimprimé en 1908, à l'occasion du centenaire de la mort de l'auteur. On trouve de même la totalité du texte de la deuxième édition dans l'ouvrage de Lamarck *Réfutation de la théorie pneumatique ou de la nouvelle doctrine des chimistes modernes, présentée, article par article, dans une suite de réponses aux principes rassemblés et publiés par le citoyen Fourcroy dans sa philosophie chimique* Paris, 1796.
- 9 Traduit en anglais (1804), en espagnol (1803-09) et en allemand. Dans cette dernière langue on connaît deux traductions, la première (1801 à 1803) est due à F. Wolff et a été publiée à

Koenigs-berg. De la seconde, effectuée par Veith et Wiedemann, publiée à Braunschweig en 1801, il n'existe plus que des fragments (tomes I et V à la bibliothèque universitaire de Rostock, selon Smeaton).

- 10 Cette primaire qui réunit 212 personnes se tient les 21 et 22 avril 1789. 3 délégués devaient être élus, mais l'assemblée décide de nommer aussi 5 suppléants, parmi eux Fourcroy. Par la suite délégués et suppléants siégeront ensemble à l'assemblée électorale de 400 membres qui ouvre ses travaux le 26 avril, collecte les cahiers de doléances et élit 20 députés, ainsi que leurs suppléants.
- 11 On trouve aussi Lepeletier, voire Le Pelletier. Le jacobin Le Peletier de Saint-Fargeau a été assassiné en janvier 1793.
- 12 cf. *Opinion de Fourcroy ... sur le projet d'éducation nationale de Michel Le Pelletier* dans les procès-verbaux du comité d'Instruction publique de la Convention nationale, réimprimés par J. Guillaume, Paris, 1891-1907.
- 13 Il semble que Fourcroy ait opéré en plein accord avec Lavoisier, car dans les documents laissés par ce dernier on retrouve un projet presque identique à celui présenté par Fourcroy (Smeaton *dixit*).
- 14 De même, la sentence constituait un acte politique, la disparition d'un symbole de l'Ancien Régime, et avait été rédigée avant l'ouverture du procès au cours duquel les «accusés» n'avaient le droit de répondre que par oui ou par non aux questions du «tribunal». Au cours du XXe siècle, le procureur Vychinski lors des Procès de Moscou (1936/38), le juge Freissler lors de ceux du Volksgerichtshof de Berlin (1943/45) n'ont pas fait mieux.
- 15 Qui le mènent à Limoges, Bordeaux, Toulouse, Montpellier, Nîmes, Lyon, Grenoble, Turin et Alexandrie (Alessandria) dans le Piémont, Marseille, Moulins, Dijon, Besançon, Strasbourg et Mayence.
- 16 Ce cadre d'une «Grande Université» a perdu jusqu'à la loi Edgar Faure en 1969 ; dans les centres universitaires, il n'existait que des facultés autonomes les unes par rapport aux autres, coordonnées de façon légère par un « conseil d'université » sous la direction du recteur d'Académie.

Notice anecdotique et généalogique sur Antoine Laurent Lavoisier

1794-1994



BICENTENAIRE
LAVOISIER

Alain Delacroix* docteur ès sciences physiques, professeur des universités

Catherine Porte* docteur ès sciences physiques, ingénieur au CNAM

Si Lavoisier fut vilipendé, en son temps, par quelques uns et, en particulier, par son vieil ennemi, Marat ¹, qui écrivait dans son pamphlet de 1791, les *Charlatans modernes* : « Il fallait placer à la tête Lavoisier, le père putatif de toutes les découvertes qui font du bruit. Comme il n'a point d'idées en propre, il s'arrange de celles des autres : mais ne sachant presque jamais les apprécier, il les abandonne avec autant de légèreté qu'il les a prises, et il change de système comme de souliers [...] Il y a quelque temps que d'après Cavendish, il trouva le précieux secret de faire de l'eau avec de l'eau [...]. Si tu me demandes ce qu'il a fait, je te répondrai qu'il s'est procuré cent mille livres de rentes qu'il a donné le projet de faire de Paris une vaste prison et qu'il a changé le terme d'acide en celui d'oxygène, le terme de phlogistique en celui d'azote, le terme marin en celui de muriatique, le terme nitreux en ceux de nitrique et nitraque. Voilà ses titres à l'immortalité. Fier de ses hauts faits, il s'endort maintenant sur

ses lauriers » ² il fut encensé par beaucoup d'autres, dont Berthelot ³ qui le décrivait ainsi : « [...] fondateur de la chimie moderne, Lavoisier, l'un des plus grands génies dont s'honore l'humanité », ou encore par le chimiste Wurtz ⁴ qui écrivait à la première page de son dictionnaire : « La Chimie est une science française. Elle fut constituée par Lavoisier, d'immortelle mémoire » ⁵. Un hommage lui a été rendu par Engel qui, dans sa préface de 1885 au *Capital*, s'est servi de Lavoisier comme référence pour présenter l'œuvre de Marx : « Marx est à ses prédécesseurs quant à la théorie de la plus-value ce que Lavoisier est à Priestley et à Scheele [...]. Lavoisier reste celui qui a découvert l'oxygène par rapport aux deux autres qui l'ont simplement produit, sans même avoir l'idée de ce qu'ils avaient produit ».

En dehors de son génie qui lui fut bien sûr personnel, le mode de vie et les comportements de Lavoisier ont été très liés à la présence à ses côtés d'une famille unie et fortunée. Choyé par ses parents puis, après la perte de sa mère, par sa tante Punctis, il bénéficia toute sa vie d'un remarquable environnement familial.

Lavoisier naît, à Paris, le 26 août

1743, dans la maison de ses parents, située dans le cul-de-sac Pecquay qui s'ouvrait sur la rue des Blancs Manteaux. Il est baptisé le jour même en l'église Saint Merry à Paris. La marraine est sa grand-mère maternelle, Madame Punctis, le parrain, son grand'oncle Laurent Waroquier, prêtre, procureur et receveur du collège de Beauvais. Il est âgé de deux ans quand naît sa sœur, Marie Marguerite Émilie. Il n'a que cinq ans lorsqu'il perd sa mère. Jean-Antoine Lavoisier abandonne alors sa maison et va habiter chez sa belle-mère qui vient de perdre son mari. Madame Punctis demeurait alors rue du Four Saint Eustache ⁶ avec sa seconde fille, Mademoiselle Constance Punctis. Cette dernière se consacre, dès lors, entièrement à la tâche d'élever ses neveux.

En 1754, son grand-père maternel, Christophe Frère laisse en mourant une fortune de 137 000 livres qui, partagée entre trois héritiers, permet au jeune Lavoisier d'être envoyé au collège Mazarin où il fait de brillantes études. En 1760, sa jeune sœur meurt à peine âgée de quinze ans. Dès lors, trois personnes se consacrent entièrement à Lavoisier : son père, sa tante et sa grand-mère.

Témoignage de cette affection, les lettres échangées durant son voyage en 1767 dans les Vosges avec le minéralogiste Guettard ⁷; sa tante lui écrit « Notre crainte est que tu ne reçoives pas toutes les lettres que nous t'écrivons et ton père propose, si tu juges convenable, pour qu'on y fasse plus attention à la poste, de mettre : A M.

* Chaire de chimie industrielle, Conservatoire National des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin, 75141 Paris Cedex 03. Tél : (1) 40.27.23.93.- Fax : 42.71.93.29

Lavoisier, envoyé par le roi dans les Vosges. *Nous espérons aujourd'hui recevoir de tes nouvelles ; il nous en faut souvent pour soutenir ton absence. Nous attendons le facteur comme le Messie. [...] Porte-toi bien, mon cher enfant, ménage-toi bien, pense un peu à moi seulement pour te conserver, et crois à la tendresse sincère de ta meilleure amie*» ou encore : *«une lettre n'est pas encore arrivée que nous attendons déjà la suivante*». Son père est tout aussi attentif et avide de nouvelles : *«Faites en sorte de nous donner plus souvent de vos nouvelles, un mot de votre main qui annonce que vous êtes en bonne santé, la date du jour et le lieu où vous écrivez. Nous n'en voulons pas davantage. Vous savez combien nous vous aimons et par conséquent combien nous sommes inquiets quand nous sommes plusieurs jours sans recevoir de vos nouvelles* »⁸.

Nouveau témoignage de la sollicitude paternelle : la recherche d'une charge qui puisse conférer à son fils les privilèges de l'anoblissement. Jean Antoine Lavoisier acquiert ainsi l'un des offices les plus recherchés de l'époque celui de *conseiller-secrétaire du roi, maison, finances et couronne de France*, qui, avec le titre d'écuyer, transmettait la noblesse héréditaire ; son nom s'enrichit alors de la particule « de ». Les armoiries des Lavoisier se blasonnèrent ainsi : d'azur au chevron d'argent chargé d'hermine, accompagné en tête de deux étoiles d'argent en pointe d'un lion passant de même supporté de deux lions au naturel timbré d'une couronne de comte (cf. le tableau généalogique de M. et Mme Lavoisier).

Son élection à l'Académie des sciences, le 18 mai 1768, semble réjouir toute la famille puisqu'un cousin éloigné habitant Limoges, Charles Alexandre Augez de la Voye, mousquetaire de la garde, le félicite en ces termes : *«Je m'attendais bien, mon cher ami, de voir couronnés un jour vos travaux littéraires par une place à l'Académie, mais je ne m'attendais pas que ce serait si tôt ; en vérité, mon cher, les jeunes gens ne voudront plus vous reconnaître pour leur confrère, vous gâtez le métier ! Quoi ! à l'âge où les autres ne connaissent que le plaisir, la frivolité et la dissipation, vous travaillez assez sérieusement pour être*

reçu membre de l'Académie des sciences de Paris ! »

Le 15 septembre 1775 meurt Jean Antoine Lavoisier, victime d'une crise d'apoplexie dans sa maison de campagne du Bourget. Antoine Laurent Lavoisier est très touché de la mort de ce père auquel il est très attaché, comme il l'écrit à l'une de ses tantes le 24 septembre 1775 :

«Vous devez juger en conséquence, combien cette séparation a été cruelle. Comme il n'a fait que du bien et qu'il n'a jamais fait de mal à personne, il jouit sans doute de la récompense des justes, et j'espère que son esprit de droiture, d'équité et d'intégrité me servira de guide après sa mort, comme il m'a servi d'exemple et de modèle pendant sa vie ». A l'un de ses confrères de l'Académie, Monsieur de Tressan, il écrit deux jours plus tard le 26 septembre : *«C'est moins la perte d'un père que j'ai à regretter dans ce moment que celle du meilleur de mes amis. L'union, la tendresse, la confiance réciproque qui régnaient entre mon père et moi depuis ma plus tendre enfance avaient fait jusqu'à ce moment le bonheur de mes jours* »⁹.

Sa tante meurt peu après, en juillet 1781.

Suite aux décès de sa mère puis de sa sœur, il reste le seul descendant direct de la branche Lavoisier. Ceci le fait hériter de sa grand-mère, de sa grand-tante, Madame Lalaure, de sa tante et de son père.

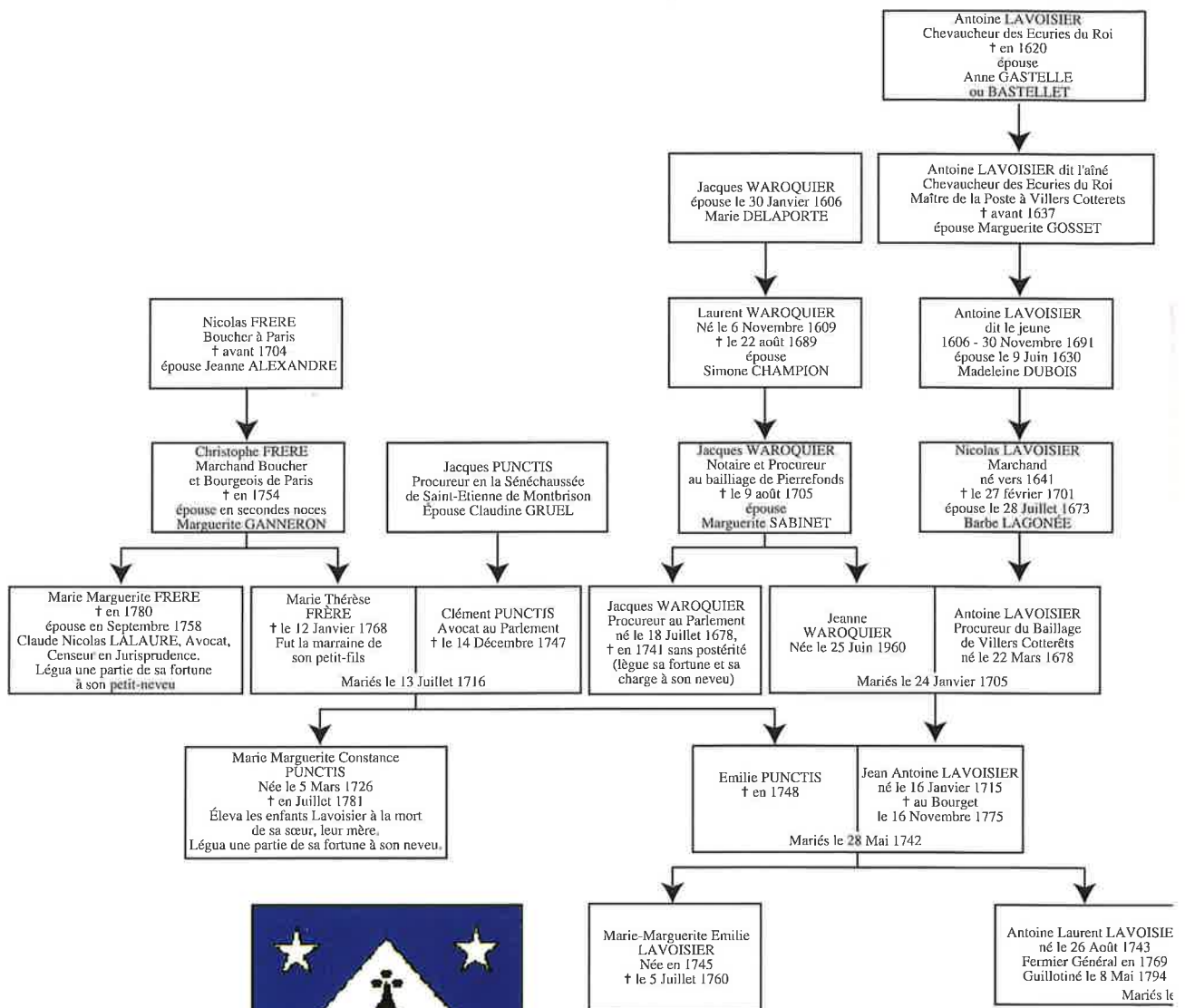
La fortune initiale de Lavoisier est le fruit d'une ascension sociale qui débuta à partir d'un postillon «chevaucheur des écuries du roi» († en 1620). On note, ensuite, un maître de poste († en 1637), propriétaire d'une hôtellerie, puis un huissier († en 1691) qui acquit un certain nombre de biens immobiliers. Son descendant direct, procureur au bailliage de Villers-Cotterêts épousa une fille de notaire, riche héritière. Leur fils, Jean-Antoine († en 1775), avocat, fut protégé par son oncle maternel qui lui céda sa charge de procureur au parlement de Paris. Il épousa la fille d'un avocat parisien. Enfin, comme on l'a vu, Jean Antoine acquit l'office de conseiller secrétaire du Roi maison et couronne de France qui transmettait la noblesse héréditaire avec le titre d'écuyer.

Lavoisier épousa la fille d'un premier général, Jacques Paulze, dont la femme¹⁰, Claudine Thoyonet de Bigny, avait pour oncle l'abbé Terray¹¹, ministre des Finances quelque peu discuté du roi Louis XV. Cet oncle despotique, tombé sous le charme de la baronne de la Garde, avait entrepris de marier sa petite nièce avec le frère de la baronne, le comte d'Amerval. Jacques Paulze risqua sa carrière en refusant ce projet matrimonial peu intéressant : *«Lorsque vous m'avez parlé, mon cher Oncle, du mariage de ma fille, je n'ai regardé ce projet que comme fort éloigné et j'ai dû penser qu'il serait assorti par l'âge, le caractère, la fortune et les autres convenances : je ne trouve aucun de ces avantages. Monsieur d'Amerval a cinquante ans, ma fille n'en a que treize ; il n'a pas mille cinq cents francs de rente, et ma fille, sans être riche, dès ce moment peut en apporter le double à son mari ; son caractère ne vous est pas connu mais il ne peut convenir à ma fille, ni à vous, ni à moi ; j'ai encore là-dessus des renseignements certains. Ma fille a pour lui une aversion décidée ; je ne lui ferai certainement pas violence*». Pour éviter d'avoir à refuser un nouveau prétendant indésirable, il la maria avec son collaborateur, Lavoisier. Madame Caze, nièce de l'abbé Terray félicite Paulze en ces termes : *«Quel bonheur pour ma nièce d'avoir échappé au danger qui l'a environnée et d'être aujourd'hui au moment d'un établissement où elle trouve avec vous tous les avantages et les augures du plus parfait bonheur. Elle est si formée, si raisonnable, que je ne doute point qu'elle ne fasse le bonheur de son mari* »¹². Le «danger» semble avoir été bien réel puisque le sieur d'Amerval est décrit comme *«fol, agreste et dur, une espèce d'ogre*». L'abbé Terray, grâce à l'intervention d'amis, ne lui en garda pas longtemps rancune et fut témoin de la mariée, la jeune Marie-Anne Pierrette, avec son frère Terray de Rozières. Ce dernier prêta son hôtel pour la circonstance.

