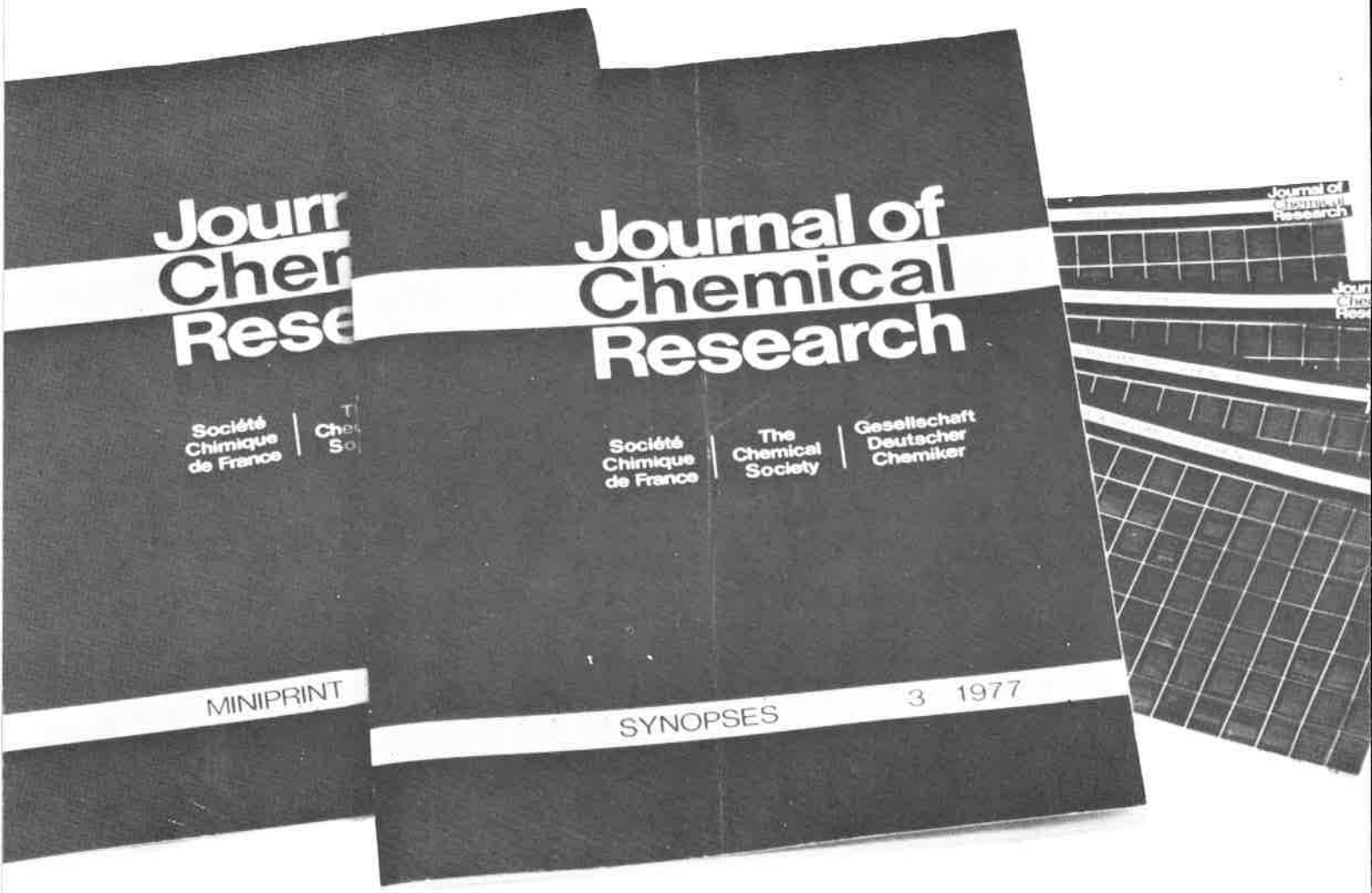
l'actualité chimique

publiée par
la **SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE FRANCE**
et
la **SOCIÉTÉ DE CHIMIE INDUSTRIELLE**

Février 1980

Une innovation dans l'édition scientifique

Journal of Chemical Research



Une nouvelle revue scientifique multinationale éditée conjointement par trois Sociétés savantes européennes de chimie.

Chaque mois, trois éditions paraissent simultanément, l'une réservée aux synopsis (abrégés), les deux autres à la publication in-extenso des textes, offerts soit en micro-impression, soit en micro-fiche.

Pour la France, tous renseignements (abonnements-publicité).

Société Chimique de France,
250, rue Saint-Jacques 75005 PARIS. Tél. : 354.20.78 - 325.20.78

l'actualité chimique

Directeur de la publication
Fernand Gallais
Président de la S.C.F.

Comité de Rédaction
Robert Guillaumont
Secrétaire général de la S.C.F.
Robert Guillet
Délégué général de la S.C.I.
Jean-Pierre Billon (S.C.F.)
Société Rhône-Poulenc
Alain Derome (S.C.I.)
Union des Industries Chimiques
Robert Collongues (S.C.F.)
E.N.S.C. Paris
Francis Fauvarque (S.C.I.)
Société Ugine-Kuhlmann
Jean-Paul Guetté (S.C.F.)
C.N.A.M. Paris
Paul Hagenmuller (S.C.F.)
Université de Bordeaux I
Henri Kagan (S.C.F.)
Université Paris-Sud
André Kepes (S.C.I.)
CdF Chimie
Philippe Pichat (S.C.I.)
CdF Chimie
François Pierrot (S.C.I.)
Société Rhône-Poulenc
Jean Ville (S.C.I.)
Société Nationale Elf-Aquitaine
Roger Viovy (S.C.F.)
E.N.S. St-Cloud.

Rédacteurs en chef
Lucien Ducret (S.C.F.)
Thérèse Chaudron (S.C.I.)

Rédaction
Secrétaire : Mme de Stœcklin
250, rue Saint-Jacques
75005 Paris
Tél. : 354.20.78 et 325.20.78

Publicité
Chef de publicité : G. Perreau
250, rue Saint-Jacques
75005 Paris
Tél. : 354.20.78 et 325.20.78

Abonnements 1980
(10 numéros)
Membres de la S.C.F. et de la S.C.I.
Les Membres des deux Sociétés bénéficient d'un prix d'abonnement préférentiel de 150 F à cette revue.
Non-membres
France, Europe,
Afrique du Nord : 250 F
Autres pays (envoi par avion) : 320 F
Chèques au nom de la S.C.F.
C.C.P. Paris 280-28

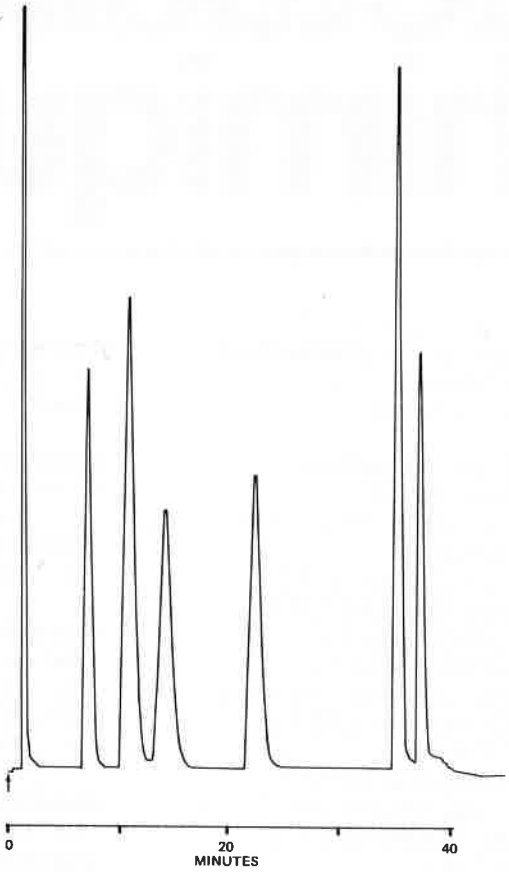
Changement d'adresse
Joindre la somme de 10 F.

Prix du numéro 25 F
En vente uniquement aux Sièges de la S.C.F. et de la S.C.I.

publiée
par la **SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE FRANCE**
et la **SOCIÉTÉ DE CHIMIE INDUSTRIELLE**
avec la participation
des Sociétés membres de la **FÉDÉRATION FRANÇAISE DE CHIMIE**

OJD DIFFUSION PUBLICITÉ 1978

le mélange à 3 solvants



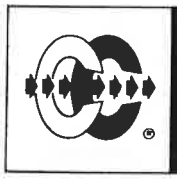
fait les séparations heureuses!

Nouveau système H.P.L.C

commandé par micro-processeur.

- La technique du gradient ternaire améliore sensiblement les séparations et augmente le choix des mélanges.
- Ce système est composé d'éléments modulaires indépendants s'adaptant aux impératifs analytiques et financiers. Il peut être utilisé en compact dans son ensemble.
- TRES BON RAPPORT PERFORMANCES/PRIX
- Quelle que soit la difficulté de vos séparations, il existe dans notre gamme, un instrument capable de les exécuter.

MICROMERITICS 7500



COULTRONICS

14, rue Eugene Legendre, MARGENCY 95580 ANDILLY
Tél. : 416.10.30 + - Telex : 697 427

M. ..... Lab. .....
Adresse ..... Tél. .....
Ville ..... Code Postal .....
Désire une documentation complète sur le système H.P.L.C. Micromeritics 7500 ☐
Désire la visite de l'Ingénieur Commercial ☐ ac

Sommaire — Février 1980, n° 2

7	**Faisons le point**	*Le stockage chimique de l'énergie solaire : les approches pluridisciplinaires du problème de la préparation de l'hydrogène à partir de l'eau* par Alec Moradpour
20	**La chimie et la vie**	*Dépistage d'agents mutagènes dans l'eau de mer* par James M. Parry
25	**Industrie**	*Mise en œuvre des électrodes volumiques dispersées en hydrométallurgie* par Michel Jaccaud
35	**Enseignement**	*L'enseignement de la thermodynamique dans les écoles d'ingénieurs : comment présenter le concept de dégradation de l'énergie ?* par Pierre Le Goff *Utilisation de techniques audio-visuelles et informatiques pour un enseignement autotutoriel de la distillation. Une expérience pédagogique* par Daniel Cabrol, Stefka Pastour, Robert Luft et Jean-Pierre Rabine *Enseignement universitaire. Un nouvel instrument au service des chimistes : le «multimédia»* par Maurice Gomel
48	**Bibliographie**	
50	**Appareils et produits**	
54	**Communiqués**	
57	**Informations scientifiques et techniques**	Compte rendu du symposium SPE-France de novembre 1979 sur la surface des produits plastiques Nouveaux procédés Hoechst pour le traitement des eaux
64	**La page du C.N.R.S.**	
	Fédération Française de Chimie	
	65 **G.A.M.S.**	Congrès de spectrométrie de masse fondamentale et appliquée : 9, 10, 11 avril 1980, à Dijon Journées d'étude sur la spectroscopie ESCA et Auger : 12 et 13 mai 1980, à Paris Prix du G.A.M.S. 1980
	66 **Société de Chimie Biologique**	Congrès d'automne de la Société de Chimie Biologique : 22-24 septembre 1980, à Villeneuve-d'Ascq
	67 **Société Chimique de France**	Division Chimie organique : Journée parisienne du jeudi 13 mars 1980 Division Enseignement de la chimie : Journées sur l'enseignement expérimental de la chimie : 7-9 mai 1980, à Montpellier Prix de la S.C.F. 1980 Prix de la Fondation Dina Surdin Nouveaux Membres Fiche de demande d'adhésion
	71 **Société de Chimie Industrielle**	Assemblée générale de la S.C.I. ISCRE 6, 6e symposium international sur le génie de la réaction chimique, 25-27 mars 1980, à Nice XIIe Conférence internationale des Arts Chimiques, décembre 1980, à Paris In memoriam : Georges Fleury Fédération Européenne du Génie Chimique Fédération Européenne de la Corrorion Sommaire de la revue Analusis
75	**Bulletin d'abonnement 1980**	
Couv. III	**Demandes et offres diverses**	
Couv. III	**Table des annonceurs**	

Publication analysée par Chemical Abstracts Service.