Le 4 décembre 1771, l'hôtel d'Aumont connut une des plus brillantes soirées de toutes celles de son existence. Des dames de la Cour, des financiers, des ministres, des académiciens y vinrent en foule assister à

Tableau généalogique de Antoine Laurent Lavoisier

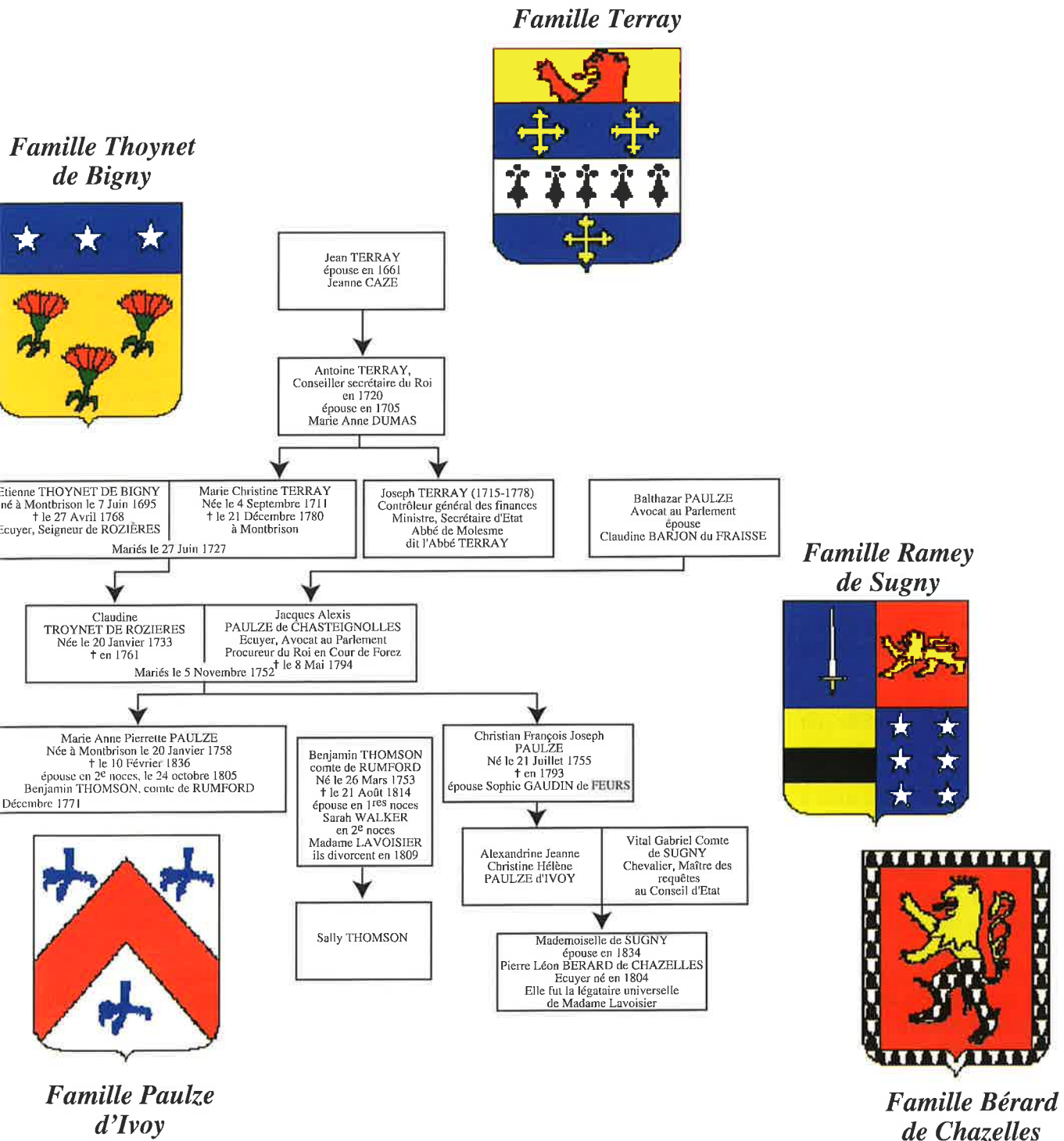
établi par Alain Delacroix



Famille Lavoisier

Ascendance de Marie-Anne Pierrette Lavoisier, née Paulze

et Catherine Porte



la signature du contrat de mariage de Lavoisier¹³. Ce contrat fut passé par Maître Duclos-Dufresnoy, notaire de l'abbé Terray. Lavoisier était alors âgé de 28 ans, sa fiancée n'en avait que quatorze. La signature eut donc lieu dans l'hôtel d'Aumont, propriété de Terray de Rozières, en présence de nombreux témoins, Mademoiselle Punctis, ni Madame Lalaure, sa grand-tante, n'ont été mentionnées par le notaire dans la liste des témoins¹⁴ mais Mademoiselle Punctis réclama, en tant que donataire, de signer le contrat avant tous les témoins, quelque haut placés fussent-ils. Elle apposa donc sa signature juste après les époux et leurs pères.

Mademoiselle Paulze recevait en dot 80 000 livres, dont 21 000 étaient payées comptant.

Antoine Laurent Lavoisier possédait 170 000 livres, son père lui donnait en le mariant 250 000 livres en avance d'hoiries.

Le mariage religieux fut célébré le 16 décembre 1771 et, selon les vœux de l'abbé Terray, dans la chapelle de son hôtel, l'hôtel du contrôle général des Finances, rue Neuve des Petits Champs, par Jean Marduel, docteur en Sorbonne et curé de la paroisse Saint Roch.

Les jeunes mariés vinrent habiter, rue Neuve des Bons Enfants, une maison achetée par Jean Antoine Lavoisier et qu'ils occupèrent jusqu'en 1775 où ils habitèrent à l'Arsenal, lorsque Lavoisier fut nommé régisseur des Poudres. Mademoiselle Punctis demeura avec eux jusqu'à sa mort.

Après leur mariage, sa femme fut une excellente collaboratrice. Elle prit des leçons de latin avec son frère Balthazard «*Quand reviens-tu ?*», lui écrivait-elle en 1777, «*Le Latin a besoin que tu sois ici ; viens t'ennuyer à me faire décliner et conjuguer pour me faire plaisir et me rendre digne de mon mari et de tes soins* ». Elle apprit aussi l'anglais, et le dessin avec David. Elle put ainsi aider son mari en lui traduisant des mémoires de chimie et en dessinant les montages ; c'est elle qui dessina et grava les planches du *Traité de Chimie*. Elle s'intéressa à ses travaux, comme le montre cette lettre d'Arthur Young en 1787 : «*Madame Lavoisier, une personne pleine d'animation, de sens et de savoir, nous avait préparé un déjeuner anglais au thé et*

au café ; mais la meilleure partie de son repas, c'était sans contredit, sa conversation, soit sur l'Essai sur le phlogistique de Monsieur Kirwan qu'elle est en train de traduire, soit sur d'autres sujets qu'une femme de sens travaillant dans le laboratoire de son mari sait si bien rendre intéressants ». Elle avait une grande admiration pour son génial mari dont elle parle en ces termes : «*cet homme d'un esprit si juste, d'un talent si pur, d'un génie si élevé*»¹⁵.

Ils n'eurent pas d'enfant. «*Comme elle me*¹⁶ *disait qu'elle n'avait pas d'enfant, et que je la traitais de paresseuse, elle me répondit seulement qu'elle n'avait pas eu de chance*»¹⁷. Cette réponse ambiguë peut laisser libre cours à toutes les suppositions.

Il semble que Madame Lavoisier ait eut, pendant une brève période, une liaison avec Samuel Du Pont de Nemours très lié avec Lavoisier, cela n'altéra pas leur amitié. Après la mort de ce dernier, Du Pont de Nemours lui rendit hommage dans *La Philosophie de l'Univers*, en ces termes : «*[...] Il a vu ce citoyen vertueux, l'un des hommes les plus éclairés, les plus doux, les plus sages qui aient existé, l'un de ceux qui a le plus constamment, le plus efficacement servi la nation et le genre humain et qui s'en préoccupait encore dans ses derniers moments, périr de la manière la plus injuste, la plus tyrannique, la plus cruelle. Il ne cessera jamais de le pleurer. C'était un savant de premier ordre [...] Sa femme, aujourd'hui la plus malheureuse des femmes, était le digne compagnon, l'utile coopérateur de tous ses travaux* ».

Cette liaison se transforma de la part de Du Pont de Nemours en un dévouement indéfectible qui s'est manifesté notamment au moment de l'incarcération de Madame Lavoisier en juillet 1793. Il quitte la France le 1^{er} octobre 1799 et lui adressa ce témoignage de sa flamme : «*Il faut bien vous aimer d'amour avec une nuance ou avec l'autre. J'ai l'expérience que vous n'êtes pas propre à l'amitié. Où cesse votre tendresse, tout cesse. Vous devenez froide, dure, querelleuse et c'est l'expression désobligeante qui arrive d'elle-même sur vos lèvres*» (Rumford en fera la douloureuse expérience) [...].

Pourquoi donc vous aimais-je ? Pourquoi votre image me poursuit-elle ? Pourquoi achèterais-je à tout prix le bonheur de n'avoir pas cessé de vous plaire ? C'est que vous avez beaucoup de raison, d'esprit et de lumières, c'est qu'en causant avec vous on confère véritablement avec une intelligence ; c'est que vous êtes fort belle, et d'un genre de beauté qui a sur moi un très grand pouvoir ; c'est que j'ai longtemps cru que vous m'aimiez de préférence à tous les autres et que je n'imaginais pas comment un tel sentiment peut être entièrement détruit, quelques preuves que vous m'en ayez données ; c'est que je vous dois les plus doux moments de ma vie, et qu'à cause qu'on est devenu excessivement malheureux, il ne faut pas que cela rende du tout ingrat »¹⁸.

Il semble qu'il se soit instauré entre Lavoisier et sa femme une relation profondément amicale voire paternelle. En prison, il paraît se soucier plus de son sort à elle que du sien : «*tu te donnes ma bonne amie, bien de la peine, bien de la fatigue de corps et d'esprit, et moi je ne puis la partager. Prends garde que ta santé ne s'altère, ce serait le plus grand des malheurs. Ma carrière est avancée, j'ai joui d'une existence heureuse depuis que je me connais, tu y as contribué et tu y contribues tous les jours par les marques d'attachement que tu me donnes ; enfin je laisserai toujours après moi des souvenirs d'estime et de considération. Ainsi, ma tâche est remplie, mais toi qui as encore droit d'espérer une longue carrière, ne la prodigue pas. J'ai cru m'apercevoir que tu étais triste, pourquoi le serais-tu, puisque je suis résigné à tout et que je regarderai comme gagné tout ce que je ne perdrai pas. D'ailleurs nous ne sommes pas sans espérance de nous rejoindre et, en attendant, tes visites me font encore passer de doux instants*»¹⁹.

Lors de son remariage avec le comte de Rumford, le 24 octobre 1805, soit après neuf ans de veuvage, elle fit preuve de son attachement à Lavoisier en exigeant comme condition au mariage, de porter le nom de son premier époux et donc de s'appeler Madame Lavoisier de Rumford. Elle écrivit à ce sujet à une amie : «*J'ai regardé comme un devoir, comme une religion de ne point quitter le nom de Lavoisier [...] J'ai*

dans le fond de mon âme l'intime conviction que Monsieur de Rumford ne me désapprouvera pas et qu'il me permettra de continuer à remplir un devoir que je regarde comme sacré»²⁰. Les espoirs de Madame Lavoisier de Rumford furent déçus et ceci devint vite un motif de friction entre les époux. Le 26 octobre 1806, soit après un an de mariage, le comte écrivait à sa fille Sally : « [...] Madame de Rumford et moi-même sommes absolument dissemblables et n'aurions jamais dû penser à nous marier. De plus, nous avons l'un et l'autre trop d'habitudes d'indépendance dans nos sentiments et nos manières d'agir pour pouvoir vivre ensemble en paix. Elle avait, depuis toujours, été maîtresse de ses actions ; et moi aussi, j'avais mon entière liberté dans ma vie de célibataire. Il est presque certain que maintenant elle est aussi détachée de moi que je le suis d'elle. Cela m'importe peu ; mais elle, je dis que c'est un dragon femelle ! Elle mérite bien ce nom aimable. Nous sommes au point qu'il suffit que je demande quelque chose pour qu'elle exige le contraire »²¹ (la disparition de la tendresse ! comme disait Du Pont de Nemours).

*



Lavoisier est un personnage fascinant par sa puissance de travail et l'étendue de ses travaux mais aussi par la rigueur de son caractère.

Peut-être plus qu'aucun autre homme de son temps, il s'intéressa à tous les domaines ayant de près ou de loin un aspect scientifique. Il se préoccupa de géologie, d'agriculture, de chimie et de biologie bien sûr, d'hygiène et d'environnement, mais aussi de finances, de statistiques, d'économie, de comptabilité et de gestion. Il sut être théoricien mais aussi expérimentateur habile. Il eut surtout le génie d'élaborer le premier une théorie à partir de résultats expérimentaux connus des scientifiques de l'époque. Cela lui a été reproché de façon plaisante par certains : « les Français savent souvent élaborer en doctrine ce que les Anglais ont découvert. Dans la révolution chimique, en tout cas, la chimie pneumatique fut la réussite de l'école expérimentale anglaise, alors que la théorie

chimique illustre le talent des français pour les formulations élégantes.»²², beaucoup plus violemment par d'autres tels le sempiternel Marat, puis, à la fin du XIX^e siècle, par nombre de chimistes allemands ulcérés de la revendication, par les français, de la paternité de la chimie pour Lavoisier.

À côté de ses activités scientifiques, il fit partie de la haute administration de l'État et occupa des fonctions, ou fut à la direction, dans maints établissements : Caisse d'Escompte, Société d'Agriculture de Paris, Régie des Poudres et Salpêtres, bureau de consultation des Arts et Métiers et surtout Ferme générale. Ces dernières fonctions lui valurent les honneurs et la fortune mais aussi la mort puisqu'il fut guillotiné en raison de son titre de fermier général.

Il ne sut pas être un politicien. Il fit plusieurs tentatives pour être élu aux états généraux soit en tant que membre de la noblesse, soit en tant que membre du tiers état, mais il fut évincé de part et d'autre. Cependant, en 1787 et dans le cadre de l'assemblée de l'Orléanais, il fut choisi pour représenter l'élection de Romorantin dans l'ordre du tiers. Comme à son habitude il est : « celui qui fait tout, qui anime tout, qui se multiplie en quelque sorte, [...] son nom reparait à chaque instant »²³.

Louis XVI l'ayant appelé aux fonctions de ministre des Contributions publiques, le 15 juin 1792, il adressa au roi la lettre de refus suivante :

« Cé n'est ni par une crainte pusillanime, bien éloignée de mon caractè-

re, ni par indifférence pour la chose publique, ni, je l'avouerai même, par le sentiment de l'insuffisance de mes forces que je suis contraint de me refuser à la marque de confiance dont Votre Majesté veut bien m'honorer. [...] Mais, Sire, il est du devoir d'un honnête homme et d'un citoyen de n'accepter une place importante qu'autant qu'il a l'espérance d'en remplir les obligations dans toute leur étendue.

Je ne suis ni jacobin, ni feuillant. Je ne suis d'aucune société, d'aucun club. Accoutumé à tout peser du poids de ma conscience et de ma raison, jamais je n'aurais pu consentir à aliéner mes opinions à aucun parti. J'ai juré fidélité à la constitution que vous avez acceptée, aux pouvoirs constitués par le peuple, à vous Sire, qui êtes le roi constitutionnel des Français, à vous dont les malheurs et les vertus ne sont pas assez sentis. Convaincu, comme je le suis que le Corps législatif est sorti des limites que la constitution lui avait tracées, que pourrait un ministre constitutionnaire ? Incapable de composer avec ses principes et sa conscience, il réclamerait en vain l'autorité de la loi à laquelle tous les Français sont liés par le serment le plus imposant. La résistance qu'il pourrait conseiller, par les moyens que la constitution donne à Votre Majesté, serait présentée comme un crime ; il périrait victime de ses devoirs, et l'inflexibilité même de son caractère deviendrait la source de nouveaux malheurs»²⁴.

Lavoisier était un homme riche par

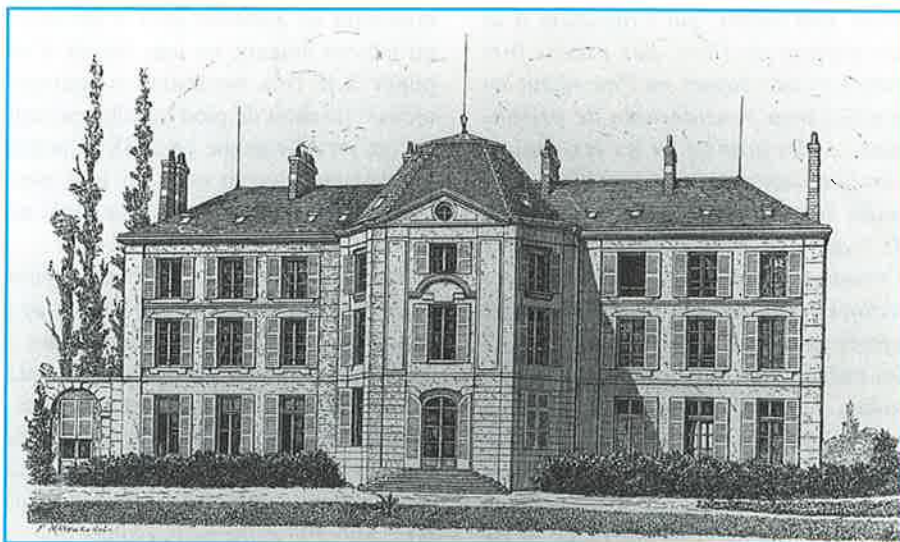


Figure 1 - Château de Fréchines d'après une photographie.

sa naissance, mais il sut aussi bien gérer sa fortune que les affaires de l'État.

Il possède la maison du Bourget que son père a hérité de son aïeul Christophe Frère ainsi que la maison rue Neuve des Bons Enfants que son père a acquise à l'occasion de son mariage avec Anne-Marie Paulze.

En 1778, il acquiert le domaine de Fréchines (figure 1) pour le prix de 229 075 livres et la terre et seigneurie de Champrenault moyennant une rente perpétuelle de 2 500 livres.

En 1784, il agrandit son domaine en se portant acquéreur «des Terres de Thoisy et la Chapelle Vendômoise, moyennant 100 000 livres et du fief de Villanteuil ; en 1793, il vend à Coulomb l'habitation de Thoisy pour le prix de 44 000 livres.

A la mort de sa tante, il hérite de terres sur les communes de la Courneuve, de Grandmesnil, Drancy.

Il acquiert lui-même un certain nombre de terres dans les départements de l'Aisne, de l'Oise et de la Seine et Oise à Vivières, Morte-Fontaine, Tailfontaine et Lagny dont il fut le dernier seigneur²⁵.

Sa déclaration de revenu de 1793 fait état d'un revenu total annuel de 121 000 livres (ce qui correspond à 24 millions de francs 1993).

Bien que fort riche, Lavoisier eut toujours des préoccupations sociales importantes. En 1780, il dirige une commission de l'Académie chargée par le gouvernement Necker d'une enquête sur les prisons. «*Des cours et des préaux extrêmement petits, des bâtiments très élevés, qui s'opposent à la circulation de l'air, des pièces fort petites et très basses où l'on réunit un nombre trop considérable de prisonniers, ... des grabats où les prisonniers sont plutôt entassés que couchés ; de la paille, souvent pourrie, qui leur sert de lit ; des latrines et des conduites d'urine qui traversent la plupart des réduits ; des égouts dont la vapeur infecte se répand dans les habitations ; des cachots où l'eau filtre à travers les voûtes, où les vêtements des prisonniers pourrissent sur leur corps, où ils font tous leurs besoins. Tel est le spectacle horrible qu'offrent les trois prisons qu'il est question de détruire et de réformer, spectacle dont il aurait été*

difficile de nous former une idée, si nous n'en eussions pas été témoins». Il propose «*Il est juste que les prisonniers gagnent par leur travail au moins une partie de leur nourriture; un travail réglé et modéré est nécessaire à la conservation de leur santé; il ne l'est pas moins pour maintenir la tranquillité et le bon ordre dans les prisons et pour en bannir l'oisiveté, plus dangereuse dans ces asiles du crime et de la débauche que partout ailleurs* »²⁶.

En 1785, il fait partie d'une commission des Hôpitaux pour étudier l'état actuel des hôpitaux en vue du projet de construction d'un nouvel Hôtel-Dieu. La situation semble désastreuse.

Il suggère de créer une caisse de bienfaisance «*dont l'objet est d'assurer aux vieillards et aux veuves des secours contre l'indigence*».

Il propose la création d'ateliers de charité, de renfermeries et de dépôts de mendicité ; «*Le seul moyen de concilier ce qu'exige l'ordre public avec le respect dû à la misère, à la souffrance, au malheur et à la pauvreté consiste à ouvrir des ateliers de travail, où les individus de toutes les classes, de tous les sexes, de tous les âges, à moins qu'ils ne soient dans un état de maladie ou d'infirmité, puissent trouver un travail proportionné à leurs forces, une subsistance analogue à leurs besoins*».

En 1786, découvrant que les juifs doivent payer une taxe spéciale pour traverser certaines villes, taxe dite de «*piéd fourchu* », il la fait abolir car il la juge infamante certes mais aussi anti-économique. La communauté des juifs de Metz lui décerna un témoignage honorable de gratitude pour la décharge qu'il avait obtenue en leur faveur d'un péage à la fois vexatoire et ignominieux²⁷ (le droit de piéd fourchu existait encore en Allemagne en 1848 ; l'octroi d'Ingolstadt portait que, sur tout porc ou tout juif, il serait perçu à la sortie un droit de 8 kreutzers par tête)²⁸.

Il eut par ailleurs un souci de rigueur et de normalisation qu'il essaya d'appliquer dans bien des domaines : en chimie avec la «*Méthode de Nomenclature chimique*», ce qui apporta une véritable révolution («*Il y eut avant et après 1787. La Méthode de Nomenclature introduit une telle rupture dans l'histoire de la chimie que la langue naturelle des anciens chimistes*

est devenue, pour nous, une langue étrangère. Mais à travers ces changements d'habitude de langage c'est toute la chimie qui a été profondément modifiée. Ces noms sont l'acte de baptême d'une nouvelle science rationnelle, quantitative et rigoureuse. L'exemple typique d'une révolution»²⁹) en métrologie où il chercha à normaliser les poids et mesures mais aussi à appliquer le système métrique, en économie où, là aussi, il chercha à normaliser le langage pour préciser et apporter plus de rigueur à la pensée.

Sa rigueur s'exerça aussi au niveau des fraudes liées aux droits d'entrées des marchandises dans la capitale et il proposa puis fit construire un mur autour de Paris percé d'édifices construits par Ledoux. Ceci lui valut de nombreuses critiques : le duc de Nivernais écrivit : «*Je suis d'avis que l'auteur de ce projet soit pendu. Par bonheur pour Monsieur Lavoisier, cet avis n'a pas encore été suivi*»³⁰, et des persiflages «*le mur murant Paris rend Paris murmurant*». Marat à nouveau en profita pour le diffamer dans *L'Ami du Peuple* du 27 janvier 1791 : «*Je vous dénonce le coryphée des charlatans, le sieur Lavoisier, fils d'un grippe-sol, l'apprenti chimiste, élève de l'agioteur génevois*³¹ [...] et le plus grand intrigant du siècle.

Croiriez-vous que ce petit monsieur, qui jouit de 40 000 livres de rente et qui n'a d'autre titre à la reconnaissance publique que d'avoir mis Paris dans une prison, de lui avoir intercepté la circulation de l'air par une muraille qui coûte 33 millions au pauvre peuple, cabale comme un démon pour être élu administrateur du département de Paris [...] Plût au ciel qu'il eût été lanterné le 6 août, les électeurs du district de la Culture n'auraient pas à rougir de l'avoir nommé»³².

Il participa au comité des Assignats et des Monnaies pour résoudre le problème de contrefaçon des assignats.

La rigueur de caractère de Lavoisier s'applique à son œuvre mais aussi à sa conception de la vie et causera en grande partie sa perte au moment de la terreur où l'on basculera dans l'arbitraire, ce qui était pour lui intellectuellement ingérable. Sûr de sa bonne foi et de son bon droit, après s'être réfugié quelques jours dans les locaux de l'Académie, il

se constitua prisonnier alors qu'il aurait pu s'échapper comme beaucoup d'autres. De même, à la veille de leur exécution, des collègues fermiers généraux lui proposent un suicide collectif et Lavoisier fait cette réponse : «*Pourquoi aller au-devant de la mort ? Serait-ce parce qu'il est honteux de la recevoir par l'ordre d'un autre, et surtout par un ordre injuste ? Ici, l'excès même de l'injustice efface la honte. Nous pouvons tous regarder avec confiance et notre vie privée et le jugement qu'on en portera peut-être avant quelques mois³³ nos juges ne sont ni dans le tribunal qui nous appelle, ni dans la populace qui nous insultera, une peste ravage la France, elle frappe du moins ses victimes d'un seul coup ; elle est près de nous atteindre, mais il n'est pas impossible qu'elle s'arrête au moins devant quelques-uns de nous³⁴.*

Nous donner la mort, ce serait absoudre les forcenés qui nous y envoient. Pensons à ceux qui nous ont précédés, ne laissons pas un moins bon exemple à ceux qui nous suivront³⁵.

La dernière lettre qu'il rédigea pour son cousin montre un certain désarroi de «bon élève» face aux convulsions irrationnelles du moment : «*Il est donc vrai que l'exercice de toutes les vertus sociales, des services importants rendus à la patrie, une longue carrière utilement employée pour le progrès des arts et des connaissances humaines, pour le bonheur de l'humanité, ne suffisent pas pour préserver d'une fin sinistre et pour éviter de périr en coupable³⁶.*

Il fut fidèle à sa famille jusqu'au bout : Antoine Laurent Lavoisier monta sur l'échafaud le 8 mai 1794 juste après son beau-père vers 17 heures, Place de la Révolution³⁷. Les corps des fermiers généraux furent entassés dans de grands paniers et placés sur des charrettes. Le convoi emprunta les rues des Champs Élysées (Boissy d'Anglas), de Pologne (de l'Arcade), coupa la rue Saint Lazare, suivit la rue du Rocher puis la rue des Errancis. Il arriva à la barrière de Monceau (place Prosper Goubaux), puis entra dans le cimetière des Errancis (ou de Monceaux)³⁸.

Henri Le Chatelier³⁹ analyse la fin de sa vie en ces termes : «*la brillante carrière de Lavoisier fut brusquement interrompue par la guillotine. Victime*

de la mauvaise réputation des fermiers généraux, de l'ignorance des fous furieux qui gouvernaient alors la France et un peu aussi de la lâcheté de ses collègues qui, par crainte de se compromettre ne firent pas grand effort pour le sauver, il mourut en 1794 âgé seulement de 51 ans⁴⁰.

Tous ses collègues ne furent point lâches, certains tentèrent des démarches malheureusement inutiles, même sa femme pourrait être accusée d'avoir causé involontairement sa perte : dans l'entrevue⁴¹ qu'elle eut avec Dupin, qui s'acharnait sur les fermiers généraux, elle devait, conformément au projet d'un certain Pluvinet, supplier Dupin de séparer Lavoisier de ses collègues et le transférer dans une autre prison. Elle fit la preuve de son caractère entier en lui disant : «*Lavoisier serait déshonoré s'il séparait sa cause de celle de ses collègues ; on en veut à la vie des fermiers généraux pour avoir leur fortune ; s'ils périssent, ils mourront tous innocents*».

Que penser de cette attitude altière au moment où il eût fallu se faire humble pour solliciter cette faveur ? Est-elle dictée par la connaissance des sentiments de son mari, en effet qu'aurait pensé Lavoisier s'il avait été le seul épargné ? Est-elle dictée par le dédain qu'elle ressentait pour cet ancien subalterne obscur qui avait maintenant le pouvoir et s'acharnait sur ses anciens supérieurs ? Est-elle dictée par son attachement à son père ; en effet demander cette séparation pouvait peut-être signifier la vie sauve pour son mari mais à coup sûr la mort pour son père ? Attitude courageuse car n'encourrait-elle aucun risque en bravant le député Dupin ?

Des collègues, tels les membres du lycée des Arts, firent preuve de témérité en allant remettre en prison à Lavoisier une couronne de métal ornée de petites étoiles dorées en témoignage d'estime.

Mais l'attitude de son collègue et ami, Fourcroy et de quelques autres, qui avaient alors un certain pouvoir a été discutée par nombre de ses contemporains et d'historiens. Ainsi on peut se demander à qui fait allusion Lalande lorsqu'il écrit : «*Son crédit, sa réputation, sa fortune, sa place à la Trésorerie lui donnèrent une prépondérance dont il ne se servait que pour*

faire le bien, mais qui n'a pas laissé de lui faire bien des jaloux. J'aime à croire qu'ils n'ont pas contribué à sa perte ? »⁴².

Une fois Lavoisier disparu, qu'en est-il de son œuvre ?

Après 1794, Marie-Anne Lavoisier défendit sa mémoire, s'appliqua à récupérer tous ses biens confisqués et conserva pieusement tous les documents et matériels de son mari qui passèrent ensuite à sa petite nièce, Mademoiselle de Sugny⁴³. Celle-ci semble être devenue sa légataire universelle par un heureux (ou fâcheux !) concours de circonstances comme en témoigne cette anecdote : la comtesse de Gramont qui était considérée comme son héritière, était invitée chez Madame Lavoisier. La sachant particulièrement friande de brioche, Madame Lavoisier lui en fit préparer une et la fit déposer dans la calèche capitonnée de soie bleue de la comtesse. Cette dernière eut la surprise de voir un paquet à l'apparence grasseuse sur ses précieux cousins, furieuse, elle fit jeter la brioche. Madame Lavoisier vit malheureusement le geste d'humeur et, furieuse elle aussi, en prit ombrage et destina l'héritage⁴⁴ à Mademoiselle de Sugny^{45,46}.

C'est grâce à ce leg que Truchot a pu visiter, en 1879, le laboratoire de Lavoisier qu'il décrit ainsi : «*Son Laboratoire de Chimie, son cabinet de Physique ont été pieusement conservés par la famille de Madame Lavoisier, et je dois à Monsieur Etienne de Chazelles qui en est actuellement l'heureux possesseur, le plaisir, je devrais dire le bonheur, d'avoir pu en prendre connaissance, en dresser l'inventaire et toucher un à un, non sans une émotion facile à comprendre, tous ces objets qui rappellent les travaux féconds de l'immortel fondateur de la chimie*»⁴⁷.

Une partie des instruments de Lavoisier avait été donnée, par Léon de Chazelles, à l'Académie des sciences qui les remit au Conservatoire National des Arts Métiers en 1866. D'autres furent acquis auprès de Madame Vanssay de Chazelles en 1952.

En 1925, pour régler des problèmes de succession, le fameux tableau peint par David est vendu à John D. Rockefeller. Il se trouve actuellement au Metropolitan Museum of Art à New York⁴⁸.

Des éléments de mobilier, et entre autres le bureau à cylindre de Lavoisier, signé Gaumont, les deux tables en acajou qu'il avait fait exécuter par Jacob pour y poser ses trois balances de précision furent mis aux enchères avec de nombreux autres souvenirs le 7 mars 1956 à l'hôtel Drouot à Paris. Ils furent achetés par Monsieur Lammot du Pont-Copeland⁴⁹ qui en fit don aussitôt au musée du CNAM. Il fut aussi mis aux enchères deux tabliers en soie peinte et un cordon de franc-maçonnerie. Toutefois, aucun document ne semble prouver l'appartenance de Lavoisier à la franc-maçonnerie ; il se pourrait que ces objets aient appartenu au comte de Rumford, deuxième mari de Madame Lavoisier.

Qu'en est-il de l'œuvre écrite de Lavoisier ?

En janvier 1789 paraît son *Traité Élémentaire de Chimie*.

Dès 1803, sa femme compose une brève introduction des *Mémoires de Chimie*

«En 1792, Monsieur Lavoisier avait conçu le projet de faire un recueil de tous ses mémoires lus à l'Académie depuis vingt ans. C'était en quelque manière faire l'histoire de la chimie moderne. Pour rendre cette histoire plus intéressante et plus complète, il s'était proposé d'y intercaler les mémoires des personnes qui, ayant adopté son système, avaient fait des expériences à son appui. Ce recueil devait former environ huit volumes. L'Europe sait pourquoi ils n'ont pu être achevés.

On a retrouvé presque tout le premier, le second en entier, quelques feuilles du quatrième. Plusieurs savants ont désiré qu'ils fussent mis au jour. On a longtemps hésité. Il est difficile de ne pas éprouver une sorte de crainte lorsqu'il s'agit de publier des écrits que n'a point terminés un homme qui jouit avec justice d'une grande réputation. C'est quand on l'a perdu que l'amitié doit commencer à devenir sévère et ne faire paraître que ce qui peut ajouter à la gloire d'un être chéri et révérend. On aurait persisté, et ces fragments n'auraient point paru s'ils ne contenaient un mémoire de Monsieur Lavoisier qui réclame, d'après les faits qu'il y expose, la nouvelle théorie chimique comme lui appartenant.

C'est donc un devoir envers lui que de fixer l'opinion des savants sur cette vérité. On leur demande l'indulgence pour les fautes qui pourraient s'être glissées dans quelques autres parties de ce recueil. Ils l'accorderont, lorsqu'ils sauront que la plupart des épreuves ont été revues dans les derniers moments de l'auteur ; et que, tandis qu'il n'ignorait pas qu'on préméditait son assassinat, Monsieur Lavoisier, calme et courageux, s'occupait d'un travail qu'il croyait utile aux sciences, donnait un grand exemple de la sérénité que les lumières et la vertu peuvent conserver au milieu des plus affreux malheurs»⁵⁰.

Les *Mémoires de Chimie* paraissent en deux tomes.

En 1836, dans ses leçons sur la *Philosophie chimique*, Monsieur Dumas a écrit dans un style que l'on pourrait juger de grandiloquent «*Qu'a fait la France pour Lavoisier ? Où trouver un monument qui rappelle sa mémoire ? un simple buste qui lui soit consacré ? Nous ne possédons qu'un portrait de Lavoisier ; c'est tout ce qui nous reste de lui, un portrait de famille peint par David*⁵¹ [...]. *Le monument que la cendre de Lavoisier réclame, c'est une édition complète de ses Œuvres, ... je publierai cette édition [...] Je doterai les chimistes de leur évangile*».

Il tint parole et publia les quatre premiers tomes des *Œuvres de Lavoisier*⁵².

Edouard Grimaux fait paraître les tomes V et VI.

A la fin du sixième volume, Grimaux annonce la parution de la correspondance de Lavoisier ; celle-ci est propriété des de Chazelles, descendants de Madame Lavoisier. En effet, mademoiselle de Sugny, épouse de Léon de Chazelles, est la petite-fille de Christian Paulze, frère de madame Lavoisier, et sa légataire universelle. Ce projet est arrêté pendant 25 ans pour des différends politiques liés à l'affaire Dreyfus.

En 1925, l'Académie confie à René Fric, un ingénieur admirateur de Lavoisier, la tâche de transcrire et de publier la correspondance de Lavoisier. Il reçoit l'autorisation d'emporter chez lui, à Clermont Ferrand, une partie des manuscrits provenant de l'Académie et des descendants des Chazelles. Il meurt en 1970, ayant publié trois fascicules de

correspondance. La famille restituée à qui de droit les documents retrouvés à son domicile. Mais le grenier fut oublié et avec lui quelques 350 manuscrits. Un particulier, passant quelques années plus tard devant la maison en démolition, remarque un placard béant et s'empare de la liasse de vieux documents qui s'en échappaient. Il les garda vingt ans sans s'en séparer ni pour les vendre ni pour les rendre à l'Académie. Ce n'est qu'à l'automne 1992 qu'il prévient l'Académie par un coup de téléphone anonyme. «*L'échange convenu aux termes d'une négociation serrée entre le détenteur des manuscrits disparus et l'Académie des sciences, se fit par une froide journée de novembre 1992 au buffet de la gare de Clermont-Ferrand. Une brève rencontre, une poignée de main, et les précieux documents (241 minutes, 87 lettre et 45 documents divers) réintégrèrent les archives du quai de Conti*»⁵³.

Par ailleurs, à la mort d'Etienne de Chazelles, les documents en sa possession ont été partagés entre ses héritiers, ont subi de nombreuses tribulations. Une partie d'entre eux a été acquise par un industriel chimiste américain, Denis I. Duveen, puis revendue à l'université Cornell, Ithaca, New York et sont ainsi actuellement aux États-Unis⁵⁴.

Pour conclure sur Antoine Laurent de Lavoisier, dirons-nous avec Lagrange :

«*Il ne leur a fallu qu'un moment pour faire tomber cette tête, et cent années ne suffiront peut-être pas pour en reproduire une semblable ?* »

Remerciements

Les auteurs tiennent à exprimer leur reconnaissance à toutes les personnes qui leur ont apporté une aide dans ce travail : Monsieur A. Balny, maire de la commune de Thuret, Monsieur Jean-Jacques Bonnet, professeur des universités, Mademoiselle Catherine Couriol, étudiante en DEA de chimie appliquée et génie des procédés industriels, Monsieur Maurice Delaveau, généalogiste, Madame Christiane Demeulenaere-Douyère, conservateur des Archives de l'Académie des sciences, Messieurs les professeurs Jean-Paul Guetté et Bernard Lefrançois, Monsieur François Lousse et Madame Myriam Loriau, doctorants au Conservatoire National des Arts et Métiers.

Bibliographie

Bulletin de la Société Historique Régionale de Villers-Cotterêts, 1961.

Abraham, Gautier, Le Chatelier et Lemoine, *L'air et l'eau, Mémoires de Lavoisier*, Armand Colin, 1923.

Bernadette Bensaude-Vincent, *Lavoisier Mémoires d'une révolution*, Flammarion, 1993.

Robert Champeix, *Savants méconnus, inventions oubliées*, Dunod, Paris, 1966.

A. Deluzarche, Le sort des instruments et de la collection minéralogique de Lavoisier, *L'Actualité Chimique*, 1989, p. 7-11.

Denis I. Duveen, Madame Lavoisier 1758-1836, *Chimya*, 1959, p. 13-29.

Edouard Grimaux, *Lavoisier 1743-1794. D'après sa correspondance, ses manuscrits, ses papiers de famille et d'autres documents inédits*, Éditions Félix Alcan, Paris, 1896. Jacques Gabay, Sceaux, 1992.

Henri Jouglas de Morenas, *Grand Armorial de France*, Frankelvel, Paris, 1964.

Hilaret, *Dictionnaire historique des rues de Paris*, Éditions de Minuit Paris.

Docteur P. Lemay, *Généalogie - Blason - Ex-libris - Cachets de Lavoisier*, *Bull. Soc. Fr. Hist. Méd.*, 1934, 28, p. 194-198.

Jean-Pierre Poirier, Antoine Laurent de Lavoisier 1743-1794, *Pygmalion/Gérard Watelet*, Paris, 1993.

Revue *Héraldique et Généalogie*, 1976.

Truchot P., Les instruments de Lavoisier, *Annales de Chimie et de Physique*, 1879, 18, p. 289-319.