CHROMATOGRAPHIE à haute performance, une gamme COMPLETE d'appareils, de détecteurs, d'accessoires.

Le stockage chimique de l'énergie solaire : les approches pluridisciplinaires du problème de la préparation de l'hydrogène à partir de l'eau

par Alec Moradpour

(Laboratoire de synthèse asymétrique et Laboratoire de physique des solides, Université Paris-Sud, 91405 Orsay)*

I. Introduction

Quelle part va prendre à moyen terme (1985-2000) l'énergie solaire dans les bilans énergétiques ? Les évaluations actuelles varient d'une valeur estimée à 5 % des besoins en l'an 2000 (1), à la proposition d'un programme « tout solaire » (2).

Qu'elle soit marginale ou prépondérante, l'énergie solaire présente un vaste éventail de possibilités d'utilisation. Celles-ci comprennent aussi bien des techniques existantes, déjà commercialisées ou en cours d'optimisation, que des processus nouveaux dont les études ne se développent, pour le moment, que sur le plan fondamental.

Tous ces travaux peuvent être classés suivant plusieurs axes principaux qui se rattachent aux deux filières possibles :
- les filières **thermodynamiques** (3) avec concentration (centrales solaires) ou sans concentration (chauffage et réfrigération de l'habitat) ;
- les filières **quantiques** : la photosynthèse et la valorisation de la biomasse (4), la production d'électricité par les voies photovoltaïques ou photoélectrochimiques (5, 6), les conversions photochimiques (7-12).

L'énergie solaire, quoique abondante, est dispersée et surtout intermittente. Son utilisation à grande échelle implique donc l'existence supplémentaire des moyens de **stockage** de l'énergie, qui devront permettre, de plus, son transport à longue distance.

Différentes solutions partielles ont été proposées dans ce but (outre le stockage mécanique, par pompage d'eau vers des réservoirs en altitude).

Le stockage thermique est possible par échauffement d'un solide (cailloux), ou d'un fluide (l'eau) ou par un changement de phase (paraffines, sels hydratés, eutectiques métalliques, etc...) (13). L'utili-

* *L.A. au CNRS n° 040255 et n° 2.*

sation de réactions chimiques thermiques a été également préconisée (14), la chaleur étant ainsi stockée sous forme d'enthalpie de réaction et non plus comme chaleur sensible (ou latente).

Le stockage quantique sous forme de produits et sous-produits de la photosynthèse constitue une voie éprouvée (15). Les recherches dans ce domaine particulier sont parmi les plus immédiatement crédibles (16) en ce qui concerne l'utilisation de l'énergie solaire. Quelques systèmes chimiques modèles, basés sur des cycles composés d'une réaction photochimique endoénergétique associée à la réaction inverse, obtenue catalytiquement, ont également été étudiés (17). Ces systèmes restituent sous forme thermique l'énergie lumineuse absorbée au cours de l'étape photochimique des cycles.

Il est souhaitable qu'une solution plus générale soit définie : la préparation, à partir des deux filières thermiques et quantiques, d'un « combustible » à haut contenu énergétique. Celui-ci pourrait à terme prendre le relais des actuels combustibles fossiles.

L'hydrogène paraît être un bon candidat pour ce rôle (18-20). La préparation **directe** de l'hydrogène, à partir de l'eau, constitue donc une voie très attrayante pour la conversion et le stockage de l'énergie solaire.

Diverses solutions à ce problème ont été envisagées à partir de plusieurs disciplines distinctes : la thermochimie, la photoélectrochimie (21), la biologie et la biochimie de la photosynthèse, la chimie et la photochimie organométalliques. De nombreux résultats ont été obtenus, ces quelques dernières années, dans un domaine qui connaît actuellement un développement croissant.

Il nous paraît intéressant de décrire et de comparer les résultats publiés à l'issue de cette première phase de recherche. Nous présenterons, ci-dessous, dans une première partie, le rappel du principe et des limitations thermodynamiques des processus thermiques et photochimiques permettant d'obtenir de l'hydrogène (et de l'oxygène) à partir de l'eau. Puis, nous décrirons les principaux résultats expérimentaux ; enfin nous discuterons les différentes approches afin d'en souligner les limitations propres mais aussi les potentialités.

II. Les décompositions thermiques et photoniques de l'eau : aspects thermodynamiques des processus

L'eau peut être décomposée thermiquement en hydrogène et en oxygène. Des taux de décomposition notables ne sont obtenus que pour des températures extrêmement élevées : au-dessus de 2 500 °C (sous de faibles pressions : < 0,1 atm) (22). Une solution au problème de la séparation des gaz en présence dans ces conditions, réalisable par diffusion à travers des membranes, devrait cependant permettre des décompositions thermiques directes à l'aide de fours solaires (entre 2 000 et 3 000 °C) (23). De même, l'eau peut être décomposée par irradiation à l'aide de rayonnements UV de très courte longueur d'onde : $\lambda < 185$ nm (24, 25).

Naturellement, la réalisation de cette réaction à des températures techniquement plus faciles à envisager (< 1 000 °C) et/ou l'utilisation du spectre solaire disponible (la fraction visible, de 400 à 800 nm) font appel à des processus moins directs : les cycles thermochimiques et les « couplages » photochimiques aux réactions d'oxydoréduction de l'eau.

II. 1. Les cycles thermochimiques de décomposition de l'eau

Les cycles thermochimiques ont pour but de produire, sous la seule action de la chaleur, à des températures choisies à l'avance, de l'hydrogène et de l'oxygène à partir de l'eau. Ils se composent d'un ensemble de réactions chimiques dont certaines prélèvent de la chaleur à une source chaude (T_c) (étapes endothermiques) et d'autres en rejettent une partie à une source froide (T_f) (étapes exothermiques). La somme de ces réactions partielles doit se traduire par la réaction de décomposition de l'eau. Ces cycles sont donc formellement équivalents à des machines thermiques qui produiraient du travail sous forme d'énergie chimique utilisable. Les rendements théoriques maximaux que l'on peut en attendre sont donc, au plus, égaux aux rendements thermiques de Carnot :

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

Le schéma des échanges d'énergie du processus (figure 1) établit, de plus, l'équivalence des rendements théoriques de la voie thermochimique (figurée pour le moment par une « boîte noire ») et de la voie électrolytique de production d'hydrogène, sous réserve d'utiliser les mêmes sources de chaleur (26, 27).

Les conditions thermodynamiques qui régissent les échanges thermiques au cours de ces processus cycliques sont :

- la somme des enthalpies standard de réaction des étapes partielles

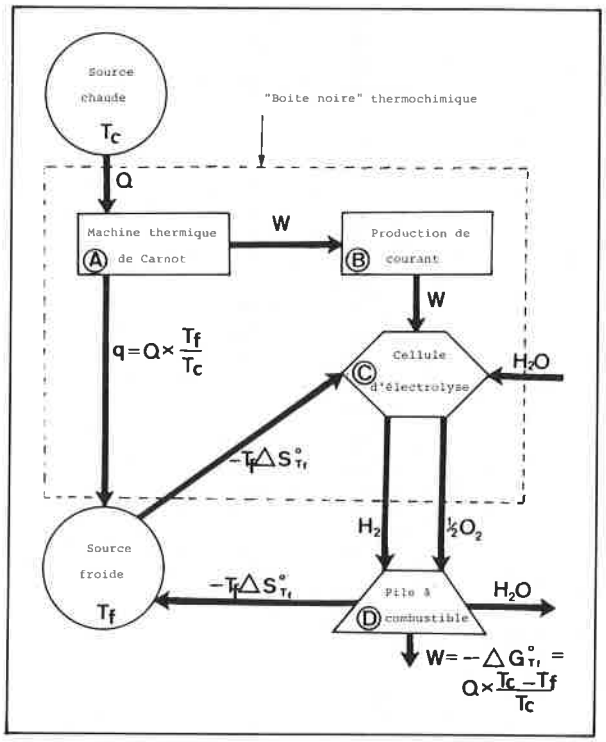


Figure 1. Schéma de production thermochimique et électrochimique d'hydrogène et d'oxygène à partir de l'eau.

L'ensemble des trois éléments fonctionnant réversiblement A + B + C peut être remplacé fictivement par une « boîte noire » thermochimique. Les deux processus, thermodynamiquement équivalents (ΔG^0 et ΔS^0 sont les grandeurs standard, à la température indiquée, pour la réaction de H_2 sur O_2) traduisent en liaison avec D un échange de chaleur entre T_c et T_f accompagné de la transformation d'une partie de celle-ci en électricité.

(ΔH_i^0) devra être au moins égale à l'enthalpie standard de formation de l'eau :

($\Delta H^0_{298} = 68{,}32$ kcal.mole^{-1})

- la valeur des enthalpies libres standard ($\Delta G_i^0 = \Delta H_i^0 - T\Delta S_i^0$),

aux températures des réactions, devra être négative ou proche de zéro ; ce résultat pouvant, *a priori*, être atteint (l'écart maximal des températures disponibles étant préalablement fixé) par un choix convenable du nombre des réactions composant le cycle, et du signe et de la valeur de la variation d'enthalpie qui les accompagne.

Le rendement thermodynamique maximal ne sera plus alors déterminé par les seules températures limites de fonctionnement, mais aussi par le nombre d'étapes qui composent le cycle thermochimique. Ainsi, entre les deux températures extrêmes $T_c = 2\,500$ °C et $Tf = 298$ °C, le rendement thermique de Carnot est : $\eta_{th} = 0{,}702$. Dans le cas d'un cycle thermochimique hypothétique (26) formé de quatre réactions (dont deux sont endothermiques) ce chiffre ne sera plus que $\eta_{th} = 0{,}602$. Une divergence existe donc, sur ce plan, entre un moteur thermique idéal et un cycle thermochimique. Seul le premier peut approcher, en principe, la valeur maximale du rendement de Carnot. Une analyse thermodynamique détaillée (28) a montré que les cycles comprenant quatre étapes endothermiques constitueraient une optimisation raisonnable entre la recherche de rendements élevés et la relative complexité des cycles chimiques à nombre d'étapes importants.

II. 2. Le « couplage » photochimique aux réactions d'oxydo-réduction de l'eau

La dissociation thermochimique de l'eau s'effectue par le seul apport d'énergie thermique. La décomposition à température ambiante nécessitera, quant à elle, un apport par le rayonnement lumineux d'une énergie libre au moins égal à l'enthalpie libre standard de formation de l'eau :

$$[\Delta G^0_{298}]_{H_2O} = -56{,}70 \text{ kcal.mole}^{-1}.$$

Quelle sera alors la part maximale de l'énergie lumineuse que l'on puisse espérer stocker par absorption du rayonnement incident ? En d'autres termes quelle sera l'énergie lumineuse minimale nécessaire pour effectuer la réaction fortement endoénergétique de décomposition de l'eau ? Nous allons d'abord, pour répondre à cette question, définir les rendements théoriques maximaux de ces conversions d'énergie lumineuse en énergie chimique.

Le problème des limitations thermodynamiques des rendements de conversion de l'énergie lumineuse a été examiné par de nombreux auteurs (29-36). Nous rappellerons ici les résultats des travaux, développés par R. Ross (29-32), qui sont les plus directement utilisables (*). Le but poursuivi dans cette approche est de calculer d'abord les variations de potentiel chimique d'un système soumis à une irradiation (figure 2). En l'absence de toute réaction de désactivation autre que le retour radiatif vers l'état fondamental C, le système irradié (**) se trouve dans un état stationnaire défini par : $K_+C = K_-C^*$.