Notes

- 1 Jean-Paul Marat, 1743-1793, Il obtient son titre de docteur en médecine à Londres.
- 2 Édouard Grimaux, *Lavoisier 1743-1794*, Félix Alcan éditeur, Paris 1896, p.207. Fac simile, Éditions Jacques Gabay, 1992.
- 3 Berthelot Marcelin, 1827-1907, La Révolution chimique Lavoisier, Félix Alcan Éditeur, Paris, 1890.
- 4 Charles Adolphe Wurtz, né à Strasbourg en 1817, Dictionnaire de Chimie pure et appliquée 1868.
- 5 Ceci rentre dans une querelle politico-scientifique entre chimistes français et allemands au moment de la guerre de 70.
- 6 Actuellement rue de Vauvilliers.
- 7 Guettard Jean Etienne, 22 septembre 1715-7 janvier 1786 (?), ami de Jean Antoine Lavoisier.
- 8 Grimaux, p. 15-17.
- 9 Grimaux, p. 40-41.

10 Claudine Paulze, de passage à Genève, avait fait prévenir qu'elle souhaitait rencontrer Voltaire à Ferney. L'irascible vieillard l'avait fait éconduire : «Répondez à Madame Paulze qu'il ne me reste plus qu'une dent et que je la garde contre son oncle.» L'oncle en question, l'abbé Terray, était ministre des Finances de Louis XV.

11 Joseph-Marie Terray, né à Boen en décembre 1715, mort à Paris le 18 février 1778, dit l'abbé Terray. Nommé contrôleur général des Finances en 1769 par le chancelier Maupeou, les Français en conclurent que : «les finances fussent bien malades puisqu'on leur donnait un prêtre pour les administrer».

12 Grimaux, p. 36-37.

13 Hilaret, Dictionnaire historique des rues de Paris, Éditions de Minuit Paris, p. 689.

14 Parmi lesquels on peut citer Monsieur Bertin, ministre et secrétaire d'État, Madame la duchesse de Mortemart, Monsieur de Trudaine conseiller d'état ordinaire au Conseil royal, intendant des Finances, Monsieur de Sartine, conseiller d'état, lieutenant général de police, Monsieur Léon-Paul Gradjean de Fouchy, auditeur des comptes et secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences. Monsieur Bernard Jussieu, écuyer, démonstrateur, de l'Académie des sciences, Monsieur François-Marie Coger, professeur d'éloquence au collège des Quatre-Nations, recteur de l'Université.

15 Grimaux, p. 42-43.

16 Le gouverneur Morris, futur ambassadeur d'Amérique en France.

17 Poirier, p. 259.

18 Poirier, p. 422-433.

19 Grimaux, p. 276.

20 Robert Champeix, *Savants méconnus, inventions oubliées*, Dunod, Paris 1966, p. 193.

21 Champeix, p. 194.

22 Poirier, p. 124.

23 Léonce de Lavergne, Les Assemblées provinciales (Grimaux, p. 171).

24 Grimaux, p. 215-217.

25 Marcel Leroy, Bulletin de la Société historique régionale de Villers-Cotterêts, 1961, p. 179-182.

26 Poirier, p. 141-142.

27 Poirier, p. 469.

28 Grimaux, p. 79.

29 Poirier, p. 205.

30 Réclamation d'un citoyen contre la nouvelle enceinte de Paris élevée par les fermiers généraux. (E. Grimaux p. 80).

31 Jacques Necker, né à Genève en 1732, mort en Suisse en 1804.

32 Grimaux, p. 206-207.

33 Quelque mois après le 9 thermidor, c'est la chute de Robespierre.

34 Pertinence du jugement ou pensée prémonitoire : mais celui-là même qui lui proposait de l'opium sera sauvé in extremis.

35 Grimaux, p. 294.

36 Grimaux, p. 297.

37 Place de la Concorde actuelle.

38 Hillaret, 1963, p. 305. A cet endroit seront enterrés les 943 victimes de la Terreur entre le 25 mars et le 9 juin 1794, dont Madame Élisabeth, Danton,... Après le 9 thermidor viendront les rejoindre 176 condamnés dont Robespierre. Quand sous Napoléon III, en 1859, on percera le boulevard de Courcelles, les restes des suppliciés seront transportés aux catacombes.

39 Henry Le Chatelier, 1850-1936.

40 Abraham, Gautier, Le Chatelier et Lemoine, *L'air et l'eau, Mémoires de Lavoisier*, Librairie Armand Colin, 1923, p. XII.

41 Un an plus tard, le vent ayant tourné, ce même Dupin, le 16 mai 1795, proposa de déclarer que la confiscation des biens des fermiers généraux injustement condamnés serait de nul effet. Madame Lavoisier récupéra en effet les biens confisqués. Elle régla de nombreux problèmes d'héritage avec les familles Lenz, Papillon et Paris.

42 Grimaux, p. 309.

43 Devenue Madame Léon de Chazelle.

44 La comtesse de Gramont avait reçu une dot considérable qui lui avait permis de réaliser son mariage.

45 Denis I. Duveen, Madame Lavoisier 1758-1836, *Chymia*, 1953, p. 13-29

46 Cette anecdote est racontée de façon analogue par A. Deluzarche (*L'Actualité Chimique*, 1989, n°1, p. 7) mais concerne le duc de Gramont Cadrouse au lieu de la Comtesse de Gramont.

47 Truchot, p. 291.

48 J. Deluzarche, Le sort des instruments et de la collection minéralogique de Lavoisier, *L'Actualité Chimique*, 1989, 1, p. 8

49 Membre de la famille Du Pont de Nemours.

50 Grimaux, p. 332-333.

51 Ce tableau a été payé au peintre 7000 livres comme l'indique la quittance du peintre en date du 16 décembre 1788 «Je reconnais avoir reçu de Monsieur Lavoisier la somme de sept mille livres pour le payement d'un tableau représentant Monsieur et Madame de Lavoisier, dont quittance, à Paris, ce 16 décembre 1788, David» Le tableau est actuellement au Metropolitan Museum of Art (don de M. et Mme C. Wrightsman, en souvenir de Everest Fahy, 1977).

52 Truchot, p. 289-290.

53 Catherine Vincent, *Le Monde*, 3 mars 1993.

54 Bensaude-Vincent, p. 20-22, A. Deluzarche, *L'Actualité Chimique*, 1989, 1, p. 8.

**SUR L'HYDRATATION DE
L'ACÉTYLENE ; FORMATION DE
PARALDÉHYDE ;
PAR M. A. DESGREZ**

(Soc. Chim., 3^e série, t. XI, p. 362)

L'histoire de l'acétylène montre que les savants qui se sont occupés de fixer les éléments de l'eau sur ce carbure sont arrivés à des résultats différents, suivant les procédés d'hydratation mis en œuvre[...].

Comme la divergence des résultats obtenus par M. Berthelot et MM. Lagermark et Eltekoff pouvait être attribuée à des impuretés qui renferme fréquemment l'acétylène, suivant ses origines, je désirais, avant tout, opérer sur un carbure rigoureusement pur.[...] Je songeai alors à employer l'acide acétylène-dicarbonique que la chaleur décompose, comme on sait, de la façon suivante :

C'était un moyen pratique d'obtenir, dans les tubes mêmes, un carbure naturellement très pur et en quantité proportionnelle à la dose d'acide employé. Comme, d'autre part, l'hydrate d'acide carbonique n'est pas stable aux températures élevées, il en résulte qu'il ne peut avoir aucune influence sur l'hydratation des carbures acétyléniques, dans les conditions de mes expériences [...].

Conclusion. - Il paraît nécessaire de résumer les résultats de ces différents essais. On a obtenu, dans la distillation du produit soumis à l'action de l'eau à température élevée, un liquide à fonction aldéhydique bien démontrée. Le point d'ébullition de ce corps est supérieur à 40°. Il réduit l'oxyde d'argent en donnant de l'acétate d'argent (1). Deux substances seulement possèdent ces propriétés : ce sont la paraldéhyde et la métaldéhyde. Comme le composé était soluble dans l'eau, j'ai conclu qu'il était formé de paraldéhyde. L'hydratation directe de l'acétylène a donc donné naissance à de l'aldéhyde éthylique qui s'est transformée en paraldéhyde, par condensation normale de 3 molécules.

(Travail fait au laboratoire de M. Friedel)

(1) L'alcool vinylique donnerait lieu à la même réduction. Il est, d'ailleurs, probable qu'il se forme, dans une première phase, et se transforme ensuite en aldéhyde par l'action de la chaleur.

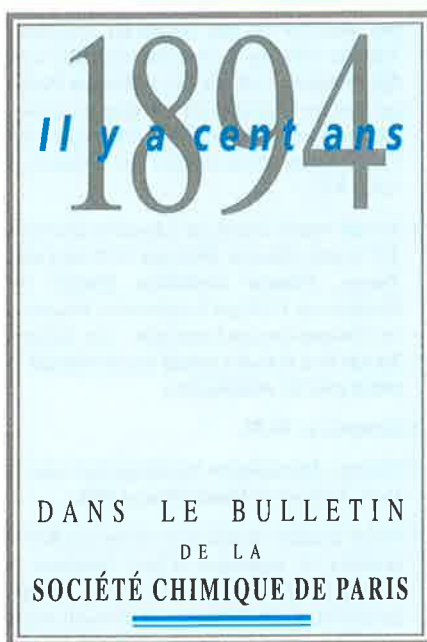
**EXTRAIT DU
PROCES VERBAL
DE LA SÉANCE DU 11 MAI 1894**

(Soc. Chim., 3^e série, t. XI, p. 529)

M. Le Président dit que M. Friedel a reçu pour la Société chimique de Paris le télégramme suivant :

Bucharest, 8 mai

"A l'occasion de la fête de l'anniversaire de la mort de Lavoisier, la Société des sciences physiques vous prie de transmettre nos meilleurs vœux de prospérité à la Société de chimie et de recevoir comme savant et philoroumain nos meilleurs vœux." Président Marin



M. Friedel a répondu télégraphiquement à M. Marin, président de la Société physico-chimique de Bucharest :

"Très sensible à vos bons vœux, vous adresse remerciements cordiaux pour Société chimique et pour moi. Nous aussi fêtons la grande mémoire de Lavoisier. Statue sera élevée à Paris comme à Bucharest."

M. Le Président ajoute que c'est une nouvelle preuve des points d'attache qui nous relient aux savants et aux étudiants roumains, et que nous ne pouvons qu'être très reconnaissants de manifestations aussi sympathiques pour notre pays, nous venant à propos du centenaire de notre grand Lavoisier.

M. Sheurer-Kestner a reçu pour la Société chimique le télégramme suivant :

Moscou, 11 mai

"Mes membres de la section chimique de la Société impériale des Amis des sciences naturelles de l'anthropologie, de l'ethnographie de Moscou, réunis le jour du centième anniversaire de la mort du grand Lavoisier, en séance commémorative, envoient à la Société de chimie française leurs salutations amicales et expriment leur désir de participer à l'œuvre que les chimistes français trouveront la plus digne de cette gloire de leur pays."

Vice-président de la section, Konovaloff
Secrétaire, Speransky.

Le président de la Société chimique a répondu télégraphiquement à cette dépêche par des remerciements et en exprimant l'espoir que Lavoisier aura bientôt sa statue.

Il fait connaître à ce propos que M. Grimaux a demandé à l'Académie des sciences, dans sa dernière séance, de proposer l'érection d'une statue au fondateur de la chimie moderne et que cette idée a été favorablement accueillie par les membres de l'Académie. La Société chimique

toute entière s'associera certainement à cette œuvre avec le plus vif empressement.

**RÉCLAMATION AU SUJET DE LA
PSEUDO-PELLETIÉRINE,
PAR M. C. TANRET**

(Soc. Chim., 3^e série, t. XI, p. 422)

Il est généralement admis qu'il appartient à un auteur de dénommer le corps défini qu'il a découvert, et si le nom du nouveau corps a été choisi tel qu'il en indique nettement l'espèce chimique, tel aussi qu'il ne permette aucune confusion avec les autres corps connus, ce nom doit être admis sans conteste.

C'est en vertu de ce droit de priorité que je proteste d'une manière formelle contre le remplacement de nom de pseudo-pelletiérine* par celui de granatonine que MM. G. Ciamician et P. Silber donnent à la base C₁₈H₁₅AzO₂, un des quatre alcaloïdes de l'écorce de grenadier (*punica grantatum*) que j'ai isolés et décrits en 1878 et 1879.

Le nom de pseudo-pelletiérine répond bien par sa terminaison à celui d'une base végétale et n'est partagé par aucun autre corps ; il n'y a donc aucune raison valable de le changer.

A ceux qui pourraient m'objecter que ce nom ne rappelle en rien l'origine de l'alcaloïde, je répondrai que les dérivés en ine les plus simple de *punica grantatum* n'étaient plus disponibles en 1879. Les noms de granatine et de punicine, en effet, avaient été attribués (inconsidérément, il est vrai), le premier à une matière sucrée qui n'est autre que la mannite, et l'autre à une résine complexe, toutes deux retirées du grenadier. Alors, avec l'assentiment de M. Berthelot, j'ai fait ce que font les minéralogistes qui dédient leurs espèces nouvelles aux savant célèbres, et c'est ainsi que les noms de mes quatre alcaloïdes rappellent la mémoire de l'illustre auteur de la quinine.

En faisant subir à la pseudo-pelletiérine une série d'hydrogénations et de désoxydations, MM. Ciamician et Silber ont obtenu d'autres bases. Celles-ci, ils peuvent les dénommer comme bon leur semble : c'est leur droit. Mais vouloir changer le nom de la pseudo-pelletiérine sous prétexte de la rattacher à des bases qui en sont issues, n'est-ce pas le renversement des règles reçues ? Et en quoi la nomenclature nouvelle qu'ils se plaisent à invoquer autorise-t-elle davantage les terminaisons en oline, anine, énine qu'ils donnent à leurs bases ?

Cette prétention de MM. Ciamician et Silber de substituer un nom nouveau à celui de pseudo-pelletiérine, déjà vieux de quinze ans, est donc inadmissible. Voilà pourquoi je ne veux pas la laisser passer sans protester.

* NDLR : pseudopelletiérine : 9-azatricyclo (3-3-1) nonan-3-one, 9 méthyl (552-70-5)

POMPE SÈCHE POUR LA CHIMIE

La nouvelle pompe DP250 Drystar de Edward a été spécialement étudiée pour répondre aux exigences des industries chimiques et pharmaceutiques.

Le dispositif de fonctionnement sans huile est basé sur un système de becs tournant sans contact. Ce système permettrait d'obtenir un pompage stable en réduisant les coûts d'exploitation et en supprimant la production d'effluents.

L'absence de tout joint fluide en fait une solution pour remplacer les éjecteurs à vapeur, les pompes à anneau liquide, les pompes à huile perdue ainsi que les pompes à huile à piston.

La DP250 a une capacité nominale de 260 m³/h et un vide limite inférieur à 0,4 mbar.

Elle a été conçue pour fonctionner une année entière sans intervention extérieure, ni maintenance. La révision générale n'intervient qu'au bout de 3 ans et la durée de vie est estimée à 20 ans.

Les pompes sèches Edwards s'utilisent dans des applications de distillation, séchage, réactions chimiques, récupération de solvants et comme centrale de vide pour les laboratoires. Elles peuvent pomper des vapeurs corrosives comme H₂S, l'acide acétique, le chlorure de thionyle, le dichlorométhane, ainsi qu'une large gamme de solvants.

- Edwards, 125, avenue Louis Roche, 92238 Gennevilliers Cedex. Tél. : (1) 47.98.24.01. Fax : (1) 47.98.44.54.

FILTRES POUR ÉCHAPPEMENTS DE POMPES À VIDE

Cette nouvelle gamme de filtres pour échappement, de pompes à vide couvre toutes les applications où les brouillards d'huile représentent une gêne et un danger.

Les filtres Balston éliminent les fines gouttelettes d'huile, inférieures à 1 µm, à l'échappement des pompes à vide. Ils permettent donc l'évacuation des pompes directement dans l'atmosphère des zones de travail. Le gaz évacué et filtré peut être également recyclé dans le procédé.

Ces filtres à l'échappement des pompes à vide évitent, quand la nature du gaz évacué le permet, le besoin de canalier les refoulements vers l'extérieur. Sinon ils préviennent l'accumulation d'huile dans les conduites de refoulement et les épurateurs chimiques.

L'huile recueillie par les filtres peut être renvoyée à la pompe. Cela évite la déperdition de lubrifiants inertes et onéreux.

Les filtres à l'échappement des pompes à

Appareils

vide Balston s'adaptent à de petites pompes de 5 m³/h aussi bien qu'à des pompes plus importantes allant jusqu'à 1450 m³/h.

- Balston/Whatman, BP 255, 4, avenue de la Créativité, 59665 Villeneuve d'Ascq. Tél. : 20.47.38.39. Fax : 20.47.30.48.

LA CHROMATOGRAPHIE PAR PERFUSION

Le développement de la chromatographie par perfusion par la société PerSeptive Biosystems, en éliminant la résistance au transfert de masse, permettrait de réaliser des séparations et purifications où la résolution et la capacité des colonnes sont indépendantes du débit jusqu'à 6000 cm/heure et au delà.

Une séparation à haute performance par échange d'ions, interaction hydrophobe, affinité ou phase inverse dure de 30 secondes à 3 minutes. Le temps de séjour des molécules dans les colonnes étant réduit au minimum, l'activité biologique est conservée.

Une brochure permet de découvrir comment, la chromatographie par perfusion, associant les colonnes et supports Poroş au système BioCAD améliore l'approche de la purification des biomolécules.

- PerSeptive Biosystems, CAP 18, BP 78, 189, rue d'Aubervilliers, 75886 Paris Cedex 18. Tél. : (1) 42.05.40.81. Fax : (1) 42.05.40.83.

PRÉCIPITATEURS ÉLECTROSTATIQUES

ABB Fläkt Industri AB commercialise sa nouvelle alimentation à redresseur à découpage intégré (SIR, pour switched integrated rectifier). Exploitant la plus récente avancée technologique de l'électronique de puissance et de commande à base de semi-conducteurs, le SIR produit en sortie un courant continu à haute tension exempt des ondulations générées par les transformateurs/redresseurs des précipitateurs électrostatiques classiques.

Les essais ont montré que l'on pouvait doubler la valeur du courant appliqué.

Le SIR existe actuellement en deux modèles. Le modèle de base pour petites installations a une puissance nominale de 20 kW (80 kV, 250

mA). Pour les installations de taille moyenne, on a un SIR de 30 kW (70 kV, 400 mA).

- ABB Fläkt Industrie AB, Dept. ME, S-351 87 Växjö, Suède. Tél. : +46 470 870 00. Fax : +46 470 874 44.

INDICATEUR DE TEMPÉRATURE AVEC SORTIE ANALOGIQUE

L'indicateur de température digital REX DP4 de TC est un indicateur qui peut être équipé en option d'une sortie analogique de recopie. C'est un appareil qui peut être utilisé en tant que convertisseur avec, en plus, l'affichage de la température.

Le REX DP4 est un appareil compact au format 48 x 96 mm, avec une profondeur d'encastrement de seulement 100 mm. La face avant est protégée par une membrane qui supprime les problèmes électrostatiques et les problèmes de poussières.

Un vaste choix d'entrées est proposé : thermocouple type J, K, R, S, B, E, N, et T, sonde Pt100 ou entrée courant/tension continu. Pour la sortie analogique de recopie, il est possible de choisir entre 0-100 mV, 0-5 V et 1-5 V.

- TC, BP 87, 69573 Dardilly Cedex. Tél. : 78.43.27.25. Fax : 78.43.27.62.

INTERRUPTEURS MAGNÉTIQUES BISTABLES

Ces interrupteurs magnétiques bistables ont été conçus pour être montés sur les tubes transparents des indicateurs de niveaux de liquides.

Les interrupteurs magnétiques HMW et HMW/Z comprennent un boîtier équipé d'un collier permettant sa fixation sur un tube. A l'intérieur du boîtier se trouvent un bornier de connexion et un microinterrupteur. Sur le levier du microinterrupteur est fixé un aimant. Cet aimant sera déplacé par un autre aimant mis en mouvement à l'intérieur du tube selon les fluctuations du niveau du liquide à contrôler.

Les interrupteurs magnétiques ont un comportement bistable, c'est à dire qu'il restent en position de contact sur laquelle le passage de l'aimant les a mis. Ils ne changent cette position que lorsque l'aimant repasse au sens inverse.

- Jola, 14, rue du Progrès, 93230 Romainville. Tél. : (1) 48.70.01.30. Tél. : (1) 48.70.84.44.

ACIER INOXYDABLE SUPER DUPLEX

Dans son gisement de Forties, la compagnie pétrolière BP a installé un système pour la réfrigération de gaz de production, doté d'un ventilateur et de tubes à ailette en acier inoxydable Super duplex fourni par Sandvik Steel UK. L'ensemble opère dans des conditions extrêmement corrosives.

La résistance des aciers à ce type de corrosion est déterminée en premier lieu par leur teneur en chrome, en molybdène et en azote, et elle peut être chiffrée par le nombre PRE (pitting resistant equivalent) qui permet de comparer les caractéristiques des différentes nuances. Le PRE du SAF 2507 est de 43, alors que celui de l'AISI 316L n'est que de 24.

- Sandvik Aciers, 4, avenue de Buffon, BP 6227, 45062 Orléans Cedex 2. Tél. : 38.41.41.41. Fax : 38.41.43.71.

REVÊTEMENT EN PUR POUR PARKING

Un revêtement de polyuréthane (PUR), à base de matières premières Desmodur/Desmophen de Bayer, est destiné à protéger contre l'usure et la corrosion le parking du centre de location de voitures de l'aéroport de Munich.

Ce parking, d'une surface de 55 000 m², est fortement exposé à la corrosion car le béton armé risque d'être attaqué et même détruit par les huiles, les carburants, les liquides de frein et les sels de déneigement. Le système de revêtement PUR Polymet fabriqué par la société Heidelberger Baustofftechnik GmbH de Ratingen doit assurer une protection contre ces types de dégradation.

Ce système est composé de quatre couches. La première est une couche de fond Polymet 1400 avec saupoudrage de sable. La seconde est une couche élastique en Polymet 3600, assurant le pontage des fissures, à base de Desmodur et Desmophen sans solvants tandis que la troisième est constituée d'une couche d'usure Polymet 3600, avec saupoudrage de sable identique à celui de la couche de fond. La couche de finition est formée par une peinture Polymet W en nuance RAL 7016.

- Bayer AG, Konzernverwaltung, Öffentlichkeitsarbeit, D-51368 Leverkusen. Tél. : +49 (214) 30-1. Fax : +49 (214) 30 89 23.

DU XANTAR DE DSM POUR DES BOITIERS DE TRANSFORMATEURS

DSM Polymers, une division du groupe

Produits et matériaux

chimique DSM, fournit à la firme danoise NJ Plast (transformateur) la matière plastique nécessaire à la fabrication du boîtier pour le transformateur Halopower qui est commercialisé par la firme danoise Lübcke. La matière plastique utilisée, un polycarbonate, est le Xantar MX 1000.

Le produit final est destiné aux lampes halogène de faible voltage pour l'éclairage des vitrines de magasins par exemple.

Xantar est l'appellation commerciale de la gamme des polycarbonates de DSM. C'est une matière plastique haute performance de grande transparence et de très bonne tenue aux chocs.

- DSM France, 5, rue Lejeune, 92128 Montrouge Cedex. Tél. : (1) 46.12.50.99.

TENDEURS DE CHAÎNE EN POLYAMIDE

Développés par une équipe de chez Porsche et le cabinet d'ingénierie V. Diehm, les tendeurs inférieur et supérieur de la Porsche 911 possèdent une structure porteuse en polyamide Zytel renforcé de 35 % de fibre de verre et une surface de glissement en polyamide 66 non renforcé, stabilisé à la chaleur et lié à la structure au moyen d'un procédé breveté.

Gain de poids (+ 30 %), réduction du bruit et des coûts de fabrication, tels seraient les avantages de ces nouveaux tendeurs de chaîne.

- Du Pont de Nemours (France), 137, rue de l'Université, 75334 Paris Cedex 07. Tél. : (1) 45.50.65.50. Fax : (1) 47.53.09.65/66.

ALLIAGES POLYMÈRES

Le nouveau produit d'essai Bayblend KU 2-1473 de Bayer AG est un alliage mat (PC + ABS) pouvant être mis en œuvre par injection

ou par extrusion et présentant un degré de brillant plus faible que les types Bayblend standard. Il possède les propriétés caractéristiques de ces derniers. Les pièces moulées à partir de ce nouveau matériau présentent des propriétés comparables aux articles réalisées à base des types Bayblend T 65 MN et T 85 MN.

Cet alliage a été mis au point en particulier pour la fabrication de pièces moulées mates destinées à l'équipement intérieur des automobiles dans le but d'obtenir une qualité de surface permettant d'éviter le recours à une peinture.

- Bayer AG, Konzernverwaltung, Öffentlichkeitsarbeit, D-51368 Leverkusen. Tél. : +49 (214) 30-1. Fax : +49 (214) 30 89 23.

PIGMENT DE DIOXYDE DE TITANE

Du Pont a annoncé la disponibilité d'un nouveau pigment de dioxyde de titane, le R-104, spécialement conçu pour garantir d'excellentes performances optiques et rhéologiques dans des mélanges maîtres de polyoléfines à haute concentration pigmentaire. Ce nouveau dioxyde de titane permettrait aux producteurs de mélanges maîtres d'obtenir des rapports de concentration R-104/polyoléfines beaucoup plus élevés. Les producteurs de films pourraient travailler avec une plus grande efficacité à des températures plus élevées en raison de la faible volatilité du produit.

- Du Pont de Nemours Int., Case postale 50, CH-1218 Grand-Saconnex/Genève, Suisse. Tél. : +41 (22) 717 52 37. Fax : +41 (22) 717 60 21.

PROTECTION SPÉCIALE CÂBLE SOUS-MARIN

La société Hydrocable Systemes Ltd., d'Aberdeen, utilise l'élastomère Desmopan KU 2-8600, polyuréthane thermoplastique de Bayer, pour envelopper ses câbles sous-marins d'une gaine étanche et robuste.

Les exigences imposées aux gaines de câbles marins sont très élevées. Celles-ci doivent assurer une protection fiable des câbles contre les agressions de l'eau de mer, les chocs et l'abrasion provoqués par des mouvements permanents, ainsi qu'une durée de vie d'au moins 15 ans.

- Bayer AG, Konzernverwaltung, Öffentlichkeitsarbeit, D-51368 Leverkusen. Tél. : +49 (214) 30-1. Fax : +49 (214) 30 89 23.

COMITÉ SECTORIEL DE LA SÉCURITÉ (CSFS)

Le CSFS a réélu Rober Fondraz en qualité de président. M. Jean-Claude Roux a été reconduit comme vice-président.

Rappelons que le CSFS a été créé en septembre 1992 lors du Salon Expoprotection afin de participer activement aux travaux de l'ESCIF (European Sectoral Committee Intrusion & Fire) qui a été officiellement reconnu le 29 septembre 1993 par l'EOTC (European Organisation for Testing and Certification).

Le CSFS assume une double mission :

- au niveau national : faire progresser la qualité des activités de sécurité à travers six commissions qui se réunissent régulièrement,
- au niveau européen : veiller à l'équivalence des qualifications et certifications entre les pays membres en défendant les positions françaises dans le cadre de l'EOTC et de son organisme ESCIF.

• **Cerberus Guinard, ZI, 617, rue Fourny, BP 20, 78531 Buc Cedex. Tél. : (1) 30.84.66.00. Fax : (1) 39.56.42.08.**

Protection et sécurité

• Contrôle et analyse des émissions des gaz toxiques. Exemples de gaz détectables : NH_3 , Cl_2 , HCN , H_2S , AsH_3 , CO .

• **Zellweger, 33, rue du Ballon, 93166 Noisy-le-Grand-Cedex. Tél. : (1) 48.15.80.80. Fax : (1) 48.15.80.00.**

ANALYSEUR DE GAZ TOXIQUES

L'analyse de gaz toxiques dans les zones I, IIB + H2 est possible avec le 8520 présenté par la division MDA Scientific de Zellweger.

C'est un analyseur de gaz procédé de sécurité intrinsèque.

Il détecte et mesure des impuretés à des concentrations aussi faibles que 1 ppb dans des gaz ou dans des liquides. L'analyse s'effectue sans interférence avec les autres composants présents habituellement, à faibles ou fortes pressions.

Géré par microprocesseur, il utilise le principe breveté de détection par la technique Chemcassette, employant la colorimétrie sur support papier.

Certifié "EEEx d e ib", il permet l'analyse en continu ou par cycle de mesure dans les zones à risques.

Un menu utilisateur convivial et deux alarmes de concentration programmables complètent les caractéristiques de cet analyseur à vocation industrielle.

Applications :

- Identification des impuretés dans les procédés.
- Protection des catalyseurs.
- Suivi de la qualité des produits.
- Surveillance de la saturation de filtres en continu.

PROTECTION OCULAIRE DES VISITEURS

Cabot Safety/E-A-R propose deux nouveaux modèles dans sa gamme de protection oculaire des visiteurs.

La Tour-Guard II et la Tour-Guard IV répondent toutes deux aux spécifications de la norme BS 2092-2 pour la protection oculaire. Elles sont étudiées pour une protection optimale et une vision panoramique. Elles se placent avec aisance par-dessus les lunettes de vue, y compris les montures mode grande taille.

Conçues en polycarbonate pour une protection contre les impacts dans un matériau léger, ces lunettes sont dotées d'une découpe nasale universelle ainsi que d'un support de tempes de forme spatulée.

• **E-A-R, 5 bis, rue du Petit Robinson, 78353 Jouy-en-Josas. Tél. : (1) 34.65.30.57. Fax : (1) 39.46.14.81.**

SYSTÈME D'IDENTIFICATION A DISTANCE SANS FIL

Pour répondre à la demande des utilisateurs souhaitant éviter le câblage en réseau nécessaire à l'installation d'un système de contrôle classique, Zettler a mis au point son système d'iden-

tification distance Zettler CL. Les données d'autorisation ne sont plus mémorisées dans l'unité centrale, dans les concentrateurs ou dans les lecteurs (systèmes XS), mais dans la carte programmable CL.

Le système Zettler CL fonctionne sans aucune connection entre le PC et les lecteurs gérant les portes.

Le plus souvent situé à l'accueil de l'immeuble principal, un PC muni d'un logiciel spécifique relie un ou plusieurs lecteur encodeurs. Ces lecteurs dotés d'une base de temps intégrée (heures et dates) sont préprogrammés avec les zones de temps et de jours prévues pour le système. Ils peuvent être modifiés en cas de nécessité. Si toutes les conditions d'autorisation sont mémorisées dans la carte présentée, ces lecteurs commandent l'ouverture de l'accès.

Une mémoire tampon conserve en permanence les 3.000 derniers événements.

• **Zettler France, 93, rue de Sartoris, BP 62, 92254 La Garenne-Colombes Cedex. Tél. : (1) 47.81.14.40. Fax : (1) 47.86.20.24.**

DÉTECTION ET ANALYSE DE GAZ

Zellweger et sa division Sieger présentent un produit innovant sur le marché de la détection et de l'analyse des gaz : la Série 2000.

Ce produit de sécurité intrinsèque se compose d'un transmetteur et d'un capteur dont la grande nouveauté est d'être déconnectable en un tour de main en zone classée.

— Le transmetteur 2000 : il s'agit d'un transmetteur 4-20 mA 2 fils, de sécurité intrinsèque, qui fonctionne suivant la technique 2 fils à partir de l'énergie qu'il reçoit d'une boucle de courant.

— Le capteur 2000 : le capteur 2000 est homologué pour fonctionner en zone classée, quelles que soient les options du transmetteur.

De sécurité intrinsèque, sa particularité est d'être déconnectable en zone dangereuse, rapidement et simplement pour un éventuel échange avec capteur préalablement étalonné en atelier...

Cette opération peut être accomplie même si le transmetteur est encore sous tension ; elle s'effectue sans ouverture des boîtiers.

Applications : tous types d'industrie et plus particulièrement la chimie, la pétrochimie, l'off shore et l'on shore.

• **Zellweger, 33, rue du Ballon, 93166 Noisy-le-Grand Cedex. Tél. : (1) 48.15.80.80. Fax : (1) 48.15.80.00.**

Buckminsterfullerenes

Sous la direction de
W. Edward Billups,
Marco A. Ciufolini.
VCH Publishers, 1993.

Depuis la découverte du C_{60} et la proposition de dénomination «Buckminsterfullerenes» (*Sciences*, 20/12/1991), l'intérêt pour cette nouvelle «variété» de carbone pur est allé croissant et, en 1992, sept années après la publication de l'article de R. E. Smalley dans *Nature*, en 1985, plus de 1300 publications étaient parues. L'on estime actuellement qu'il en paraît une par 13 heures, près de 2 par jour ! Il est clair que tenter de recenser l'acquis scientifique dans ce domaine est extrêmement difficile et qu'un tel ouvrage risque d'être très vite largement dépassé.

L'ouvrage édité sous la direction de W. E. Billups et M. A. Ciufolini est cependant remarquable, à la fois par sa clarté et sa concision ainsi que, dans une certaine mesure, par son contenu qui propose un examen critique de l'essentiel des résultats connus.

Les chapitres successifs concernent : Les études de fullerènes en spectroscopie de masse, (R.F. Curl), Les études réalisées par l'équipe de Kroto à l'université de Sussex (H.W. Kroto, K. Prassides, A.J. Stace, R. Taylor, D.R.M. Walton), Les fullerènes supérieurs («higher fullerenes», par Carlo Thilgen, François Diederich, Robert L. Whetten), Les prédictions théoriques ab initio (Gustavo E. Scuseria), La prédiction des propriétés des fullerènes et de leurs dérivés (C.T. White, J.W. Mintmire, R.C. Mowrey, D. W. Brenner, D.H. Robertson, J.A. Harrison, B.I. Dunlap). La structure électronique des fullerènes : Les carbones allotropes d'hybridation intermédiaire (R.C. Haddon et K. Raghavachari), La théorie des propriétés électroniques et supraconductives (Marvin L. Cohen et Vincent H. Crespi), La structure électronique des fullerènes intercalés (Steven C. Erwin), Les complexes

exo- et endohédrique en phase gazeuse (Helmut Schwarts, Thomas Weiske, Diethard K. Böhme et Jau Hruak), L'électrochimie des fullerènes (Lou J. Wilson, Scott Flanagan, L.P.F. Chibante et J.M. Alford), La préparation, la réactivité chimique et la fonctionnalisation des C_{60} et C_{70} (G.K. Surya Prakash, Imre Buci, Robert Amiszfeld et George A. Olah), La chimie des fullerènes (Fred Wudl).

Comme on le voit, le contenu est assez exhaustif et, parmi les auteurs, plusieurs sont des spécialistes de grand réputation ; l'ouvrage est bien présenté et d'une lecture facile, on peut donc le recommander tant aux laboratoires spécialisés qu'aux lecteurs soucieux de connaître mieux ce domaine (je serais tenté d'écrire cette nouvelle «mode»).

On regrettera que, suivant en cela une présentation qui s'étend parmi les ouvrages anglo-saxons, il n'y ait pas de registre des auteurs. Même si le registre (ou index) des matières est fort clair et détaillé (ce qui est le cas ici), le complément qu'apporte l'index des auteurs est fort utile dans la pratique et son absence dans un ouvrage qui sera, au moins pour un temps, un ouvrage de référence est à déplorer ; souhaitons que cette lacune soit remplie dans la seconde édition qui ne saurait tarder beaucoup compte tenu de la rapidité d'évolution du domaine.

J.-B. D.

Electrochimie analytique et réactions en solution

Tome 1. : Réactions en solution : traitement analytique en vue de leur exploitation dans les procédés de transformation et de séparation

B. Trémillon.
Masson, Paris, 1993.

Dans un long avant-propos, l'auteur rappelle toute l'importance que revêt la connaissance des réactions chimiques en solutions, qu'il s'agisse des solutions

aqueuses, des solvants organiques ou des sels fondus. Si les applications à l'analyse chimique ont perdu de leur importance en raison du développement de puissantes méthodes instrumentales (encore que la préparation préalable des échantillons, si essentielle dans la pratique, relève des concepts de la chimie des solutions), leur exploitation dans les procédés industriels n'a fait que croître. De même, toutes les méthodes de séparation de mélanges complexes en chimie inorganique et parfois même en chimie organique (acides aminés, par exemple) mettent en œuvre des réactions en solution. C'est dire combien l'enseignement correspondant demeure fondamental.

On doit donc féliciter l'auteur de présenter, dans ce premier tome, une somme des connaissances et des modes de raisonnement d'une grande clarté. Les réactions électrochimiques feront l'objet du deuxième tome.

L'ouvrage est structuré en deux parties : la mise en œuvre contrôlée des réactions de la chimie des solutions et les milieux réactionnels autres que les solutions aqueuses (solvants moléculaires, sels fondus).

La première partie traite successivement des réactions de complexation (avec l'influence de l'acidité), le cas des complexes insolubles, les réactions rédox. Viennent ensuite les séparations par extraction liquide-liquide et par échange d'ions. La méthode adoptée est celle des coefficients de complexation qui permet une présentation unifiée et rigoureuse. On regrettera cependant que l'auteur n'ait pas cru devoir développer les méthodes informatisées de calcul des équilibres en solution. Pourtant, dans la pratique courante, ces méthodes sont devenues indispensables. Par ailleurs, les coefficients de complexation sont incapables de traiter les nombreux problèmes réels qui se posent au chimiste des solutions dès lors que plusieurs cations métalliques et complexants sont présents simultanément. De

même, en chromatographie d'échange d'ions, les aspects cinétiques ne sont traités que de façon succincte, et les notions de grandeurs réduites sont omises.