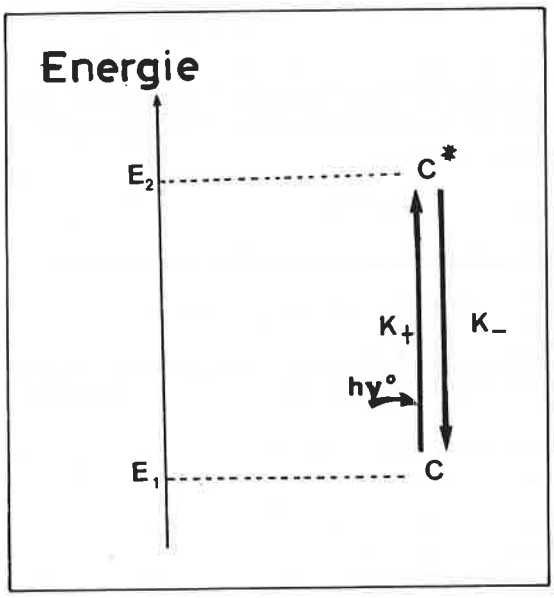


Figure 2. Niveaux d'énergie d'un système photochimique sous irradiation.

La variation du potentiel chimique a pour valeur ΔG^{max} :

$$\Delta G^{max} = \Delta G^0 + RT \ln (C^*/C) \qquad \text{(I)}$$

ΔG^0 étant la variation de potentiel chimique standard correspondante :

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \text{(***)} \qquad \text{(II)}$$

Le potentiel chimique de l'état excité s'exprime en fonction de la fraction C^*/C et donc de la population de l'état excité. Sa valeur dépend des propriétés intrinsèques du chromophore, mais aussi de l'intensité d'éclairement. Cependant, tel qu'il a été obtenu, ΔG^{max} n'est pas un potentiel utilisable et ne représente pas une quantité d'énergie que l'on puisse stocker. En présence d'une réaction chimique, la fraction de molécules à l'état excité décroîtra, entraînant une chute de la valeur de ce potentiel chimique. Avant de préciser ces pertes d'énergies inévitables, inhérentes au processus de conversion, nous examinerons ΔG^0 :
en effet, si l'on substitue dans le schéma ci-dessus (figure 2) les états C et C* par des états qui correspondent formellement à des réactions d'échange d'électrons :

$$C^+ + e^- \rightleftarrows C \quad \text{et} \quad C^+ + e^- \rightleftarrows C^*$$
$$(\text{ou} \quad C + e^- \rightleftarrows C^- \quad \text{et} \quad C^* + e^- \rightleftarrows C^-)$$

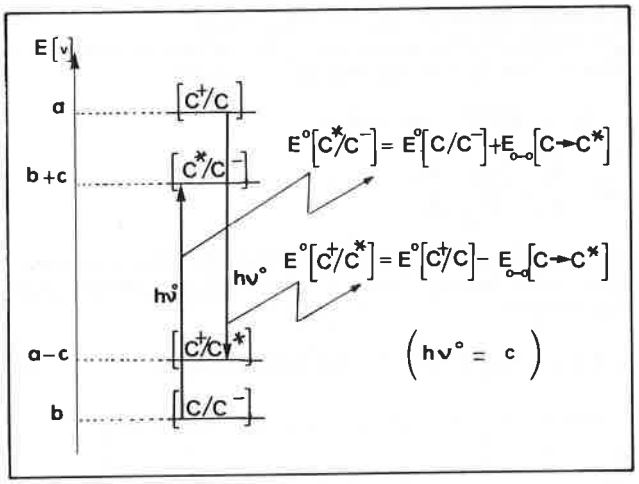


Figure 3. Schéma des variations des propriétés redox à l'état excité (39).

$E_{0-0}(C \rightarrow C^*)$ est le potentiel monoélectronique correspondant à l'énergie de la transition (zéro/zéro) $C \rightarrow C^*$.

(*) *Les travaux antérieurs définissaient un rendement classique de type Carnot (33, 37, 38). Celui-ci était calculé non pas en fonction de la température vraie de la surface solaire ($T = 5\,800$ K) mais à partir d'une « température effective ». Cette température T_s, plus basse, est calculée en tenant compte de l'angle solide sous lequel est vu le soleil ($6{,}8.10^{-5}$ stéradians) qui rayonne sur toute la sphère. Ainsi, pour un rayonnement de $\lambda = 682$ nm (correspondant à 1,8 eV) $T_s \simeq 1\,350$ K, ce qui autorise un rendement maximal de conversion, à cette longueur d'onde, de $\eta_{th} = 0{,}78$.*
(**) *Nous supposerons dans la suite de ce calcul que le rayonnement incident est ici monochromatique. Sa fréquence est ν^0 et son énergie E_s sera désignée comme* l'énergie seuil.
(***) *Si l'on néglige les variations d'entropie qui accompagnent le passage de l'état fondamental C (d'énergie E_1) à l'état excité C* (d'énergie E_2), alors*

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 = E_2 - E_1 = Nh\nu^0 = E_s$$

on peut (en ayant choisi un couple électrochimique de référence : $H^+ / \frac{1}{2} H_2$) expliciter le contenu énergétique de ΔG^0 par la différence des potentiels redox standard des couples électrochimiques correspondants : C^-/C et C^+/C^* (ou C/C^- et C^*/C^-) (figure 3).

Les valeurs des potentiels redox standard à l'état excité peuvent donc être calculées, avec une bonne approximation, à partir de celles de l'état fondamental. Il suffit pour cela de tenir compte de l'enthalpie (énergie d'excitation) nécessaire à atteindre les états excités (39).

L'exhaltation des valeurs du potentiel redox à l'état excité permet donc d'effectuer, sous éclairement, des réactions électrochimiques dans le sens inverse des potentiels chimiques. De telles réactions endoénergétiques, entre un donneur D et un accepteur A d'électrons, qui n'ont pas lieu spontanément dans le noir, sont rendues possibles grâce au couplage à un catalyseur C irradié (schéma 1)

$$D + A \not\longrightarrow A^- + D^+ + \Delta G_{st}$$

$$C \xrightarrow{h\nu} C^*$$

$$\begin{cases} D + C^* \longrightarrow D^+ + C^- \\ C^- + A \longrightarrow A^- + C \end{cases}$$

$$D + A \xrightleftharpoons{h\nu} A^- + D^+ + \Delta G_{st} \qquad \text{(III)}$$

Schéma 1. Couplage d'un processus électrochimique endoénergétique à un colorant C irradié. A l'arrêt de l'éclairement, le système retrouve l'état initial : D + A.

La variation d'énergie libre ΔG_{st} qui accompagne cette réaction électrochimique (figure 4) : $\Delta G_{st} = F(E_D - E_A)$
(F est la constante de Faraday, E_D et E_A sont les potentiels redox qui caractérisent D et A) sera exprimée par (31) (figure 4) :

$$F(E_D - E_A) = \Delta G^{max} - RT \ln Kp$$

$$\text{avec } Kp = \frac{K_{1+} . K_{2+} . K_{3+}}{K_{1-} . K_{2-} . K_{3-}}$$

Pour un processus « idéal », c'est-à-dire libre de toutes contraintes cinétiques, cette énergie libre aura sa valeur optimale pour $Kp = \Delta G^{max}/RT$:

$$\Delta G_{st} = F(E_D - E_A) = \Delta G^{max} - RT \ln (\Delta G^{max}/RT) \qquad \text{(IV)}$$

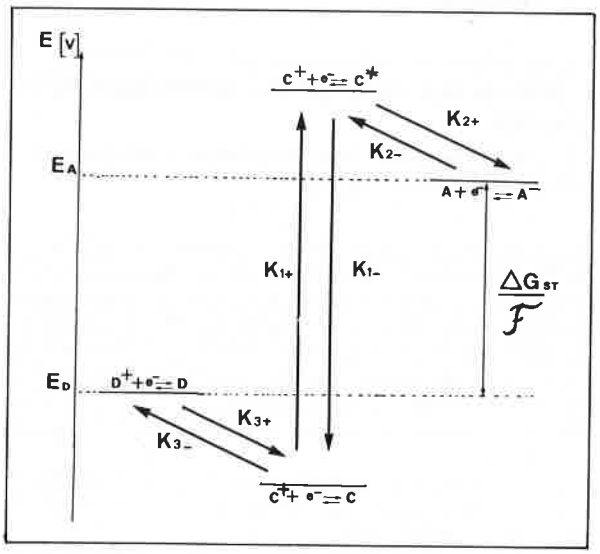


Figure 4. Les potentiels redox associés aux réactions électrochimiques du schéma 1.
Les étapes ayant lieu dans le sens des potentiels décroissants (K_{3+}, K_{2+}) constituent des « pertes » inévitables du processus.

Cette valeur représente la quantité maximale d'énergie libre que l'on peut espérer « extraire » du système (31). Le rapport $\eta_{th} = \frac{\Delta G_{st}}{\Delta G^0}$ (voir la note en bas de page 9) représente donc la limite thermodynamique imposée aux rendements maximum de ces conversions d'énergie lumineuse en énergie chimique.
Dans le cas de la réaction de décomposition de l'eau, cette énergie libre ΔG_{st} devra donc être au moins égale à :

$$[\Delta G^0_{298}]_{H_2O} = 56{,}7 \text{ kcal.mole}^{-1},$$

qui correspond au potentiel normal :

$$E^0 = E_D - E_A = 1{,}23 \text{ V (par électron) (*)}.$$

Des relations (I) et (IV) on peut alors tirer (**) les valeurs de

$$\Delta G^{max} = 1{,}33 \text{ eV} \quad \text{et} \quad \Delta G^0 = 1{,}80 \text{ eV } (\lambda = 690 \text{ nm}).$$

La décomposition photochimique de l'eau nécessite donc un rayonnement dont l'énergie minimale (E_S) correspond à $\lambda = 690$ nm. Bien entendu, la réaction s'accompagnant de l'échange de deux électrons par molécule d'eau, *deux* photons de cette énergie minimale seront au moins nécessaires.

La fraction maximale de l'énergie lumineuse que l'on aurait ainsi stockée sera ici de $\eta_{th} = \frac{1{,}23}{1{,}80} = 0{,}68$.

Ce rendement thermodynamique $\eta_{th} = \frac{\Delta G_{st}}{\Delta G^0}$ a été calculé pour un système photochimique *idéal*, en utilisant un rayonnement mono-

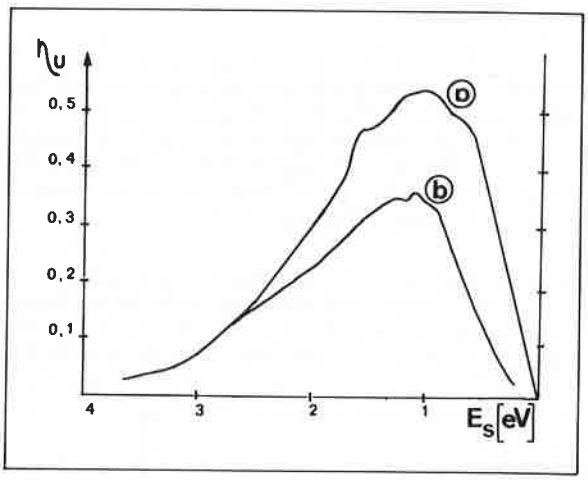


Figure 5. Fraction utile du rayonnement solaire (rayonnement journalier moyenné) en fonction de l'énergie seuil E_S.
(*a*) Pour un chromophore idéal :

$$\varepsilon = 1 \ (E > E_S); \qquad \varepsilon = 0 \ (E < E_S)$$

(*b*) Pour un chromophore à bande d'absorption de type gaussien avec :

$$D_{max} = 2; \quad \varepsilon_{1/2} = 0{,}25 \text{ eV}; \quad E_S = E_{max} - 0{,}4 \text{ eV}$$

(D_{max} et E_{max} désignent la densité optique et l'énergie correspondantes au maximum d'absorption et $\varepsilon_{1/2}$ la largeur de bande à mi-hauteur.)