En complément à cette première partie sont traités les grands procédés de l'hydrométallurgie et la potentiométrie, indispensable tant pour le contrôle des opérations de chimie en solution que pour la détermination expérimentale des constantes d'équilibre (cet aspect n'est d'ailleurs pas traité).

La seconde partie est consacrée aux solvants non aqueux. Le chapitre le plus impressionnant est celui relatif aux sels fondus où sont rassemblés un nombre considérable de données souvent issues, d'ailleurs, des travaux de l'auteur et des ses collaborateurs.

On trouve, enfin, 75 problèmes constituants des applications de ce qui précède et qui permettront à l'étudiant d'exercer sa sagacité et de vérifier l'assimilation de ses connaissances.

En conclusion, il s'agit d'un ouvrage de base indispensable à tout chimiste et qui témoigne de la vigueur d'une discipline incontournable.

R. Rosset

Nucleic Acid Targeted Drug Design

Sous la direction de
C.L. Propst, T.J. Perun,
Marcel Dekker, New York, 1992.

Comme l'indiquent les éditeurs dans leur préface, cet ouvrage est complémentaire d'un livre précédent «Computer-Aided Drug Design» dont l'objectif était la conception de drogues ayant pour cible les protéines. Il s'agit, dans ce nouvel ouvrage, de faire l'état des lieux sur la conception de composés ayant les acides nucléiques comme cible.

Après un premier chapitre, pouvant être considéré comme une introduction générale, l'ouvrage est structuré en deux parties complémentaires concernant respectivement les méthodes (5

chapitres) et les applications (7 chapitres).

La partie «méthode» comprend successivement une discussion sur la façon dont les données structurales peuvent être obtenues (rayon X, RMN,...), puis sur la façon dont une molécule peut être artificiellement construite par des programmes appropriés afin de s'apparier sur des sites nucléiques.

Est ensuite présenté un chapitre décrivant les méthodes permettant de parvenir à une identification des sites d'interaction des composés avec l'ADN (foot printing...), suivi d'un chapitre basé sur les approches permettant de parvenir à des relations structures-activités dans le cas d'agents intercalants.

Une revue assez détaillée sur les interactions protéine-ADN, reprenant les domaines fondamentaux de la biologie moléculaire concernant la réplication de l'ADN, termine cette première partie.

La partie «application» de cet ouvrage débute par 4 chapitres respectivement consacrés aux lexitropsine, aux pyrrolo(1,4) benzodiazépines, aux quinolones et aux énediynes avec l'accent mis évidemment sur les interactions de ces classes de composés avec l'ADN.

Puis est présenté un chapitre concernant une étude comparative des interactions des composés intercalants avec leur cible par modélisation moléculaire et en utilisant diverses techniques biophysiques.

Deux chapitres relativement courts terminent cet ouvrage et sont consacrés aux approches, actuellement très étudiées, faisant intervenir la reconnaissance spécifique des acides nucléiques, que ce soit par formation de liaisons Watson-Crick et Hoogsteen. La construction de ribozymes et d'antisens (au sens large du terme) est commentée et des exemples de leur utilisation visant à inhiber spécifiquement l'expression des gènes sont discutés.

Il ressort de cet ouvrage, qui a l'avantage de couvrir un domaine assez large de techniques et

d'approches utilisées pour étudier les interactions avec l'ADN, une impression de compilation dans un domaine, certes, de la plus haute importance.

Cependant, l'équilibre entre les diverses parties présentées peut parfois porter à réflexion. Ainsi, la partie consacrée aux lexitropsines (chapitre 7) est aussi longue que l'ensemble des deux chapitres traitant des ribozymes et des antisens (chapitre 12 et 13).

De même, le très documenté chapitre 6 concernant les interactions DNA/protéines aurait pu être quelque peu condensé.

Un chapitre a retenu particulièrement mon attention, celui concernant l'inhibition des DNA gyrases (chapitre 9). En conclusion, cet ouvrage rassemblant des chapitres écrits par des spécialistes de domaines complémentaires présente l'avantage de faire le point sur les interactions drogue-ADN tant au niveau des techniques que des diverses classes de drogues.

A ce titre, il me semble intéressant d'être consulté, tant par les chercheurs que par les étudiants en cours de thèse.

J.-L. Imbach

Livres parus

Les radicaux libres en chimie organique

J. Fossey, D. Lefort et J. Sorba.
Broché, 304 p., 250 F.
Masson, Paris, 1993.

Polymers of Biological and Biomedical Significance (ACS Symposium séries n° 540)

La direction de S.W. Shalaby.
Relié, 390 p.,
89,95 \$.
American Chemical Society,
1993.

Electroanalytical chemistry (vol. 18), A Series of Advances

Allen J. Bard. Relié, 416 p., 165 \$.
Dekker, New York, 1993.

Génie de la réaction chimique. Conception et fonctionnement

des réacteurs (édition 1993)

J. Villermaux. Broché, 448 p.,
450 F.
Lavoisier, 1993.

Organic Photoreceptors for Imaging Systems (Optical Engineering Series, n° 39)

P.M. Borsenberger, D.S. Weiss.
Relié, 464 p., 135 \$.
Dekker, New York, 1993.

Sécurité industrielle. De la prévention des accidents à l'organisation des secours. Problèmes résolus. Études de cas (traduit de l'américain)

R. Dupont, L. Theodore,
J. Reynolds. 264 p., 165 F.
Polytechnica, Paris, 1993.

Catalysis of Organic Reactions (Chemical Industries Series, n° 53)

J.R. Kosak, T.A. Johnson. Relié,
608 p., 185 \$.
Dekker, New York, 1993.

La parole des choses ou le langage de la chimie (collection Savoir : sciences)

Pierre Laszlo. 320 p.,
160 F.
Hermann, Paris, 1973.

La spectroscopie RMN. Principes de base, concepts et applications à la spectroscopie magnétique nucléaire du proton et du carbone 13 en chimie (traduit de l'allemand)

H. Gunther. Relié, 576 p., 390 F.
Masson, Paris, 1993.

Répertoire général des aliments. Tome 3 : Table de composition des fruits exotiques, fruits de cueillette d'Afrique

J.C. Favier, J. Ireland-Ripert,
C. Laussucq, M. Feinberg.
Broché, 272 p., 180 F.
Lavoisier, 1993.

Synthèse et utilisation des oligonucléotides (collection Génie génétique)

Tam Huynh-Dinh, 176 p., 270 F.
Lavoisier, 1994.

Electrochimie analytique et réactions en solution. tome 2 :

Réactions et méthodes électrochimiques

Bernard Trémillon.
Relié, 632 p., 390 F.
Masson, Paris, 1993.

Synthèse et catalyse asymétriques. Auxiliaires et ligands chiraux (collection Savoirs actuels)

Jacqueline Seyden-Penne.
Broché, 660 p., 295 F.
InterEditions, 1993.

Mass Spectrometry for the Characterization of Microorganisms (ACS Symposium Série n° 541)

sous la direction de C. Fenselau.
Relié, 238 p., 64,95 \$.
American Chemical Society,
1993.

Annuaire UIC (22^e édition)

Union des Industries Chimiques.
Broché, 700 F.
Chimie Promotion CP, 1993.

Europages 93/94 (The European Business Directory, 11^e édition)

Broché, 534 p., 40 F.
Europages, Paris, 1993.

Dictionnaire des techniques et technologies modernes

J.R. Forbes, français/
anglais (1^{re} édition),
608 p., 550 F.
anglais/français (2^e édition),
592 p., 550 F.
Lavoisier, 1993.

Cristallographie

D. Schwarzenbach. Broché,
300 p., 77 SF. Presses
Polytechniques et Universitaires
Romandes, 1993.

Principles of Peptide Synthesis (2^e édition)

M. Bodanszky. Broché,
329 p., 72 DM.
Springer-Verlag, Berlin, 1993.

Infoguide. Guide to sources of information on European Community research.

Seconde édition, par la
Commission des Communautés
européennes. Broché, 97 p.
Cordis, 1993.

Adhésion

Demande d'adhésion à la SFC

Formulaire à renvoyer à

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 _____

Merci de me faire parvenir un bulletin d'adhésion à la Société Française de Chimie.

À _____ le _____
 Signature _____

Bulletin d'abonnement

L'Actualité Chimique

Tarifs 1994 7 numéros par an

L'Actualité Chimique

	France	Export	
Particuliers	950 FF	1100 FF	
Étudiants*	360 FF	500 FF	* Joindre une photocopie de la carte étudiant
Membres de la SFC**	Tarif préférentiel		** Contacter directement la SFC

Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____ Pays _____

- Je désire m'abonner pour 1994
- Je désire recevoir une facture pro-forma
- Paiement joint
- Veuillez débiter la somme sur ma carte de crédit (Visa, Eurocard, Mastercard)

N°

Date d'expiration _____

Signature _____

À retourner
à votre librairie spécialisée
ou à Dunod Abonnements,
15, rue Gossin
923543 Montrouge Cedex
France

Activités de la Société Française de Chimie

LE NOUVEAU PRÉSIDENT DE LA SFC : MARC JULIA

Marc Julia est né le 23 octobre 1922 à Paris. Après des études au lycée de Versailles, il entre à l'École Normale Supérieure dont il sort agrégé de sciences physiques en 1946. Grâce à une bourse du CNRS, il peut aller étudier à l'Imperial College of Science and Technology à Londres.

A son retour, Marc Julia entre à l'École polytechnique comme chef sciences de l'université de Paris ; pendant quelques années, il travaille en même temps à l'Institut Pasteur en chimie thérapeutique. En 1970, il devient directeur du département Chimie de l'École Normale Supérieure (ENS). Il est membre de l'Académie des sciences depuis 1977 et de plusieurs académies étrangères, et de nombreux prix et distinctions, en particulier la médaille d'or du CNRS (1990) et le prix de la Fondation A. von Humboldt (1989).

Marc Julia a pris sa retraite de professeur à l'université P. et M. Curie en 1993. Il continue d'animer une équipe de jeunes chercheurs à l'ENS.

La carrière de Marc Julia est jalonnée de plus de 400 articles scientifiques. Nous citerons seulement des méthodes de synthèse et d'ouverture de cycles, en particulier en utilisant des réactions radicalaires, la synthèse de divers alcaloïdes à forte action biologique, le développement donné à la chimie des sulfones et à leur emploi en synthèse (en particulier à la fabrication de la vitamine A). 140 jeunes ont préparé leur doctorat dans son laboratoire.

DIVISION Chimie organique

PRIX DINA SURDIN 1994

Ce prix décerné par la Fondation Dina Surdin, sur proposition du bureau de la division Chimie organique, récompensera une thèse soutenue en 1993.

Deux appels ont été lancés :

- l'un dans *SFC Info* de décembre 1993 s'adressait aux collègues ayant participé à des jurys ou assisté à des thèses qu'ils avaient jugées excellentes sur le plan des sujets, résultats et présentation.

- l'autre a été adressé directement aux responsables de formations doctorales.

Ils ont été suivis de peu d'effet : pour la première fois, nous ne disposons cette année que d'un nombre très réduit de propositions.

Aussi, faisons-nous un **appel direct aux jeunes docteurs eux-mêmes** : ceux qui ont soutenu une thèse de chimie organique en 1993 peuvent faire acte de candidature en envoyant, *avant le 14 juillet 1994*, le résumé de leur thèse (avec éventuellement une liste de publications) et le rapport de soutenance ainsi qu'un bref curriculum vitae, au professeur J. Goré, université Claude Bernard, Laboratoire de chimie organique I, ESCIL (bât. 308), 43, bd du 11-Novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex (tél. : 72.44.85.39).

Après une première sélection, les candidats retenus devront fournir un exemplaire de leur thèse. Le choix définitif sera effectué dans le courant du mois de décembre.

JOURNÉE DE LA DIVISION

Paris, 13 décembre 1994

La prochaine Journée de la division Chimie organique aura lieu le mardi 13 décembre 1994 au ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, (5, rue Descartes, 75005 Paris), de 9 h 30 à 18 h.

Le programme de cette manifestation comprendra six conférences présentées par les conférenciers suivants : W. Aggarwall (Sheffield University, Grande-Bretagne), Pr B.

Jeanmart (université de Grenoble), J.-C. Depézy (université Paris V), H. Kagan (université Paris XI), Y. Valle (université de Grenoble), B. Fraser-Reid (Duke University, Durham, États-Unis).

Le programme définitif de cette journée sera diffusé ultérieurement.

• Renseignements : B. Cazes, ESCIL, Laboratoire de Chimie organique I, bât. 308, 43, bd du 11-Novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex. Tél. : 72.44.85.39. Fax : 72.43.12.14.

DIVISION Matériaux polymères et élastomères

JEPO XXII

Dourdan, 19-23 septembre 1994

Les Journées d'études des polymères (JEPO) sont organisées par la section Ile-de-France du Groupe Français d'études et d'applications des Polymères (GFP).

Ce colloque est réservé aux jeunes chercheurs universitaires et industriels qui sont tenus de présenter une communication orale.

• Renseignements : Madame M. Brigodiot, Laboratoire de synthèse macromoléculaire, BP 184, Université P. et M. Curie, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05. Tél. : (1) 44.27.62.49. Fax : (1) 44.27.70.54.

SECTION Lorraine

RÉUNION SCIENTIFIQUE

5 juillet 1994

Dans le cadre des activités de la division Chimie organique de la SFC, la section Lorraine organise une première réunion scientifique avec deux conférences :

- J.-C. Gramain, professeur à l'université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand : *Synthèses*

totales d'alcaloïdes pentacycliques à partir de synthons obtenus par voie photochimique.

- G. Queguiner, professeur à l'Inria de Rouen : Première méthode de synthèse d'organométalliques dans la série des azines. Régiosélectivités originales et synthèses d'alcaloïdes.

- Renseignements : Yves Chapleur, Université Nancy I, domaine scientifique Victor Grignard, Laboratoire de chimie organique, 3, BP 239, 54506 Vandœuvre re -les-Nancy Cedex. Tél. : 83.91.23.55.

SECTION Midi - Pyrénées

JOURNÉE JEUNES CHERCHEURS

La Journée s'est tenue le 17 mai 1994. Elle était réservée aux étudiants en cours de thèse. Le professeur Ricci (université de Bologne) a présenté en ouverture une conférence intitulée : The polymeric reagents as usefull tools in selective organic synthesis.

JOURNÉE CHIMIE ET MATÉRIAUX

Cette journée s'est tenue le 3 juin 1994 à l'ENSCT (Toulouse) sous la responsabilité du professeur A. Gleizes.

SECTION Normandie (Basse) - Sarthe

JOURNÉE ANNUELLE DE LA SECTION

Cette Journée s'est tenue le jeudi 9 juin 1994 au Mans, dans les locaux de la faculté des sciences. A cette occasion, deux conférences ont été données :

- Pr. Henri Kagan (Orsay) : Synthèses asymétriques efficaces de sulfoxydes chiraux.
- Pr. Jacques Livage (Paris VI) : Élaboration de céramiques par voie sol-gel, de l'art du feu à la chimie douce.

D'autre part, des communications ont été présentées, oralement et par affiches, afin de permettre l'intervention de nombreux jeunes chercheurs.

PLIS CACHETÉS

La SFC a reçu les plis cachetés suivants (droits de garde 80 F par pli cacheté déposé) :

- Le 5 avril 1994, de MM. F. Lebourgeois et

M. Perrier (Rhône-Poulenc Chimie), sous le numéro 268.

- Le 4 mai 1994, de MM. S. Cuvier et P. Flacher (Métaux Spéciaux SA), sous le numéro 269.

CLUB DES JEUNES Paris Ile-de-France

SFC 94 : UN TRANSPORT PAR CAR

Le voyage des jeunes sociétaires à Villeurbanne pour SFC 94 (26-30 septembre 1994), est en train de s'organiser par car.

Le Club de Paris-Ile-de-France ouvre cette possibilité à tous les membres SFC.

Dans l'immédiat il est prévu :

- départ de Paris : lundi 26 septembre
- départ de Lyon : mercredi soir, le 28 septembre, pour un prix de l'ordre de 300 F (dépendant du nombre de participants et du remplissage des cars).

Vous êtes intéressés, envoyez vos coordonnées par télécopie.

- SFC, Club de Paris Ile-de-France, 250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris. Fax : (1) 43.25.87.63.

DINER DÉBAT : SCIENCE ET ART

Le dîner débat organisé par le Club des Jeunes de Paris Ile-de-France, autour du thème Science et art, réunissait, le jeudi 7 avril 1994, une quarantaine de personnes à l'espace Pulmann Saint-Jacques (Paris 14e). Des artistes scientifiques ont présenté leurs œuvres et expliqué le rôle de la science dans la conception et/ou la réalisation de leurs travaux :

- Christian Lavigne, poète et plasticien de formation scientifique, inventeur de la robot-sculpture et cofondateur d'Art Mathematica,
- Ana Richardson, plasticienne, auteur de sculptures au laser.

Un exposé de Jean Jacques, directeur honoraire du Laboratoire de chimie des interactions moléculaires (Collège de France), a permis un véritable débat en soulevant l'importance de l'imprévu dans le rapport art et science.

La fresque du CNRS, réalisée par Monique Peytral, était exposée dans la salle.

M. Lavigne a présenté son travail et quelques unes de ses œuvres sculptées dans l'Altuglas (polyméthacrylate de méthyle). Il a développé la robot-sculpture en collaboration

avec des industriels et explique que les mathématiques (sa formation initiale) lui permettent de parfaire les ébauches qu'il fait à la main. Les techniques (utilisation de laser) permettent, selon lui, d'obtenir une sculpture aux symétries parfaites que la main du plus grand des sculpteurs ne pourrait réaliser.

Une question est restée sans véritable réponse (ou, du moins, reste à l'appréciation de chacun) : le sculpteur n'a plus le contact de la matière première : est-ce de l'art ou une réalisation technologique ?

Mme Ana Richardson, dont l'intervention suivie celle de Jean Jacques, a présenté ses œuvres réalisées aussi en Altuglas. Elle rejoint M. Lavigne sur l'intérêt du laser pour parfaire les géométries. Elle explique aussi son goût pour l'Altuglas : "c'est un matériau facile à sculpter dont les propriétés de transparence sont remarquables".

Les thèmes abordés lors du dîner débat ont été très appréciés, mais il semble qu'une seule soirée soit trop courte pour explorer toute la richesse du sujet (avis aux amateurs...).

L'équipe du Club des Jeunes Sociétaires de Paris-Ile-de-France remercie tous les participants pour cette soirée réussie et chaleureuse. Elle souhaite vous revoir encore plus nombreux l'année prochaine.

Toutes les suggestions de thèmes sont les bienvenues.

Jean-François Paolozzi
secrétaire du Club

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE FRANCE

Le Bulletin de la Société Chimique de France (9 numéros en 1994) publiera les articles suivants dans ses prochains numéros.

NUMÉRO 4

24s of a potential suicide substrate of sialidases. Its behaviour towards the Influenza virus enzyme.

Jeanne Maudrin (1), Béatrice Barrere (2), Bernard Chantegrel (1), Christian Deshayes (1), Gérard Quash

(1) Laboratoire de Chimie Organique, Département de Blochimie, Institut National des Sciences Appliquées, 20, avenue A. Einstein, 69621 Villeurbanne

(2) Laboratoire d'Immuno-chimie, INSERM,

Université Claude Bernard Lyon I, chemin du petit Revoyet, 69921 Oullins

Synthesis and complexation behaviour of some crown ethers derived from D-haxopyranosides and D-mannitol towards racemic phenylglycine salts.

Jean-Pierre Joly*, M. Nazhaoui, B. Dumont

*Laboratoire de Méthodologie et de Synthèse Enantiospécifique de Biomolécules, URA CNRS n° 486, Faculté des Sciences, Université de Nancy I, BP 239, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy

Electrochimie des composés d'inclusion dans les cyclodextrines.

Abdelhakim Essalim (1), Eric Saint-Aman (2)*, Denis Serve (1)

Université Joseph Fourier, BP 53X, 38041 Grenoble Cedex 9

(1) Laboratoire de Photochimie et d'Electrochimie Moléculaire, UFR de Chimie

(2) Laboratoire d'Electrochimie Organique et de Photochimie Redox (URA CNRS D1210)

Electrophilic amination of carbanions with metallated *t*-butyl-N-tosylloxycarbamate.

Christine Greck, L. Bischoff, A. Girard, J. Hajicek, Jean-Pierre Genêt*

Laboratoire de Synthèse Organique, Bioconversions et Produits Naturels (UA 1381), Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris, 11, rue P. et M. Curie, 75231 Paris Cedex 05

Cyclopropanation of dibenzylaminoacetone nitrile : Evaluation of 1,2-dibromides and 1,2-cyclic sulfates as dielectrophiles.

Dominique Guillaume, Michèle Brun-Bousquet, David J. Aitken, Henri-Philippe Husson*

Laboratoire de Chimie Thérapeutique, URA CNRS 1310, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, 4, avenue de l'Observatoire, 75270 Paris Cedex 06

A novel synthesis of thiadiazole and thiadiazine derivatives via charge-transfer complexation.

Alaa A. Hassan

Chemistry Department, Faculty of Science, El-Minia University, El-Minia, A.R. Egypt

Utilisation de la carbopalladation d'allènes dans une synthèse rapide d'esters benzoiques trisubstitués.

Véronique Gauthier, Cyrille Grandjean, Bernard Cazes, Jacques Goré

Laboratoire de Chimie Organique I, associé au CNRS, Université Claude Bernard, ESCIL, 43, bd du 11-Novembre 1918, 69622 Villeurbanne

Chiral 1,3-amino alcohols and tetrahydro-1,3-oxazines derived from threitol.

Jean-Louis Gras (1)*, Hervé Dupuy (1), Tore Lejon (2)

(1) Université d'Aix-Marseille III, Laboratoire de Synthèse Organique D12, URA CNRS 1411, 13397 Marseille Cedex Cedex 20

(2) Department of Organic Chemistry, University of Umeå, 901 87 Umeå, Suède

Copper (II) complexes with tetradentate N4 and N2S2 ligands : effect of ligands on redox behavior and EPR parameters superoxide dismutase - like activity.

Pierre Chautemps (1), Gisèle Gellon (1), Bénédicte Morin (1), Jean-Louis Pierre (1), Christophe Provent (1), Sidi M. Refaif (1), Claude G. Beguin (1), Abdelilah El Marzouki (1), Guy Serratrice (1)*, Eric Saint-Aman (2)

(1) Université Joseph Fourier, BP 53X, 38041 Grenoble Cedex, Laboratoire de Chimie Biomimétique, LED55 (URA CNRS D0332)

(2) Laboratoire d'Electrochimie Organique et de Photochimie Redox (URA CNRS D1210)

Réactions gaz/solide organique. Alkylation du 4-tertiobutylphénol solide par l'isobutène gaz en présence de catalyseurs solides ou liquides. Etude des paramètres de la réaction.

Ammar Selatnia, Jacques Bassus, Roger Lamartine

Université Claude Bernard Lyon I, Laboratoire de Chimie Industrielle, 43, bd du 11-Novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex

Synthesis and characterization of 1,2,3-triphospholide anions.

Nicole Maignot, Michael Sierra, Claude Charrier, François Mathey

Laboratoire Hétéroatomes et Coordination, URA CNRS n° 1499, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex

Prospects in oil refining

G. Martino

IFP, 1-4 avenue de Bois-Préau, 92500 Rueil-Malmaison

Landmarks in the evolution of heterogeneous catalysts.

John Meurig Thomas, Robert G. Bell, Paul A. Wright

The Davy Faraday Research Laboratory, The Royal Institution of Great Britain, 21 Albemarle Street, London W1X 4BS, United Kingdom

New trends in methane conversion and basic petrochemicals.

Italo Pasquon

Dipartimento di Chimica Industriale e Ingegneria Chimica «Giulio Natta» del Politecnico di Milano

NUMÉRO 5

The two expressions of the Horeau principle, n-fold Horeau amplifications, and scales for the resulting very high enantiopurities.

Valentin Rautenstrauch

Firminich SA, Research Laboratories, PO Box 239, CH-Geneva 8, Suisse

Asymmetric ring-opening polymerization.

Nicolas Spassky (1)*, Philippe Dumas (2), Alain Le Borgne (1), Ardéchir Momtaz (3), Maurice Sépulchre (1)

(1) Laboratoire de Chimie Moléculaire, URA 024, Université Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

(2) Centre de Recherche sur la Physico-Chimie des Surfaces Solides, CNRS, 24, avenue du Président Kennedy, 68200 Mulhouse

(3) Solvay et Cie, Laboratoire Central, B-1120 Bruxelles, Belgique

Kinetic Resolution of Aliphatic Oxiranes Mediated by in situ formed molybdenum (V) (oxo-deperoxo) hydroxy acid amide/chiral diol complexes.

Volker Schurig, F. Betschinger

Institut für Organische Chemie der Universität, Auf der Morgenstelle 18, D-7400 Tübingen, Germany

Reactions of α -haloallyllithium derivatives with carbon-, silicon-, tin- or boron halides and carbonyl compounds.

Marc Julia*, Jean-Noël Verpeaux, Thomas Zahneisen

Département de Chimie, Ecole Normale Supérieure, URA CNRS n° 1679 et 1686, 24, rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05

Synthèse stéréosélective de 12 α -amino et 12 α -méthylamino-19-nor-stéroïdes.

J. Doussot (1), R Garreau (1), L. Dallery (2), J.-P. Guetté (1), A. Guy (1)

(1) Laboratoire de Chimie Organique, Conservatoire National des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin, 75141 Paris Cedex 03

(2) Laboratoire de Méthodes Physico-chimiques d'Analyse, Conservatoire National des Arts et Métiers, 292 rue Saint-Martin, 75141 Paris Cedex 03

Selectivities in the palladium-catalyzed synthesis of dimethyl (3-*t*-butylcyclobutylidene) ethylmalonate.

R. Gil, Jean-Claude Fiaud*

*Laboratoire de Synthèse Asymétrique, URA CNRS 1497, bât. 420, Université Paris-Sud, 91405 Orsay Cedex

From recreational mathematics to Molecular Design.

Kurt Mislow

Department of Chemistry, Princeton University, Princeton, New Jersey 08544, USA

Dérivés N-alkylés en série purine. Synthèse par chimie radicalaire (SRN1) et aménagements fonctionnels.

Tawfik Gharbaoui, Rachid Benhida, Jacqueline Chastanet, André Lechevallier, Philippe Maillos, René Beugelmans

Institut de Chimie des Substances Naturelles, CNRS, 91190 Gif-sur-Yvette

Short asymmetric synthesis of (+) (S) -[6]-gingerol from optically active β,δ -diketosulfoxide.

Guy Solladié*, Nasser Ghatou

Ecole Européenne des Hautes Etudes des Industries Chimiques de Strasbourg (EHICS), Laboratoire de Stéréochimie associé au CNRS, 1, rue Blaise Pascal, 67008 Strasbourg

Complexation of quaternary ammonium cations by a new basket-shaped macrotricyclic cyclophane.

Robert Méric, Jean-Marie Lehn, Jean-Pierre Vigneron

Laboratoire de Chimie des Interactions Moléculaires, UPR 285 du CNRS, Collège de France, 11 place Marcellin Berthelot, 75005 Paris

Tandem asymmetric syntheses from achiral precursors, asymmetric homogeneous reduction of bisdehydrodipeptides.

S. El Baba, K. Sartor, Jean-Claude Poulain, Henri B. Kagan*

Laboratoire de Synthèse Asymétrique, URA CNRS 1497, bât. 420, Université Paris-Sud, 91405 Orsay Cedex

Synthèse de métabolites marins 2-aminoimidazoliques : clathrodine et 1'-amino-3-(2-aminoimidazolyl)-prop-2'-ène.

Sophie Daninos, Ali Al Mourabit, Alain Ahond*, Manuel Bedoya Zurita, Christiane Poupat*, Pierre Potier

Institut de Chimie des Substances Naturelles du CNRS, 91198 Gif-sur-Yvette Cedex

NUMÉRO 6**Synthesis of MeBmt C9 amino-acid present in cyclosporine and analogues.**

Jean-Olivier Durand, Jean-Pierre Genet

Laboratoire de Synthèse Organique, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris, 11, rue P. et M. Curie, 75231 Paris Cedex 05

The basic chemistry of nitric oxide and its possible biological reactions.

Marc Fontecave, Jean-Louis Pierre

Laboratoire d'Etudes Dynamiques et Structurales de la Sélectivité, URA CNRS D0-332, Université Joseph Fourier, BP 53 X, 38041 Grenoble Cedex

Studies towards the synthesis of forskolin from carbohydrates. Preparation of 2,3-disubstituted glycols.

Jingwen Pan, Issam Hanna*, Jean-Yves Lallemand

Laboratoire de Synthèse Organique, associé au CNRS, Ecole Polytechnique, 9128 Palaiseau Cedex

Electrophilic hydroxylation of aromatics in superacids

Jean-Claude Jacquesy*, Christian Berrier, Jean-Pierre Gesson, Marie-Paule Jouannetaud

Laboratoire de Chimie XII, URA CNRS 1468, 40, avenue du recteur Pineau, 86022 Poitiers

(Perfluoroalkyl)- and 1,2-bis(perfluoroalkyl)- iodo- and polybromo ethenes : synthesis and preliminary evaluation as contrast agents for diagnosis

Véronique Sanchez, Alexandre Manfredi, Jacques Greiner, Jean G. Reiss

Laboratoire de Chimie Moléculaire, URA 426 du CNRS, Université de Nice-Sophia-Antipolis, Parc de Valrose, 06108 Nice Cedex 2

Oxidation of sulfonyl carbanions with lithium *t*-butyl peroxide : formation of β -hydroxy-sulfones.

Fabrice Chemla, Marc Julia*, Daniel Uguen

Laboratoire de Chimie, Ecole Normale Supérieure, 24 rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05

Photocycloaddition of cyclopentenone to propenal acetals.

Claude Bonvalet, James Bouquant, Alexandre Feigenbaum, Jean-Pierre Pete*, Denise Scholler

Laboratoire des Réarrangements Thermiques et Photochimiques associé au CNRS, Université de Champagne-Ardenne, 51062 Reims

Acylation de l'acétamidomalonate de diéthyle. Synthèse et réactivité de 4-carbethoxy oxazole.

André Loupy* (1), Alain Petit (1), A. Zaparucha (1), C. Mahieu (2), D. Semeria (2)

(1) Laboratoire des Réactions Sélectives sur Supports, CNRS UA 478, ICMO, Université Paris-Sud, bâtiment 410, 91405 Orsay Cedex
(2) L'Oréal SA, 1 avenue E. Schueller, 93601 Aulnay-sous-Bois**Behaviour of 2,4-bisimino-1,3-diazetidines under electron impact and under flash-vacuum pyrolysis (FVP) conditions.**

Robert Flammang* (1), Mateo Alajarin (2), Carmen López Leonardo (2), Pedro Molina (2), José Elguero (3)

(1) Chimie Organique, Faculté des Sciences, Université de Mons-Hainaut, place du Parc, 20, B-7000 Mons, Belgique
(2) Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Campus de Espinardo, 30071 Murcia, Espagne
(3) Instituto de Química Médica, CSIC, Juan de la Cierva 3, 28006 Madrid, Espagne**Multinuclear magnetic resonance study of sterically crowded stannylphosphines and stannylamines : stereochemical influences on chemical shielding and spin-spin couplings.**

Armin Dörr, Dietrich Gudat*, Dieter Hänssgen, Heribert Hens, Edith Stahlhut

Anorganisch Chemisches Institut der Universität Bonn, Gerhard Domagk Str. 1, DW-53121 Bonn

Oxidation of SR 48117, an antagonist of vasopressin V1a receptors, by biomimetic catalysts based on metalloporphyrin or schiff base complexes

N. Gaggero, A. Robert, J. Bernadou*, Bernard Meunier*

Laboratoire de Chimie de Coordination du CNRS, 205 route de Narbonne, 31077 Toulouse-Cedex

Interactions of oxysterols with a lipid membrane model : solid state ^2H -NMR studies.

Xavier Pannecoucke, Jean-Philippe Starck (2), Alain Milon (3), Guy Ourisson (1), Bang Luu (1)

(1) Laboratoire de Chimie Organique des Substances Naturelles, associé au CNRS, Université Louis Pasteur, 5 rue Blaise Pascal, 67084 Strasbourg
(2) Marion Merrell Dow Research Institute, 16 rue d'Ankara, 67000 Strasbourg
(3) Laboratoire de Pharmacologie et de Toxicologie Fondamentales, CNRS, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse

Manifestations

HEAT AND MASS TRANSFER UNDER PLASMA CONDITIONS

IZMIR (Turquie)
4-8 juillet 1994

La langue officielle de ce symposium international est l'anglais.

Renseignements : Pierre Fauchais, Université de Limoges, Faculté des sciences, 123, av. A. Thomas, 87060 Limoges Cedex. Tél. : 55.45.74.21. Fax : 55.45.72.11.

SELS FONDUS

BAD HERRENALB (Allemagne)
21-26 août 1994

Thème : thermodynamique, solution métaux-sels fondus, chimie, électrochimie et revêtements métalliques, structure microscopique et spectroscopie, la fusion donnant des verres, applications et techniques.

Renseignements : Josip Hendekovic, European Science Foundation, 1 quai Lezay-Marnésia, 67080 Strasbourg Cedex. Tél. : 88.76.71.35. Fax : 88.36.69.87.

4^e JOURNÉES DE LA MATIÈRE CONDENSÉE

RENNES
31 août-2 septembre 1994

La Société Française de Physique organise ces journées sur 3 thèmes principaux :
- magnétisme, métaux, basses températures,
- matière mal organisée, physique statistique,
- surfaces et semi-conducteurs.

Renseignements : Jacques Lemaître, Groupe de matière condensée et matériaux, URA CNRS 804, Université Rennes I, 35042 Rennes Cedex. Fax : 99.28.67.17.

DOWNSTREAM PROCESSING/SEPARATION OF BIOLOGICAL MOLECULES

CAMBRIDGE (Grande-Bretagne)
5-8 septembre 1994

Renseignements : G. Subramanian, 60B Jubilee Road, Littlebourne, Canterbury, Kent CT3 1TP, Grande-Bretagne. Tél./Fax : +44 (227) 720819.

SÉCURITÉ INCENDIE - SANS HALON ?

ZURICH (Suisse)
7-9 septembre 1994

La CFPA-Europe (Confederation of Fire Protection Associations Europe) a décidé d'organiser avec la NFPA (National Fire Protection Association) des États-Unis, une conférence montrant des solutions proposées et des voies déjà tracées dans le but de remplacer les halons tout en maintenant la sécurité. Il s'agira d'un symposium dans lequel de praticien trouvera des réponses à ses problèmes.

Langues utilisées : allemand, anglais, français, avec la traduction simultanée.

Renseignements : Service de Prévention d'Incendie (SPI), Nüscherstrasse 45, CH-8001 Zurich, Suisse. Tél. : +41 01 217 43 33. Fax : +41 01 211 70 30.

THEORETICAL MODELS OF CHEMICAL REACTIVITY

SAN FELIU DE GUIXOLS (Espagne)
8-13 septembre 1994

Cette conférence est consacrée à la modélisation de la réactivité photochimique.

Renseignements : Josip Hendekovic, European Science Foundation, 1, quai Lezay-Marnésia, 67080 Strasbourg Cedex. Tél. : 88.76.71.35. Fax : 88.36.69.87.

PROPRIÉTÉS DE L'EAU ET DE LA VAPEUR

ORLANDO (FL, États-Unis)
11-16 septembre 1994

Cette 12^e conférence internationale est organisée par l'American Society of Mechanical Engineers (ASME).

Renseignements : James C. Bellows, Westinghouse Electric Corporation, The Quadrangle MC 200, Orlando, Florida 32826-2399, États-Unis.

INTERNATIONAL PERSPECTIVES IN GLYCOBIOLOGY

OXFORD (Grande-Bretagne)
12-14 septembre 1994

Renseignements : Sharon Bridgeman, CPD Centre, University of Oxford, 1 Wellington Square, Oxford, OX1 2JA, Grande-Bretagne. Tél. : +44 (865) 270286. Fax : +44 (865) 270284.

INSA LABO

VILLEURBANNE
13-15 septembre 1994

Le salon du matériel de laboratoire physico-chimique et des biotechnologies se déroulera au "Double mixte".

Pour la première fois sur Insa Labo, les trophées de l'innovation seront ouverts au matériel de laboratoire physico-chimique et aux biotechnologies.

Renseignements : Sepelcom-Insa Labo, BP 87, 69683 Chassieu Cedex. Tél. : 72.22.32.49. Fax : 72.22.32.18.

4th MEETING OF THE EUROPEAN SOCIETY OF SONOCHEMISTRY

BLANKENBERGHE (Belgique)
18-22 septembre 1994

Le programme du congrès couvrira tous les aspects de la sonochimie de la base fondamentale aux applications industrielles.

Renseignements : J. Reisse, Université Libre de Bruxelles (CP 165), avenue F.D. Roosevelt, 50, 1050 Bruxelles Belgique. Tél. : +32 (2) 650 20 48. Fax : +32 (2) 650 36 06.

PHARMACEUTICAL INGREDIENTS AND INTERMEDIATES

PARIS
19-21 septembre 1994

L'exposition et la conférence internationales se tiendront à la Porte de Versailles à Paris, tandis que la manifestation sœur "Pharmaceutical Ingredients Asia" (PhIA) aura lieu à Hong Kong, du 15 au 17 juin 1994.

Renseignements : Expoconsult, CPhI/PhIA, PO Box 200, 3600 AE Maarssen, Pays-Bas. Tél. : +31 (3465) 73777. Fax : +31 (3465) 73811.

ADDITIFS ET CHARGES FONCTIONNEL POUR THERMOPLASTIQUES ET CAOUTCHOUCS

BERLIN (Allemagne)
26-28 septembre 1994

Renseignements : Jennifer Winch, Intertech/Gorham Conferences, 411 US Route One, Portland, ME 04105, États-Unis. Tél. : +1 (207) 781-9800. Fax : +1 (207) 781-2150.