(*) *Nous ne faisons, pour le moment, aucune hypothèse sur le mécanisme de cette réaction. Nous admettrons seulement que chaque acte photochimique n'est lié, au plus, qu'à l'échange d'un seul électron.*
(**) *Le rapport C*/C choisi ici est égal à 10^{-8} ; cette valeur correspond à une estimation de la population, à l'état excité, de molécules dont le chromophore serait comparable à celui de la chlorophylle. L'intensité du flux lumineux utilisé serait voisine de celle du rayonnement solaire dans la région spectrale d'absorption de ce même chromophore hypothétique (31).*

chromatique dont l'énergie correspond à l'énergie seuil E_S (note page 9).
Si l'on se réfère au rayonnement solaire, la fraction utile η_u sera celle dont l'énergie est au moins égale à E_S. Cette fraction η_u a été calculée (40) en fonction des diverses valeurs de l'énergie seuil E_S (figure 5).
Le rendement théorique maximal de conversion de l'énergie solaire sera donc : $\eta_{tot.} = \eta_{th} \times \eta_u$.
Pour la réaction hypothétique de décomposition de l'eau, $E_S = 1{,}80$ eV et donc $\eta_u = 0{,}35$ (figure 5*a*) :

$$\eta_{tot.} = 0{,}68 \times 0{,}35 = 0{,}24$$

Si l'on considère un chromophore (plus réel) possédant une bande d'absorption de type gaussien (figure 5*b*) : η_u serait de 0,28 et $\eta_{tot.} = 0{,}19$.

Dans le cas de processus, non plus idéaux, mais réels, d'autres limitations interviennent. Ces limitations, que l'on peut représenter par un facteur η_{al} sont plus « ajustables » que les rendements maximaux η_{th} et η_u ci-dessus. Elles englobent notamment les problèmes liés à l'optimisation cinétique des réactions utilisées (les rendements quantiques par exemple) et aux rendements de récupération des produits formés. Le rendement maximal final s'exprimera donc par :

$$\eta_f = \eta_{th} \times \eta_u \times \eta_a$$

Dans le cas de la photosynthèse $\eta_{th} = 0{,}70$ et $\eta_u = 0{,}28$ d'où $\eta_{tot.} = 0{,}20$. Le rendement maximal η_f, obtenu dans des conditions optimales (en laboratoire), atteint quelques unités pour cent. Les rendements effectifs moyens sont de l'ordre de 0,1 %. Bien entendu, cette faible efficacité de conversion de la photosynthèse se traduit néanmoins par la production d'une « biomasse » correspondant au stockage d'une énergie approchant 3.10^{21} J (par année) ; la consommation mondiale d'énergie, pendant la même période, étant estimée à 3.10^{20} J (en 1970) (16).

III. Les décompositions thermiques de l'eau

III. 1. Les cycles thermochimiques

Les réactions chimiques qui constituent un cycle thermochimique peuvent être classées en trois catégories, suivant leur finalité : (i) réactions mettant en jeu l'eau, (ii) réactions de formation des produits désirés, (iii) réactions de régénération des réactifs.

Un nombre important de réactions peut être construit et certaines de leurs performances évaluées, à l'aide de programmes sur ordinateur. Ces calculs s'effectuent à partir d'un certain nombre d'éléments, des composés chimiques qui en dérivent, et des données thermodynamiques disponibles. L'introduction supplémentaire de critères de nature thermodynamique et/ou chimique permet alors de trier les réactions obtenues par l'ordinateur (41, 42). Puis, pour chaque famille d'éléments, les meilleurs cycles, à l'issue de ce premier tri, peuvent être étudiés en laboratoire (43).

Ainsi, par exemple, la séquence des quatre réactions suivantes peut constituer un cycle thermochimique (44) :

$$H_2O + Cl_2 \longrightarrow 2\,HCl + 1/2\,O_2\nearrow \qquad (700\ °C)$$

$$2\,VCl_2 + 2\,HCl \longrightarrow 2\,VCl_3 + H_2\nearrow \qquad (25\ °C)$$

$$4\,VCl_3 \longrightarrow 2\,VCl_4 + 2\,VCl_2 \qquad (700\ °C)$$

$$2\,VCl_4 \longrightarrow 2\,VCl_3 + Cl_2 \qquad (25\ °C)$$

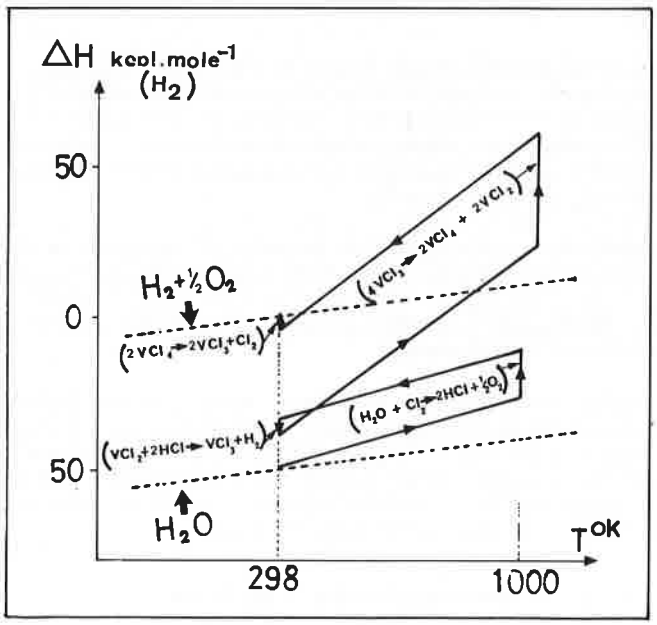


Figure 6. Diagramme enthalpie/température pour le cycle thermochimique « chlorure de vanadium » (44).

Le fonctionnement de ce cycle est également schématisé sur un diagramme enthalpie/température (figure 6).

Une trentaine de tels cycles thermochimiques ont été proposés ; ils ont été classés en cinq groupes distincts (45) suivant les principaux types de réactions mises en jeu. Le cinquième groupe rassemble plus particulièrement les cycles « hybrides » que nous examinerons ci-dessous.

III. 2. Les cycles « hybrides »

L'énergie nécessaire à la mise en œuvre des cycles « hybrides » n'est pas fournie exclusivement sous forme thermique. Un appoint d'énergie peut être utilisé sous forme d'énergie électrique et/ou lumineuse.
Des cycles qui associent une étape photochimique à une étape thermique ont été étudiés. Ainsi, l'irradiation d'ions argent, inclus dans des matrices zéolithiques : Ag^+ZO^- (ZO^- représentant le réseau de zéolithe), se traduit par la formation d'argent métallique et un dégagement d'oxygène :

$$2\,Ag^+ + 2\,ZO^- + H_2O \xrightarrow{h\nu} 2\,Ag_n^0 + 2\,ZOH + 1/2\,O_2 \qquad \textbf{(a)}$$

Le chauffage de la zéolithe, qui contient alors de l'argent finement divisé (Ag_n^0 ; $n \leqslant 6$), s'accompagne de dégagement d'hydrogène (46)

$$2\,Ag_n^0 + 2n\,ZOH \xrightarrow[\Delta]{} 2n\,Ag^+ + 2n\,ZO^- + n\,H_2 \qquad \textbf{(b)}$$

La réversibilité chimique de cette dernière étape (**b**) n'est pas parfaite (47) ; néanmoins, l'ensemble des deux réactions constitue bien un cycle *thermophotochimique* de décomposition de l'eau.

D'autres réactions thermiques et photochimiques du Cr(III) (48) ou du Ti(III) (49) inclus dans des zéolithes ont également été présentées comme point de départ de cycles hybrides possibles.

Une séquence de réactions, qui combine une étape photochimique **c** :

$$2\,Fe^{2+} + I_3^- \longrightarrow 2\,Fe^{3+} + 3\,I^- \qquad \textbf{(c)}$$

à l'électrolyse (**d, e**) des produits formés photochimiquement, a été publiée (50) :

$$2\,Fe^{3+} + H_2O \xrightarrow{(e^-)} 2\,Fe^{2+} + 2\,H^+ + 1/2\,O_2 \qquad \textbf{(d)}$$

$$2\,H^+ + 2\,I^- \xrightarrow{(e^-)} H_2 + I_2 \qquad \textbf{(e)}$$

L'intérêt de ce cycle *photothermoélectrique* (le courant électrique utilisé pour les réactions **d** et **e** est obtenu grâce à des thermocouples) réside dans la plus faible valeur des potentiels d'équilibre des étapes électrolytiques ($\Delta E^0 \simeq 1{,}0$ V) par rapport à celui de l'électrolyse de l'eau.

IV. Les décompositions « quantiques » de l'eau

L'étape fondamentale des processus quantiques, dont nous avons examiné ci-dessus quelques aspects sur le plan des limitations thermodynamiques, réside dans la réalisation d'une réaction électrochimique endoénergétique **f** :

$$R + O \xrightarrow{h\nu(C)} R^- + O^+ \qquad \textbf{(f)}$$

Le pouvoir réducteur ($E^0(R/R^-)$) ou oxydant ($E^0(O^+/O)$) ainsi créé devra être utilisé en empruntant des chemins réactionnels privilégiés : les processus de réduction *diélectronique* **g** et d'oxydation *tétraélectronique* **h** de l'eau :

$$2\,H^+ + 2e^- \rightleftarrows H_2 \quad (E^0 = 0\ V) \qquad \textbf{(g)}$$

$$O_2 + 4\,H^+ + 4e^- \rightleftarrows 2\,H_2O \quad (E^0 = +\,1{,}23\ V) \qquad \textbf{(h)}$$

La somme de ces deux demi-réactions traduit la relation stœchiométrique habituelle :

$$H_2O \longrightarrow H_2 + 1/2\,O_2 \quad (\Delta G^0 = 1{,}23\ eV)$$

Les autres réactions redox possibles de l'eau sont énergétiquement moins intéressantes, car elles sont liées à la formation d'intermédiaires réactionnels défavorables.
Ce sont d'une part, les échanges diélectroniques avec formation d'eau oxygénée :

$$H_2O_2 + 2\,H^+ + 2e^- \rightleftarrows 2\,H_2O \quad (E^0 = +\,1{,}77\ V)$$

et d'autre part, les réactions monoélectroniques, dont les intermédiaires radicalaires H• et OH• sont les plus « hauts en énergie » :

$$H^+ + e^- \rightleftarrows H^\bullet \quad (E^0 = -\,2{,}86\ V)$$

$$OH^\bullet + H^+ + e^- \rightleftarrows H_2O \quad (E^0 = +\,2{,}74\ V)$$

Les systèmes naturels et les dispositifs chimiques modèles, que nous allons examiner, permettent par des mécanismes qui leur sont propres, la réalisation « à moindre énergie » de deux demi-étapes complémentaires de formation d'hydrogène et d'oxygène à partir de l'eau.