CENTENAIRE DE L'ENSC

LILLE
30 septembre-2 octobre 1994

L'école Nationale Supérieure de Chimie de Lille fêtera son centenaire en 1994, année du bicentenaire de la mort de Lavoisier et Année de la chimie.
- 30 septembre : colloque scientifique : La corrosion : toujours un défi pour les matériaux de l'an 2000.
- 1^{er} octobre : Journée de l'école et de son enseignement.
- 2 octobre : Journée des anciens en liaison avec les élèves.

Renseignements : ENSCL, BP 40,
59650 Villeneuve d'Ascq. Tél. :
20.43.48.97. Fax : 20.47.05.99.

CANADIAN CHEMICAL ENGINEERING CONFERENCE

CALGARY (Canada)
2-5 octobre 1994

«Going global» est le thème de
cette 44e Conférence de la
Canadian Society for Chemical
Engineering.

Renseignements : William Svrcek,
(responsable scientifique), FCIC. Tél. :
+1 (403) 220.5755. Fax : +1 (403)
282.3945 et Joe Ewanchyna
(informations générales), FCIC.
Tél. : +1 (403) 266.8379.
Fax : +1 (403) 266.8368.

EUROPLAST 94

PARIS
3-7 octobre 1994

Renseignements : Groupe Blenheim,
22-24, rue du Président Wilson, 92532
Levallois Perret Cedex.
Tél. : (1) 47.56.50.00. Fax : (1)
47.57.46.12.

POWER AND ENERGY 94 NUCTEC 94

NEW DELHI (Inde)
6-11 octobre 1994

Ce salon est spécialisé dans
toutes les sources d'énergies.

Renseignements : NPLM International,
56, rue Michel Ange, 75016 Paris.
Fax : (1) 40.71.04.34.

3RD INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERCRITICAL FLUIDS

STRASBOURG
17-19 octobre 1994

Renseignements : ISASF, Mlle Brionne,
ENSIC, BP 541, 54001 Nancy Cedex.
Tél. : 83.17.50.03. Fax : 83.35.08.11.

PRÉVENTION DES RISQUES ET SÉCURITÉ

LA ROCHELLE
17-21 octobre 1994

Ces 4^e Assises européennes sur
la prévention des risques et la

sécurité dans les conditions de
vie et de travail comporteront
trois nouveaux thèmes : la
protection contre les
rayonnements ionisants, le
transport des matières
dangereuses, les pratiques de
communication en santé et
sécurité du travail.

Renseignements : Brigitte Besson, Les
Entretiens de la Rochelle, Sem
Technoforum, 17071 La Rochelle
Cedex 9. Tél. : 46.34.58.00.
Fax : 46.44.04.07.

TECHNOLOGIE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA SÉCURITÉ AU TRAVAIL

GAND (Belgique)
18-21 octobre 1994

Le salon IFEST 94 est
accompagné de conférences
organisées en parallèle.

Renseignements : Flandres Expo,
Maaltekouter 1, B-9051 Gand,
Belgique. Tél. : +32 (9) 241 92 11.
Fax : +32 (9) 241 93 25.

CHEMICAL SPECIALITIES USA EXHIBITION

CHICAGO (IL, États-Unis)
19-20 octobre 1994

L'exposition sera accompagnée
d'un symposium (18-19 octobre
1994) consacré à la résolution de
problèmes avec les spécialités
chimiques.

Renseignements : Spring Innovations
Ltd, 216 Moss Lane, Bramhall,
Stockport, Cheshire SK7 1BD, Grande-
Bretagne. Tél. : +44 (61) 440 0082.
Fax : +44 (61) 440 9127.

JOURNÉE D'INFORMATION : L'ANALYSE DE DÉFAILLANCE DE PIÈCES PLASTIQUES ET COMPOSITES

NANTES
25 octobre 1994

Renseignement : M. Lemason, CETIM,
74, route de la Jonelière, 44076
Nantes Cedex 03. Tél. : 40.37.36.35.
Fax : 40.37.36.99.

Bourse de l'emploi

SFC

92154
DEA Chimie (Clermont-
Ferrand)

Ingénieur chimistes
ENIT (Tarbes)
Compétence en
chimie (matériaux
organiques) et en
production
automatisée
Accepterait toute
proposition
Lieu : France
Langues : anglais,
espagnol

92155
DESS de génie des
procédés de traitement
des eaux
Stage en potabilisa-
tion d'eau et optimi-
sation de pilotes en
ultra et micro

filtration
Cherche poste tech-
nique ou technico-
commercial (terrain
ou laboratoire)
Lieu : France et
étranger
Langue : anglais

Contact : E. Girard, SFC,
tél. : 43.25.20.78.

ABG

RICHARD Nathalie
Née le : 08.07.1964
Turbomeca, Bordes &
Ceremab-Master,
Bordeaux
Docteur Mathéma-
tiques Appliquées
Spécialisation en
mécanique des fluides
avec la mise en place
de modèles de turbu-
lence et de rotation ;
thermodynamique ;
recherche opération-
nelle ; algorithmique.

SCARDIGLI Corinne
Née le : 06.09.1968

IBM - Groupe Straté-
gies et Innovations,
Montpellier
Docteur Génie Indus-
triel

Ingénieur (ENSEEG
Grenoble) génie
industriel, produc-
tique, gestion de la
production et des
stocks, IAT, recherche
opérationnelle,
gestion de projet,
informatique indus-
trielle ; application
industrielle : étude et
mise en place d'un
concept de gestion de
production (l'impli-
sion) assurant
l'adéquation entre la
demande réelle et les
composants en stocks.

Renseignements :
Association Bernard
Gregory, 53, rue de
Turbigo, 75003 Paris.
Tél. : (1) 42.74.27.40.

Centre de Recherche Pharmaceutique
basé en Région Parisienne recrute

TECHNICIEN ANALYSTE ^{HF}

spécialisé en chromatographie

de formation DUT ou BTS chimie ou
mesures physiques avec une
expérience confirmée en chromato-
graphie phase liquide (CCM-HPLC)
pour l'analyse de nouveaux composés
organiques de synthèse.

Merci d'adresser lettre manuscrite CV + photo
et prétentions sous réf. 50586 à Media System,
6 impasse des Deux Cousins, 75849 Paris
Cedex 17 qui transmettra.

INTELEC

VANCOUVER (Canada)
30 octobre-3 novembre 1994

Cette 16^e Conférence internationale sur l'énergie dans les télécommunications est organisée par la Power Electronics Society de l'Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Renseignements : N. Tullius, Bell-Northern Research, Crks MS 042, PO Box 3511, Station C, Ottawa, ON K1Y 4H7 Canada. Fax : +1 (613) 763-7155.

ADVANCED TRANSPORTATION APPLICATIONS

AIX-LA-CHAPELLE (Allemagne)
31 octobre-4 novembre 1994

Conférences du 27^e Symposium international ISATA :
- International dedicated Conference on the motor vehicle and the environment - demands of the nineties and beyond.
- International dedicated Conference on supercars (advanced ultralight hybrids).
- Electric, hybrid and alternative fuel vehicles.

Renseignements : ISATA, 42, Lloyd Park Avenue Croydon, CR0 5SB, Grande-Bretagne.
Tél. : +44 (81) 681 3069.
Fax : +44 (81) 686 1490.

29^e COLLOQUE DU GFR

ORLÉANS
7-9 novembre 1994

La thixotropie : cinétique, réversibilité, transition structurale et dynamique d'un matériau sous écoulement est le thème du 29^e Colloque annuel du Groupe Français de Rhéologie. Le colloque est coorganisé avec la Société Belge de Rhéologie. Au cours de ce colloque sera remis le prix annuel du GFR, offert conjointement avec la société Rhéo. Date limite de dépôt des dossiers de candidature : 1^{er} septembre 1994 (à adresser à M. Djabourov, Prix GFR, ESPCI, 10, rue Vauquelin, 75231 Paris Cedex 5.

Renseignements : Secrétariat du colloque du GFR, CRMD-CNRS, 1B, rue de la Férollerie, 45071 Orléans Cedex 2.

PHYSIQUE 94

PARIS
7-10 novembre 1994

Cette manifestation est le rendez-vous annuel des chercheurs et des industriels de tous horizons qui font ou utilisent la physique. Elle a pour but de présenter (à la Porte de Versailles) les matériels les plus récents en instrumentation scientifique.

Il n'existe pas de manifestation comparable en Europe où associations scientifiques, centres de recherche, sociétés savantes, laboratoires publics et privés peuvent valoriser, dans le cadre d'un salon, leurs transferts de technologies, leurs développements et projets d'industrialisation. L'ambition affichée de Physique 94 est de réunir tous ces acteurs intracommunautaires et de les aider à faire connaître leur savoir-faire et valoriser leurs travaux de recherche.

Renseignements : SEPIC, 1, rue du Parc, 92593 Levallois-Perret Cedex.
Tél. : (1) 49.68.54.65. Fax : (1) 49.68.54.66.

KEMIA 94

HELSINKI (Finlande)
8-10 novembre 1994

Le congrès chimique finlandais et l'exposition Kemia 94 offrent une présentation complète de la chimie et présentent la situation actuelle et les développements futurs de l'industrie chimique. Le congrès regroupe des symposiums sur l'industrie chimique, la chimie analytique, la chimie environnementale, la science des aliments, la chimie clinique, les matériaux, l'industrie de la pâte et des papiers.

Renseignements : The Association of Finnish Chemical Societies, Ms. Eeva Kota-aho, Hietaniemenkatu 2, FIN-00100 Helsinki, Finland. Tél. : +358 408 022. Fax : +358 408 780.

IONIZING RADIATION AND POLYMERS

GUADELOUPE
14-19 novembre 1994

Ce symposium international, patronné en particulier par la SFC, est organisé conjointement par le Centre d'Étude de Saclay (CEA) et le GSI de Darmstadt. Principaux thèmes : procédés fondamentaux physiques et chimiques, modifications de surface et dans la masse, matériaux avancés, applications industrielles.

Renseignements : Alain Le Moël, DSM/DRECAM/SRSIM/LPI, CEA-CE Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex.
Tél. : (1) 69.08.54.85.
Fax : (1) 69.08.79.63.

EXPOPROTECTION

LE BOURGET
15-18 novembre 1994

Le 15^e Salon international de la protection et de la sécurité concerne aussi bien la protection des lieux et des biens que la protection de l'homme au travail. Les prix du concours de l'innovation Expoprotection seront remis le 17 novembre au cours de la soirée de la sécurité.

Renseignements : Blenheim Construction, 22-24, rue du Président Wilson, 92532 Levallois-Perret Cedex.
Tél. : (1) 47.56.50.00.
Fax : (1) 47.56.08.18.

SCIENCE ET TECHNOLOGIE DES POUDRES

LYON
22-24 novembre 1994

Le colloque est organisé par la section Centre-Est de la Société de Chimie Industrielle et l'Entreprise Rhône-Alpes International. Il se tiendra à l'École Normale Supérieure de Lyon. La manifestation est patronnée par l'AIMAT, l'Association Francophone des Enseignants de Pharmacie Galénique, l'ANRT, le Groupe Français des Céramiques, le GFPG, la SCI et la Société Française de Chimie.

Des communications peuvent être soumises autour des cinq thèmes suivants : synthèse de poudres à morphologie contrôlée, caractérisation, réactivité et physique des poudres, et les poudres et procédés.

Renseignements : Société de Chimie Industrielle, 28, rue Saint-Dominique, 75007 Paris.
Tél. : (1) 45.55.69.46.
Fax : (1) 45.55.40.33.

AQUATECH ASIA 94

SINGAPOUR (Singapour)
22-24 novembre 1994

L'ensemble des technologies de l'eau sont couvertes par l'exposition. Une conférence sur la gestion intégrale des eaux et des eaux résiduaires est prévue.

Renseignements : RAI, Europaplein, 1078 GZ Amsterdam, Pays-Bas.
Tél. : +31 (20) 549 12 12.
Fax : +31 (20) 646 44 69.

SITRA 94

ALÈS
22-25 novembre 1994

Les organisateurs du 5^e Salon de l'industrie, de la technologie et de la recherche appliquée prévoient des rencontres d'affaires préprogrammées pour les exposants.

Renseignements : SITRA CCIAA, rue Michelet, BP 49, 30101 Alès Cedex.
Tél. : 66.78.49.28. Fax : 66.78.49.00.

19^e JOURNÉES D'ORLÉANS

ORLÉANS
24-25 novembre 1994

Le colloque est organisé par le CNRS-Biocis, avec le concours de l'université d'Orléans. Thème : Antipsychotiques : nouvelles stratégies et perspectives thérapeutiques. Inscriptions : Mme Egnell, Journées d'Orléans, 72, rue de la Bretonnerie, 45000 Orléans.
Tél. : 38.77.02.71.

Renseignements scientifiques : M. Langlois. Tél. : (1) 46.83.57.36.

**CARBOHYDRATES
AS ORGANIC RAW
MATERIALS**

WAGENINGEN (Pays-Bas)
28-29 novembre 1994

Le 3e atelier international fera le point sur les nouvelles applications et transformations des hydrates de carbone, amidon, sucrose, lactose, inuline et pectine.

Renseignements : Carbohydrate Research Foundation, PO Box 96988, 2509 JJ La Haye, Pays-Bas. Tél. : +31 (70) 3540982. Fax : +31 (70) 3541851.

**CHEMICAL INSTRUMENT
LABORATORY**

JAKARTA (Indonésie)
29 novembre-3 décembre 1994

CIL 94 est la 7e exposition de génie chimique, des instruments de mesure et d'essai de la technologie analytique et de l'équipement.

Renseignements : Patrick Harrigan, Overseas Exhibition Services Ltd, 11 Manchester Square, Londres W1M 5AB, Grande-Bretagne. Tél. : +44 (71) 486 1951. Fax : +44 (71) 413 8277/486 8773.

**RÉSIDUS SOLIDES ET
LIQUIDES**

PUERTO DE LA CRUZ (Canaries, Espagne)
5-7 décembre 1994

Le 3e Congrès international de chimie de l'Asociacion Nacional de Químicos de España (ANQUE) est consacré aux résidus solides et liquides et à leur meilleure destination. Langues : anglais et espagnol.

Tarif préférentiel

Formulaire à renvoyer à la Société Française de Chimie

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

Renseignements : Asociacion Nacional de Quimica de España, C/Lagasca, 85-28006 Madrid, Espagne. Tél. : +34 (1) 4310703. Fax : +34 (1) 5765279.

**10^e INTERNATIONAL
ORGANIC SYNTHESIS**

BANGALORE (Inde)
11-16 décembre 1994

Renseignements : G. S. R. Subba Rao, ICOS-10, Department of Organic Chemistry, Indian Institute of Science, Bangalore 560 012, Inde.

EASTCHEM'95

VARSOVIE (Pologne)
18-20 janvier 1995

Après Prague (Tchécoslovaquie), la 3e édition de cette exposition internationale et la conférence sur les produits chimiques en Europe de l'Est et du Centre se tiendront en Pologne.

Renseignements : Expoconsult BV, Industrieweg 54, PO Box 200, 3600 AE Maarssen, Pays-Bas. Tél. : +31 (3465) 73777. Fax : +31 (3465) 73811.

**INTERNATIONAL
SYMPOSIUM ON
CHROMATOGRAPHY**

YOKOHAMA (Japon)
22-25 janvier 1995

Le symposium est organisé à l'occasion du 35e anniversaire du Groupe de recherche sur la chromatographie liquide du Japon.

Renseignements : Toshihiko Hanai, Int. Inst. Technol. Anal., 3-492 Matsumi, Éclairer 2-913, Kanagawaku, Yokohama 221 Japon. Fax : +81 (45) 402.6361.

EUROPROPE 95

PARIS
28-31 mars 1995

Le 4e salon des professionnels de la propreté se tiendra à la Porte de Versailles à Paris.

Renseignements : SEPI-Technoexpo, 8, rue de la Michodière, 75002 Paris. Tél. : (1) 47.42.92.56. Fax : (1) 49.24.03.41.

**5^e JOURNÉES D'ÉTUDE
SUR
L'HYDROTRAITEMENT**

VILLENEUVE D'ASCQ
5-6 avril 1995

Ces journées d'étude, qui ont débuté en 1981, se déroulent à Louvain-La-Neuve (Belgique).

En 1995, les thèmes porteront essentiellement sur :

- l'hydrodésulfuration poussée, l'hydrodésazotation,
- l'hydrodésaromatization de charges contenant du soufre et de l'azote,
- stabilité des catalyseurs et régénération,
- tendances nouvelles pour la formulation catalytique,
- modélisation des catalyseurs et des sites actifs.

Renseignements : J. Grimblot, Laboratoire de catalyse hétérogène et homogène, bât. C3, UST Lille, 59655 Villeneuve D'Ascq Cedex. Tél. : 20.43.45.38. Fax : 20.43.65.61.

**SYMPOSIUM JOSEF
LOSCHMIDT**

VIENNE (Autriche)
25-27 juin 1995

La Société Chimique autrichienne organise ce

symposium international à l'occasion du centenaire de la mort de Josef Loschmidt.

Renseignements : Gesellschaft Österreichischer Chemiker, 1010 Wien Nibelungengasse 11, Autriche. Tél. : +43 (222) 587 42 49. Fax : +43 (222) 587 89 66.

**TOXICOLOGY AND
CLINICAL CHEMISTRY OF
METALS**

VANCOUVER (BC, Canada)
10-13 juillet 1995

Renseignements : F.W. Sunderman, Jr, Departments of Laboratory Medicine and Pharmacology, University of Connecticut, Medical School, POB 1292, Farmington, Connecticut 06034-1292, États-Unis. Tél. : +1 (203) 792328. Fax : +1 (203) 6792154.

**10^e CONGRÈS
INTERNATIONAL DE
PHOTOSYNTHÈSE**

MONTPELLIER
20-25 août 1995

Le Congrès se déroulera au Corum. Il couvrira tous les aspects de la photosynthèse, depuis les aspects photophysiques primaires jusqu'aux aspects relatifs à l'environnement global. Tous les types d'organismes photosynthétiques seront abordés des bactéries aux plantes supérieures.

Des bourses en nombre restreint pourront être attribuées à des étudiants et chercheurs en cas de besoin justifié.

Renseignements : M. Paul Mathis, DBCM-SBE, CEA Saclay, bât. 532, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex. Fax : 69.08.87.17.

Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____

Je souhaite m'abonner à *L'Actualité Chimique* et bénéficier du tarif préférentiel réservé aux Membres de la SFC

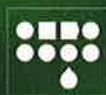
À _____ le _____ Signature

PARIS
Porte de Versailles

Du 28 au 31
mars 1995



Salon du Laboratoire



Salon
du Laboratoire



COMITÉ DES EXPOSITIONS DE PARIS

Société Responsable Fonction

Adresse

Je souhaite recevoir des informations : Visiteur Exposant

A retourner à : Comité des Expositions de Paris - 55, quai Alphonse Le Gallo - BP 317
92107 Boulogne Cedex France · Tél. : 33 (1) 49 09 60 88 · Fax : 33 (1) 49 09 60 03