IV. 1. La « biophotolyse » de l'eau

La plupart des organismes photosynthétiques possèdent dans leur système enzymatique des hydrogénases et/ou des nitrogénases. La présence des premières témoignerait, selon certaines hypothèses sur le développement de la vie sur terre, de l'existence passée d'une atmosphère fortement réductrice (CH_4, NH_3, CO_2, H_2S, HCN, H_2) et des formes de vies primitives (aptes à se servir et à produire de l'hydrogène) qui s'y seraient développées. La production d'hydrogène par des organismes cellulaires procaryotes (bactéries photosynthétiques, algues bleu-vertes) ou eucaryotes (algues vertes) n'est maintenant liée qu'à des voies métaboliques secondaires. On peut cependant orienter ces appareils photosynthétiques naturels (figure 7) vers cette réaction.

Utilisation d'organismes photosynthétiques naturels

- les bactéries photosynthétiques ont la particularité de ne posséder qu'un seul photosystème (PS I) et sont donc incapables de se servir de l'eau comme source d'électrons ; elles dépendent, pour leur survie, d'une source d'électron externe (produits organiques, H_2S par exemple). La formation d'hydrogène par ces organismes monocellulaires est une réaction *nitrogénasique* (51). Elle n'est observable qu'en privation d'azote et en atmosphère strictement exempte d'oxygène.
- les algues vertes qui possèdent un appareil photosynthétique complet (PS I et PS II) peuvent également être amenés à produire de l'hydrogène (52). Cette activité, due à une hydrogénase, n'est observable qu'en atmosphère inerte : l'oxygène (produit par le PS II) étant fortement inhibiteur.

La « *biophotolyse* » de l'eau (53) : la production simultanée d'hydrogène et d'oxygène, nécessite la protection des systèmes enzymatiques (hydrogénase et nitrogénase) vis-à-vis de l'oxygène.

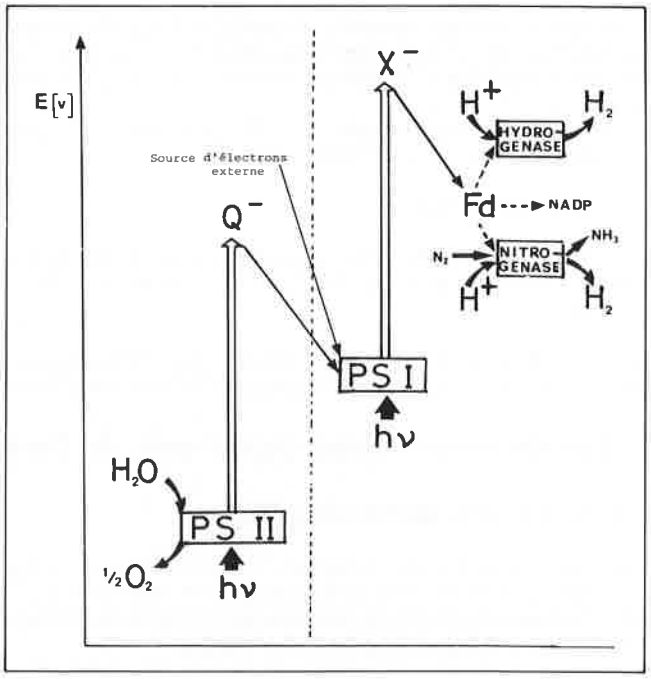


Figure 7. Schéma en « Z » de la photosynthèse.
Q^- et X^- représentent respectivement les accepteurs d'électrons primaires du photosystème II (PS II) et du photosystème I (PS I) ; Fd (ferrédoxime) est l'intermédiaire final de la chaîne des transporteurs d'électrons.
Certains microorganismes photosynthétiques (bactéries photosynthétiques, hétérocystes des algues bleu-vertes) ne possèdent que l'un des deux photosystèmes (PS I) et dépendent d'une source d'électron autre que l'eau.

Une solution possible à ce problème existe dans le cas d'associations symbiotiques d'algues bleu-vertes (54, 55) ou de plantes (56) avec des cellules hôtes fixatrices d'azote (dépourvues de PS II). Un mécanisme de protection de la nitrogénase des hétérocystes existe et permet un fonctionnement anaérobie de ces symbions fixateur d'azote. Il est, dans ce cas, possible d'observer une biophotolyse de l'eau (54-56) ; mais, toujours pour des cellules « affamées » strictement privées d'azote.

Les systèmes modèles obtenus à partir de constituants cellulaires
L'utilisation de fragments d'unités photosynthétiques présente les avantages liés à l'existence de centres photoactifs déjà associés à des barrières membranaires et à des chaînes de transporteurs d'électrons, sans avoir les inconvénients dus à une trop grande complexité d'une organisation cellulaire complète.

L'irradiation de chloroplastes en présence d'hydrogénase et de ferrodoxine (58) se traduit par la formation d'une petite quantité d'hydrogène ; l'eau est dans ce cas la source des électrons. L'instabilité des chloroplastes, à température ambiante, limite sévèrement la durée de vie de ces systèmes.

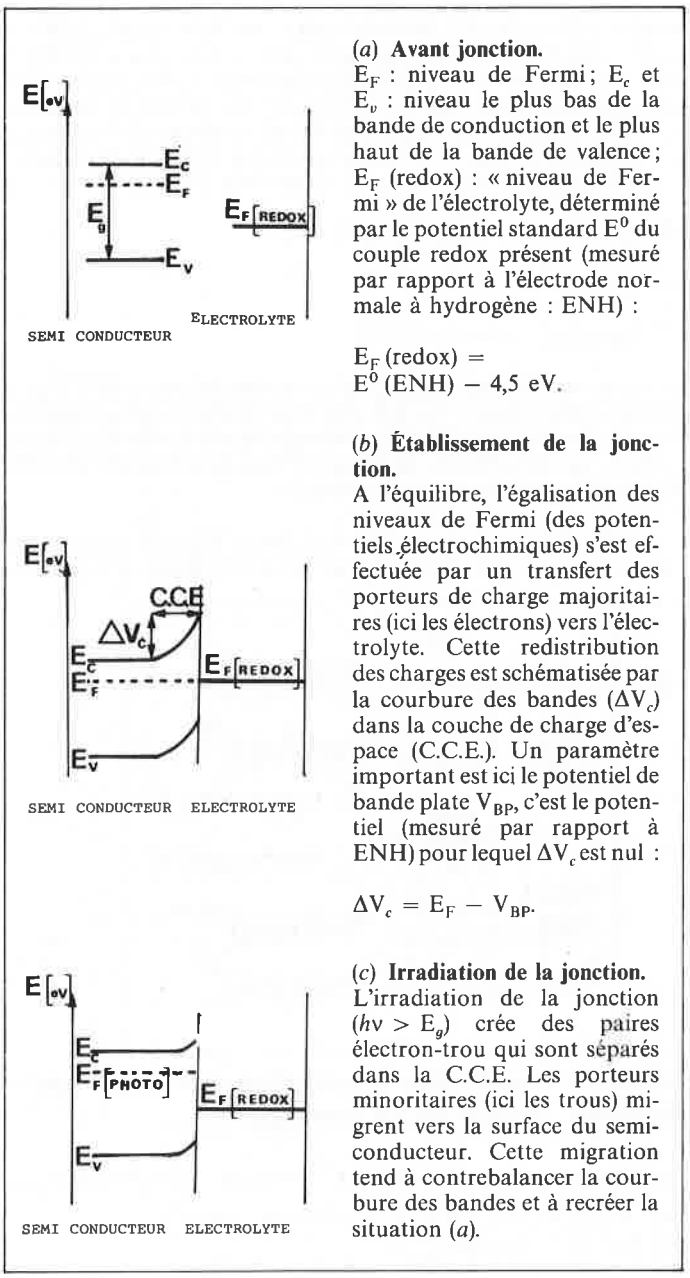
L'isolement et la purification de certains « matériaux » biologiques devrait peut-être permettre une relative stabilisation. Ainsi le greffage sur support solide (59), ou l'incorporation dans des compartiments séparés (désignés par « cellules d'électrolyse enzymatiques » (60)) de l'hydrogénase ont-ils été présentés comme les premiers pas vers une plus grande stabilité de ces biomolécules fragiles.

IV. 2. La « photoélectrolyse » de l'eau

La photoélectrochimie, étude des transferts de charge interfaciaux liés à l'existence de jonctions semi-conducteur-électrolyte, a connu

jusqu'aux environs de 1970 d'importants développements sur le plan fondamental (61). Ce n'est qu'après les premiers travaux de Fujishima et Honda (62), qui décrivirent la photo-oxydation de l'eau au contact d'électrodes semi-conductrices irradiées (n-TiO_2), que des études se sont infléchies vers l'application aux systèmes de conversion et de stockage de l'énergie solaire (63-66).

Rappelons que l'irradiation de la jonction d'un semi-conducteur avec un électrolyte *transparent* crée une paire d'électron-trou qui peuvent : (i) être séparés sous l'influence du champ électrique interfacial (figure 8), (ii) produire des réactions chimiques dans l'électrolyte. Ces processus interviennent dans deux grandes classes (*)



(*a*) **Avant jonction.**
E_F : niveau de Fermi; E_c et E_v : niveau le plus bas de la bande de conduction et le plus haut de la bande de valence; E_F (redox) : « niveau de Fermi » de l'électrolyte, déterminé par le potentiel standard E^0 du couple redox présent (mesuré par rapport à l'électrode normale à hydrogène : ENH) :

E_F (redox) = E^0 (ENH) − 4,5 eV.

(*b*) **Établissement de la jonction.**
A l'équilibre, l'égalisation des niveaux de Fermi (des potentiels électrochimiques) s'est effectuée par un transfert des porteurs de charge majoritaires (ici les électrons) vers l'électrolyte. Cette redistribution des charges est schématisée par la courbure des bandes (ΔV_c) dans la couche de charge d'espace (C.C.E.). Un paramètre important est ici le potentiel de bande plate V_{BP}, c'est le potentiel (mesuré par rapport à ENH) pour lequel ΔV_c est nul :

$\Delta V_c = E_F - V_{BP}$.

(*c*) **Irradiation de la jonction.**
L'irradiation de la jonction ($h\nu > E_g$) crée des paires électron-trou qui sont séparés dans la C.C.E. Les porteurs minoritaires (ici les trous) migrent vers la surface du semi-conducteur. Cette migration tend à contrebalancer la courbure des bandes et à recréer la situation (*a*).

Figure 8. La jonction semi-conducteur - électrolyte (semi-conducteur du type *n*).

(*) *Une troisième catégorie de cellules photoélectrochimiques est constituée par les cellules photogalvaniques (69-71). Dans ce cas, la lumière incidente est absorbée par des espèces chimiques en solution dans l'électrolyte. Les électrodes n'interviennent que pour des processus mettant en jeu des espèces électroactives formées lors de ces réactions. Pour le cas de la photodécomposition de l'eau, les réactions photochimiques qui constituent la clef des processus photogalvaniques sont exposées ci-dessous.*

de dispositifs photoélectrochimiques :

- Les cellules photovoltaïques à jonction semi-conducteur-électrolyte ; elles convertissent l'énergie lumineuse en électricité (67) et sont équivalentes aux photopiles conventionnelles à jonctions solides *pn* (68).
- Les cellules de photoélectrolyse, l'énergie lumineuse peut être, dans ce cas, stockée sous forme d'énergie chimique, par une modification chimique de l'électrolyte.

Deux types de cellules de photoélectrolyse de l'eau ont été proposées : elles sont constituées soit de la succession (semi-conducteur n/électrolyte/semi-conducteur p) soit (semi-conducteur n/électrolyte/métal). Elles dérivent donc formellement (72) de jonctions solides *pn* ou de barrières de Schottky, par interposition de l'électrolyte (figure 9).

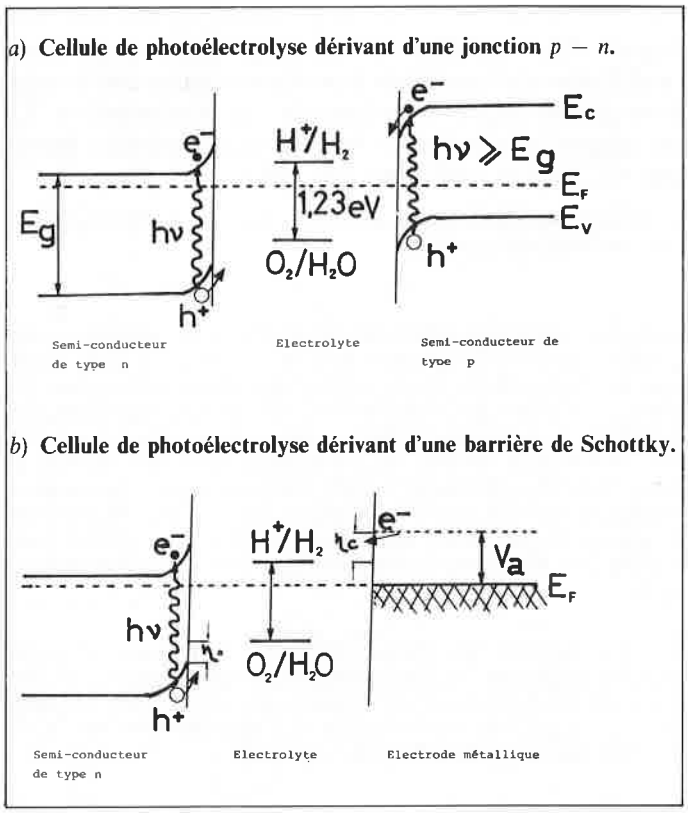


Figure 9. Deux types possibles de cellule de photoélectrolyse.

E_c, E_v et E_F sont respectivement les bandes de conduction, de valence et les niveaux de Fermi.
η_a et η_c : les « surtensions » de dégagements de H_2 et de O_2.
V_a : la polarisation cathodique nécessaire à la formation de H_2.
Réactions aux électrodes :

$$\begin{cases} \text{type } n : 2(h^+) + H_2O \longrightarrow 1/2\, O_2 + 2\, H^+ \\ \text{type } p \text{ et métal} : 2e^- + 2\, H^+ \longrightarrow H_2 \end{cases}$$

La réalisation des réactions redox exclusivement dans l'électrolyte dépendra :

- De la stabilité des électrodes. *La stabilité thermodynamique* (73) (figure 10) n'existe pour aucun des semi-conducteurs étudiés jusqu'à présent ; la résistance des électrodes à la photocorrosion n'est fixée en général que *cinétiquement*, grâce aux réactions ayant lieu dans l'électrolyte.
- De la valeur du potentiel de bande plate ; cette valeur peut imposer en cas de besoin l'utilisation d'un potentiel externe pour obtenir la formation d'hydrogène. Un potentiel d'appoint était nécessaire dans les premiers travaux (62) avec n-TiO_2 (ce cas est schématisé figure 9*b*).

Nous ne donnerons ici qu'un bref aperçu du nombre relativement important de résultats expérimentaux publiés, ceux-ci ayant été

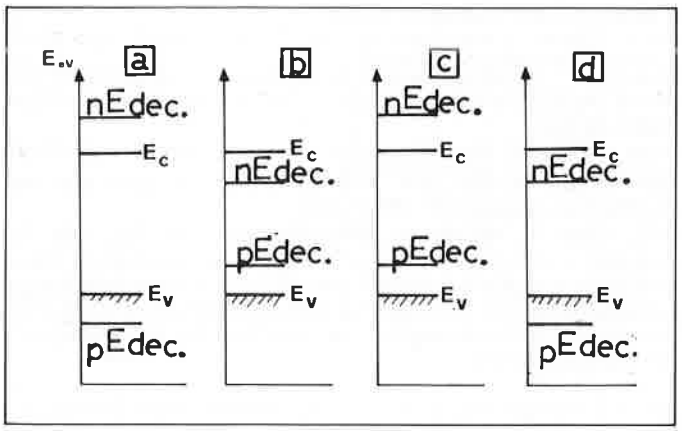


Figure 10. Stabilité thermodynamique des semi-conducteurs en fonction de la position relative des niveaux d'énergie des bandes de valence (E_v) et de conduction (E_c) par rapport aux potentiels de photodécomposition anodique (*n*E déc.) et cathodique (*p*E déc.).

(*a*) stable (*b*) instable (*c*) stable pour la dissolution cathodique (*d*) stable pour la dissolution anodique.

analysés en détail par ailleurs (64-66, 72). Parmi les photoélectrodes utilisées plusieurs sont stables, ce sont les oxydes à large bande interdite (TiO_2, WO_3, SnO_2, Fe_2O_3) qui nécessitent de plus, des potentiels externes de l'ordre de 0,3 à 1 V. D'autres matériaux (des tantalates et des titanates) donnent lieu à formation d'hydrogène sans polarisation externe, mais présentent aussi des largeurs de bande interdite importantes (2,8 à 3,3 eV), ce qui entraîne une perte importante de la fraction utile du spectre solaire (figure 5). Des semi-conducteurs à plus faible bande interdite (*n*-GaP ; E_g = 2,25 eV) sont instables, ou nécessitent également des potentiels auxiliaires importants.

Il existe d'ailleurs une limite inférieure aux largeurs de bande interdites utilisables. En effet, compte tenu des pertes inévitables dues à la courbure des bandes, aux « surtensions » η_c et η_a et aux pertes ohmiques (figure 8*b*), le photopentiel V_{pH} utilisable dans une cellule de photoélectrolyse de type Schottky est de :

$$V_{pH} = E_g - 1 \text{ eV} \qquad (63)$$

Dans le cas de la réaction de décomposition de l'eau (E^0 = 1,23 V) on doit donc avoir $E_g > 2{,}23$ eV (ce qui correspond à $\lambda < 550$ nm). Cette limite peut être évitée si l'on se trouve dans le cas des cellules de type *p/n* (figure 8*a*), pour lesquelles les deux semi-conducteurs sont photoactifs. L'additivité de deux photons (des deux photopotentiels d'électrodes) fournit alors un potentiel de travail plus élevé.
Peu d'exemples de ce type de cellules ont été, pour le moment, publiés (74-76). Elles ne présentent de l'intérêt que lorsque les deux photoélectrodes fonctionnent avec une efficacité comparable (63). Dans le cas contraire, la meilleure des deux serait mieux utilisée dans le premier type de cellules évoquées ci-dessus : les cellules photovoltaïques à jonction liquide.

IV. 3. Les préparations photochimiques, en solution, de l'hydrogène et de l'oxygène

Une alternative envisageable à l'utilisation des organismes photosynthétiques naturels, pour décomposer l'eau, est la recherche de systèmes chimiques modèles : la « photosynthèse non-biologique » (77).

Les études de photo-oxydation d'ions métalliques, en solution aqueuse, (Ce(III), Fe(II), Cu(I), Cr(II), V(II), Eu(II)) constituent les premiers modèles photochimiques de stockage de l'énergie lumineuse (78, 79). La formation d'hydrogène (*) correspond dans ce cas à la réaction stœchiométrique suivante :

$$Mn^{n+} + H^+ \xrightarrow{h\nu} Mn^{(n+1)+} + 1/2\, H_2$$

Les ions oxydés $M^{(n+1)+}$ résultants peuvent être dans certains cas (Ce(IV), Eu(III)) réduits photochimiquement (λ = 254 nm) par l'eau pour redonner les ions initiaux M^{n+}. Ces mécanismes cycliques, obtenus par irradiation à l'ultra-violet, ne sont pas sans rappeler le fonctionnement de la photosynthèse naturelle.

L'élaboration des processus chimiques de formation d'hydrogène et d'oxygène, à l'aide de la lumière visible, a été précédée de très nombreuses études des réactions redox des états excités (figure 3) dans le cas de colorants organiques (80) et, surtout ces dernières années, de complexes de coordination des métaux de transition (39, 81, 82). Ces propriétés redox à l'état excité ont été souvent illustrées par les complexes, qui s'apparentent au complexe de ruthénium tris(bipyridine 2,2') Ru^{2+} (**), très activement étudiés dans de nombreux laboratoires. La formation, en solution, d'entités réductrices

$[E^0\ Ru(bipy)_3^{3+/2+*} = -0{,}84 \text{ V}]$

ou oxydantes

$[E^0\ Ru(bipy)_3^{3+/2+} = +1{,}27 \text{ V}]$

thermodynamiquement suffisantes pour réduire (ou oxyder) l'eau a été bien établie (figure 11). Ces dernières réactions, qui correspondraient à des transferts *monoélectroniques*, ne sont pas observables en l'absence de mécanismes chimiques (d'intermédiaires réactionnels) d'échange *polyélectroniques* avec l'eau.

Plusieurs systèmes récents, réunissant de tels *relais*, des sources (ou des accepteurs) auxiliaires d'électrons et s'ordonnant autour de

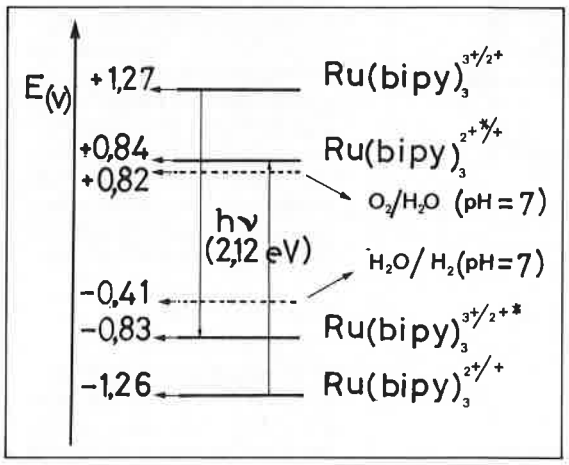


Figure 11. Modification des potentiels redox du complexe $Ru(bipy)_3^{2+}$ à l'état excité (voir figure 3).

(*) *Pour les ions dont le potentiel normal est suffisamment négatif* $[E^0(V^{III/II}) = -0{,}25\ V;\ E^0(Cr^{III/II}) = -0{,}41\ V;\ E^0(Eu^{III/II}) = -0{,}43\ V]$ *cette réaction peut également être réalisée catalytiquement (88), sans intervention du rayonnement. Ces réactions photochimiques ne constituent donc pas à proprement parler un stockage de l'énergie lumineuse, mais plutôt un exemple de photocatalyse.*
(**) *Le complexe Ru (bipy)$_3^{2+}$ (bipy = bipyridine 2,2') et les composés apparentés constituent des modèles d'études très intéressants. Ces complexes, chimiquement très stables, possèdent, dans le visible, des bandes d'absorption intenses, dites de transfert de charge/métal-ligand (λ_{max} = 4,55 nm, ε = 14 500 pour Ru(bipy)$_3^{2+}$). Les états excités correspondants, dont la durée de vie est assez longue (850 nsec) entraînent un réarrangement électronique intramoléculaire « radial » : du métal vers les ligands. Il en résulte, à l'état excité, des modifications importantes des propriétés redox (figure 8).*

colorants modèles ($Ru(bipy)_3^{2+}$) ont été proposés pour permettre :

a) **la préparation d'hydrogène à partir de l'eau**
Un premier type de relais mettant en jeu des complexes organométalliques réductibles a été développé, pour la première fois, dans le cas de complexes du rhodium (III) : $Rh(bipy)_3^{3+}$ (83) (figure 12 A) puis a été étendu à des complexes du cobalt (II) (84).

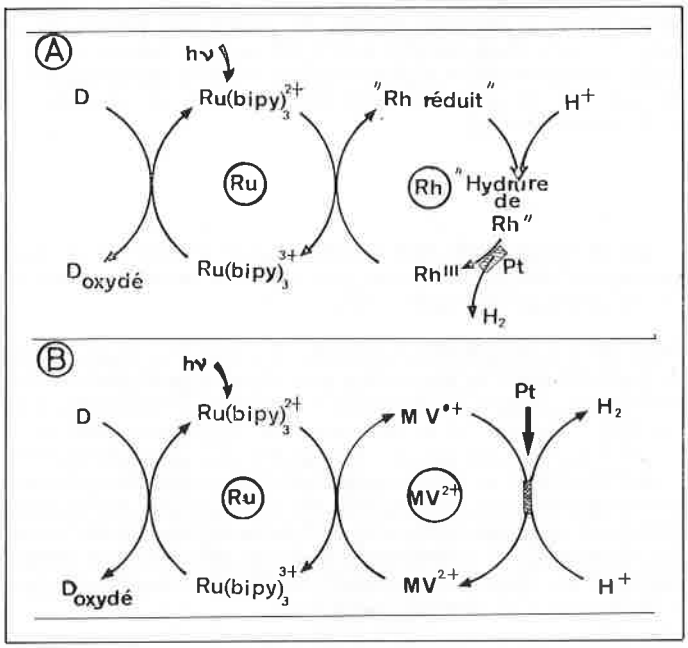


Figure 12. Schéma des photosystèmes de réduction de l'eau.
(A) Cycles utilisant des complexes de rhodium Rh comme relais. « Rh réduit » et « hydrure de Rh » (voir le texte) désignent les intermédiaires réduits du relais ; D est la triéthanolamine.
(B) Cycles utilisant le méthyl-viologène (MV^{2+} : dichlorure de NN' diméthyl bipyridinium-4,4' : voir le texte) ; D est dans ce cas l'EDTA (acide éthylène diamine tétracétique).

Parallèlement, une deuxième catégorie de relais, utilisant des molécules organiques réductibles : les sels de bipyridinium « viologènes » associés à des catalyseurs d'hydrogénation (85-87) ou à l'enzyme hydrogénase (88, 89), a été étudiée (figure 12 B).

Ces processus de formation d'hydrogène, par la lumière visible, sont composés de deux cycles catalytiques :
- les cycles photochimiques du ruthénium $\boxed{Ru}$ (figures 12) qui comportent les trois réactions suivantes :

$$Ru(bipy)_3^{2+} \xrightarrow{h\nu} Ru(bipy)_3^{2+}*$$
$$Ru(bipy)_3^{2+}* + \text{Relais (cycle } \boxed{Rh} \text{ ou } \boxed{MV^{2+}}$$
$$\longrightarrow Ru(bipy)_3^{3+} + \text{Relais réduit}$$
$$Ru(bipy)_3^{3+} + D \longrightarrow Ru(bipy)_3^{2+} + D \text{ oxydé}$$

Ces cycles se traduisent donc par le transfert photochimique des électrons de la source D (des amines tertiaires comme la triéthanolamine (TEA), ou l'acide éthylènediamine tétracétique (EDTA)) aux relais ;
- les cycles thermiques des relais :

$\boxed{Rh}$ (figure 12 A). Au cours des cycles, le complexe de rhodium (III) initial : $Rh(bipy)_3^{3+}$ après réduction photochimique :

$$Ru(bipy)_3^{2+}* + Rh(bipy)_3^{3+} \longrightarrow Ru(bipy)_3^{3+} + Rh(bipy)_3^{2+}$$

subit une série de transformations qui aboutissent à la formation intermédiaire de complexes réduits de rhodium (I) : $Rh(bipy)_2^{+}$ et/ou d'hydrures de rhodium $[Rh\,H\,(bipy)_2(H_2O)]^{2+}$. Ces derniers se décomposeraient alors suivant une réaction (facilitée par du platine métallique) qui est une réduction *diélectronique* de l'eau :

$$[Rh\,H\,(bipy)_2(H_2O)]^{2+} + H_3O^+$$
$$\xrightarrow[Pt^0]{} [Rh(bipy)_2(H_2O)_2]^{3+} + H_2$$

Le complexe de rhodium (III) $[Rh(bipy)_2(H_2O)_2]^{3+}$ participe alors au fonctionnement des cycles en régénérant le complexe initial $Rh(bipy)_3^{3+}$.

$\boxed{MV^{2+}}$ La première étape de cycles est, dans ce cas, la formation des radicaux-cations (bleu-violets) **2** par réduction photochimique du relais utilisé : le méthyl-viologène **1** (MV^{2+}) :

$$Ru(bipy)_3^{2+}* + CH_3 - N \bigcirc\!\!\bigcirc N - CH_3[MV^{2+}]$$
1
$$\longrightarrow Ru(bipy)_3^{3+} + CH_3 - N \bigcirc\!\!\bigcirc N - CH_3[MV^{+\bullet}]$$
2

Le potentiel redox standard du couple est suffisant :

$$|E^0\,(MV^{2+}/MV^{+\bullet}) = -\,0{,}44\ V|$$

pour permettre la réduction de l'eau en hydrogène, grâce à un catalyseur approprié (Pt colloïdal) :

$$MV^{+\bullet} + H^+ \xrightarrow[Pt^0]{} MV^{2+} + 1/2\,H_2$$

Dans tous les cas, la formation d'hydrogène résulte du transfert des électrons des donneurs (amines tertiaires) vers les protons de l'eau (*) :

$$D + H^+ \longrightarrow D_{oxydé} + 1/2\,H_2$$

Le potentiel redox standard de cette réaction endoénergétique traduisant le stockage de l'énergie lumineuse a été estimé (!) à : $\Delta G^0 = 1{,}23$ eV (83) dans le cas où D est la triéthanolamine. La réaction chimique qui représente alors la transformation chimique du système est :

$$N(CH_2CH_2OH)_3 + H_2O$$
$$\longrightarrow H_2 + HN(CH_2CH_2OH)_2 + CHO - CH_2OH$$

b) **la préparation d'oxygène à partir de l'eau**

Les cycles du ruthénium ($\boxed{Ru}$, figures 12) peuvent être appliqués, de manière similaire, à la préparation de l'oxygène à partir de l'eau en utilisant cette fois le pouvoir oxydant puissant

$$[E^0 Ru(bipy)_3^{3+/2+} = 1{,}27\ V]$$

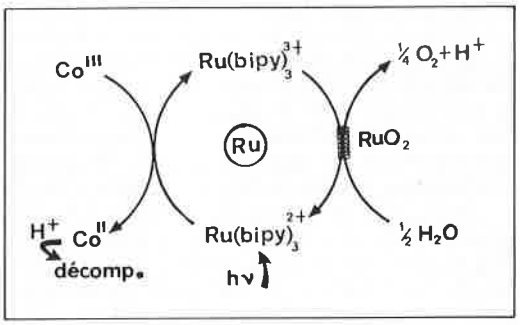


Figure 13. Schéma de préparation photochimique d'oxygène à partir de l'eau.
Co^{III} représente le complexe $Co(NH_3)_5Cl^{2+}$.

(*) *Les rendements catalytiques (turnover) obtenus pour la plupart des cycles catalytiques sont élevés : pour le ruthénium ils dépassent 7 500 (83).*

du complexe $Ru(bipy)_3^{3+}$ formé (90). En effet (figure 13) en utilisant, cette fois, un cycle de relais dont la réduction s'accompagne d'une décomposition irréversible (91), la forme oxydée du complexe $Ru(bipy)_3^{2+}$ peut alors s'accumuler dans le milieu :

$$Ru(bipy)_3^{2+}{}^* + Co(NH_3)_5Cl^{2+} + 5\,H^+ \longrightarrow Ru(bipy)_3^{3+} + Co^{2+}_{aq.} + Cl^- + 5\,NH_4^+$$

La formation d'oxygène qui est obtenue, catalysée par RuO_2, accompagne la réaction globale :

$$4\,Co(NH_3)_5Cl^{2+} + 16\,H^+\,2\,H_2O \xrightarrow{h\nu} 4\,Co^{2+}_{aq.} + 20\,NH_4^+ + 4\,Cl^- + \underline{O_2}\nearrow$$

V. Discussion et conclusion

La publication des travaux qui illustrent les solutions, proposées par des disciplines souvent éloignées, au problème de la décomposition de l'eau, se situe dans un intervalle de temps notable. Les premières observations scientifiques de la formation d'hydrogène par les biosystèmes remontent à 1942; les premières études de cycles thermochimiques, destinés à l'origine au stockage de l'énergie nucléaire, datent d'une quinzaine d'années. Ces différents travaux de recherche ne correspondent donc pas au même degré de développement.

L'appréciation de leurs potentialités, ou en d'autres termes, l'évaluation de la durée qui les séparerait d'une éventuelle application à grande échelle, dépendra en premier lieu de la comparaison avec les procédés directement concurrentiels que sont les méthodes *électrolytiques* de préparation d'hydrogène (92, 93). En effet, le développement de ces dernières, lié à l'optimisation des conditions (température et pression) et des cellules d'électrolyse de l'eau (matériaux d'électrodes et/ou des électrolytes), se déroule parallèlement. La sélection entre les approches biochimiques photoélectrochimiques, photochimiques ou thermochimiques directs de préparation d'hydrogène et la production préalable de courant électrique couplée à un électrolyseur (94), se fera en fonction des rendements thermodynamiques respectifs, mais aussi d'autres facteurs technologiques et/ou économiques prévisibles.

Ainsi, pour *la photoélectrolyse*, les largeurs minimal des bandes interdites ($E_g > 2{,}23$ eV) (voir IV) imposent des rendements maximaux :

$$\eta_{tot} = \eta_{th} \times \eta_u = 0{,}12.$$

En pratique, des rendements de quelques pourcents (3 à 5 %) (comparables aux rendements optimaux de la photosynthèse) ont été jugés nécessaires pour obtenir de l'hydrogène « compétitif » (95). Actuellement, les valeurs maximales obtenues sont voisines de 0,2 à 0,5 % (72). Des tentatives ont été faites pour mieux adapter l'adsorption des semi-conducteurs à larges bandes au spectre solaire, par l'utilisation de colorants organiques (sensibilisateurs) (66) ; le problème majeur que l'on rencontre est alors la très grande instabilité des colorants dans ces conditions. Cependant, l'instabilité prononcée de la plupart des photoélectrodes actuelles, ainsi que les gains importants (X 10) qu'il faut réaliser sur le plan des rendements de conversion, semblent indiquer que l'usage des cellules photoélectrochimiques est plus adaptée à la seule production de courant électrique, qu'à la réalisation d'un moyen de stockage de l'énergie lumineuse (63). La préparation de photopiles à jonctions liquides présente, pour cela, des avantages de mise en œuvre importants par rapport à la réalisation de jonctions solides. Des systèmes intéressants (par exemple des électrodes *n*-CdS associées au couple redox S^{2-}/S_n^{2-} (96)) ont été proposés dans ce sens.

Dans le cas *de la thermochimie*, pour laquelle les rendements thermodynamiques maximaux sont équivalents à ceux de la voie électrolytique, d'autres limitations doivent être considérées. Compte tenu des contraintes technologiques prévisibles de ces procédés (irréversibilités d'origine thermique, chimique et mécanique) il paraît alors peu probable que l'hydrogène d'origine thermochimique puisse concurrencer l'hydrogène électrolytique. La préparation thermochimique de l'hydrogène, pour laquelle aucune installation au stade pilote n'a d'ailleurs été réalisée à ce jour, a été perçue comme « un mythe plutôt qu'une réalité » (41).

Bien entendu, les instabilités d'origine chimique ne sont pas propres aux cycles thermochimiques, mais constituent un point faible de tout processus cyclique, réitéré un grand nombre de fois. Ces réactions chimiques doivent avoir lieu avec des rendements très élevés (> 99,9 %), rares dans le cas de réactions de laboratoire réputées « quantitatives » et exceptionnels pour les processus industriels multistades (97). Les sous-produits qui accompagnent des réactions répétitives, ayant lieu même avec des taux de recyclage élevés, ne sont pas négligeables. Une estimation de ce type de « pertes » a été faite (98) pour un cycle thermochimique de la famille fer/chlore qui se compose des trois réactions suivantes :

$$6\,FeCl_2 + 8\,H_2O \longrightarrow 2\,Fe_3O_4 + 12\,HCl + 2\,H_2$$
$$6\,FeCl_3 \longrightarrow 6\,FeCl_2 + 3\,Cl_2$$
$$2\,Fe_3O_4 + 3\,Cl_2 + 12\,HCl \longrightarrow 6\,FeCl_3 + O_2 + 6\,H_2O$$

Si l'on réalisait ce cycle à l'échelle de 160 000 tonnes par an d'hydrogène, les pertes de produits chimiques, dues à un rendement moyen de seulement (!) 99,9 %, correspondraient à 70 000 tonnes (par année) de chlore et d'acide chlorhydrique. Cela n'irait évidemment pas sans poser quelques problèmes d'ordre écologique.

Les biosystèmes (*) utilisés présentent également une instabilité notable. La production d'hydrogène par des organismes « affamés » d'azote s'effectue aux dépens de l'activité nitrogénasique normale. L'insuffisance du taux de fixation d'azote entraîne alors la dégradation et la mort des cellules. Les progrès dans ce domaine, fort intéressant, nécessiteront une meilleure connaissance des mécanismes fondamentaux de la photosynthèse et de leurs interactions avec les processus de fixation de l'azote.

Les systèmes photochimiques de production d'hydrogène et d'oxygène, actuellement publiés, constituent d'intéressants modèles d'études. Cette voie de recherche paraît être prometteuse sous un double aspect : outre l'intérêt pratique lié à la mise au point de systèmes potentiels de stockage de l'énergie lumineuse, ces modèles de photosynthèse présentent l'intérêt fondamental de la connaissance de réactions nouvelles et d'intermédiaires (catalyseurs) qui pourraient avoir d'autres retombées probables, dans des domaines chimiques voisins.

Conclusion

La préparation de l'hydrogène à partir de l'eau, comme seule source de matière première, et de la lumière solaire, comme seule source d'énergie, ne paraît pas encore être accessible dans un proche avenir. Les voies d'accès, plus directes que les procédés électrolytiques, qui ont été esquissées dans ce but nécessitent encore un important effort

Un point commun important existe pour les mécanismes de tous ces processus : l'établissement de cycles thermiques de réduction (ou d'oxydation) de l'eau est possible grâce à une stabilisation *cinétique* d'intermédiaires fortement réducteurs (ou oxydants) formés à l'issue des étapes photochimiques. Cette stabilisation est due aux réactions (de décomposition) *irréversibles* que subissent les « réservoirs » d'électrons utilisés (amines tertiaires pour les réductions et complexes de cobalt dans le cas de l'oxydation de l'eau). Ces processus constituent donc des systèmes *fermés* dont le couplage paraît, pour le moment, difficile. Ils constituent néanmoins, les amorces du système complet dont le mécanisme, suivant en cela la trame du mécanisme de la photosynthèse naturelle, devra comporter la jonction en série des deux photosystèmes de réduction et d'oxydation de l'eau.

(*) *Une conversion en énergie électrique a également été présentée avec ce qui paraît être une curiosité de laboratoire : des photopiles à base de constituants végétaux (99).*

de recherche fondamentale. Les recherches actuelles, dans ce domaine où l'objectif à atteindre constitue une motivation puissante, se développent effectivement de manière très active, tout en bénéficiant d'un caractère pluridisciplinaire marqué.

Remerciements

L'auteur remercie le Professeur H. Kagan, de ses suggestions et conseils pour la réaction de cet article.

Bibliographie

(1) P. J. Antony, *La Recherche*, 1979, **101,** 692.
(2) « Projet Alter », Le Groupe de Bellevue, Éditions Syros, 1978.
(3) « Énergie Solaire, Conversion et applications », G. Chassagne, C. Dupuy et M. Levy, Eds., Éditions du C.N.R.S., 1978.
(4) « Biological Solar Energy Conversion », A. Mitsui, S. Miyachi, A. San Pietro and S. Tamura, Eds., Acad. Press, 1977.
(5) « Solid State Chemistry of Energy Conversion and Storage », J. B. Goodenough and M. S. Whittingham, Eds., *Adv. Chem. Ser.*, 1977, 163, A.C.S. Washington D.C.
(6) « Electrode Materials and Processes for Energy Conversion and Storage », J. D. E. McIntyre, S. Srinivasan and F. G. Will, Ed., Proc. Vol. 77-6, The Electrochem. Soc., 1977.
(7) « Solar Power and Fuels », J. R. Bolton, Ed., Acad. Press., 1977.
(8) G. Stein, *Isr. J. Chem.*, 1975, **14,** 213.
(9) V. Balzani, L. Moggi, M. F. Manfrin, F. Bolletta et M. Gleria, *Science*, 1975, **189,** 852.
(10) G. Porter et M. D. Archer, *Interdispl. Sci. Rev.*, 1976, **1,** 119.
(11) J. R. Bolton, *Science*, 1978, **202,** 705.
(12) M. Calvin, *Accounts*, 1978, **11,** 369.
(13) J. Bezaudun, Réf. 3, p. 643.
(14) G. Ervin, *J. Solid State Chem.*, 1977, **22,** 51.
(15) M. Calvin, *Science*, 1974, **184,** 375.
(16) D. O. Hall, réf. 3. p. 603 ; *Solar Energy*, 1979, **22,** 307.
(17) W. H. F. Sasse, réf. 7, p. 227.
(18) J. K. Dawson, *Nature*, 1974, **249,** 724.
(19) P. Hagenmuller, réf. 5, p. 1.
(20) « Rôle et place de l'hydrogène comme vecteur énergétique de substitution », *L'actualité chimique*, 1978, **5** (mai), 25.
(21) Un article sur cet aspect est paru dans ce journal : P. Clechet, C. Martelet, J. R. Martin et R. Olier, *L'actualité chimique*, 1978, **9** (novembre), 17.
(22) « Nouveau traité de Chimie Minérale », P. Pascal, Ed. Masson, 1956, Tome 1, p. 31.
(23) E. A. Fletcher et R. L. Moen, *Science*, 1977, **197,** 1050.
(24) M. C. Chen et H. A. Taylor, *J. Chem. Phys.*, 1957, **27,** 857.
(25) U. Sokolov et G. Stein, *J. Chem. Phys.*, 1966, **44,** 3329.
(26) B. M. Abraham et F. Schreiner, *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, 1974, **13,** 305.
(27) R. E. Chao, *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Develop.*, 1974, **13,** 94.
(28) B. Esteve, A. Lecoanet et J. P. Roncato, *Entropie*, 1975, **61,** 70.
(29) R. T. Ross, *J. Chem. Phys.*, 1966, **45,** 1.
(30) R. T. Ross et M. Calvin, *Biophys. J.*, 1967, **7,** 595.
(31) R. T. Ross, R. J. Anderson et T. L. Hsiao, *Photochem. Photobiol.*, 1976, **24,** 267.
(32) R. T. Ross et T. L. Hsiao, *J. Appl. Phys.*, 1977, **48,** 4783.
(33) R. S. Knox, *Biophys. J.* 1969, **9,** 1351, et les références qui y sont citées.
(34) R. S. Knox dans « Primary Processes of Photosynthesis », J. Barber Ed., Elsevier, 1977.
(35) M. Almgren, *Photochem. Photobiol.*, 1978, **27,** 603.
(36) W. W. Parson, *Photochem. Photobiol.*, 1978, **28,** 389.
(37) J. E. Parrott, *Solar Energy*, 1978, **21,** 227.
(38) W. H. Press, *Nature*, 1976, **264,** 734.
(39) V. Balzani, F. Bolletta, M. T. Gandolfi et M. Maestri, *Top. Curr. Chem.*, 1978, **75,** 1.
(40) M. D. Archer, *Solar Energy*, 1978, **20,** 167.
(41) G. Donat, B. Esteve et J. P. Roncato, *Revue Franç. de l'Énergie*, 1977 (avril), 252.
(42) « Hydrogen Energy », T. Nejat Veziroglu, Ed., Plenum Press, 1974 ; voir : J. B. Pangborn et J. C. Sharer, Vol. **A,** p. 499 ; J. L. Russel Jr et J. T. Porter, Vol. **A,** p. 517.
(43) K. F. Knoche, H. Cremer, G. Steinborn et W. Schneider, *Inter. J. Hydrog. Energy*, 1977, **2,** 269.
(44) J. E. Funk, R. M. Reinstrom, travaux cités dans (27).
(45) P. Hagenmuller, *La Recherche*, 1977, **8,** 756.
(46) P. A. Jacobs, J. B. Uytterhoeven et H. K. Beyer, *J. C. S. Chem. Comm.*, 1977, p. 128.
(47) S. Leutwyler et E. Schumacher, *Chimia*, 1977, **31,** 475.
(48) P. H. Kasal et R. J. Bishop Jr., *J. Phys. Chem.*, 1977, **81,** 1527.
(49) S. M. Kuznicki et E. M. Eyring, *J. Amer. Chem. Soc.*, 1978, **100,** 6790.
(50) T. Ohta, S. Asakura, M. Yamaguchi, N. Kamiya, N. Gotoh et T. Otagawa, *Inter. J. Hydrog. Energy*, 1976, **1,** 113.
(51) H. Gaffron et J. Rubin, *J. Gen. Physiol.*, 1942, **26,** 219.
(52) H. Gest et M. D. Kamen, *J. Bacteriol.*, 1949, **58,** 239.
(53) G. D. Smith, *Search*, 1978, **9,** 209.
(54) J. R. Beneman et N. M. Weare, *Science*, 1974, **184,** 174.
(55) J. C. Weisman et J. R. Beneman, *Appl. Envir. Microbiol.*, 1977, **33,** 123.
(56) J. W. Newton, *Science*, 1976, **191,** 559.
(57) K. K. Rao, L. Rosa et D. O. Hall, *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, 1976, **68,** 21.
(58) J. R. Beneman, J. A. Berenson, N. O. Kaplan et M. D. Kamen, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 1973, **70,** 2317.
(59) T. Yagi, réf. 4, p. 61.
(60) T. Yagi, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 1976, **73,** 2947.
(61) H. Gerisher, dans « Physical Chemistry, An Advanced Treatise », H. Eyring, D. Henderson and W. Jost, Eds, 1970, 9A, 463, Acad. Press, N. Y.
(62) A. Fujishima et K. Honda, *Nature*, 1972, **238,** 37.
(63) J. Manassen, D. Camen, G. Hodes et A. Sofer, *Nature*, 1976, **263,** 97.
(64) K. Rajeshwar, P. Singh et J. Dubow, *Electrochim. Acta*, 1978, **23,** 1117.
(65) A. J. Nozik, *Ann. Rev. Phys. Chem.*, 1978, **29,** 189.
(66) H. P. Maruska et A. K. Ghosh, *Solar Energy*, 1978, **20,** 443.
(67) H. Gerisher, *Electroanal. Chem. Interfac. Electrochim.*, 1975, **58,** 263.
(68) Y. Marfaing, *L'actualité chimique*, 1978, **1** (janvier), 7 et les références qui y sont citées.
(69) R. Gomer, *Electrochim. Acta*, 1975, **20,** 13.
(70) M. D. Archer, *J. Appl. Electrochem.*, 1975, **5,** 17.
(71) W. J. Albery et M. D. Archer, *Nature*, 1977, **270,** 399.
(72) A. J. Nozik, *J. Cryst. Growth*, 1977, **39,** 200 et les références qui y sont citées.
(73) H. Gerisher, *J. Electroanal. Chem.*, 1977, **82,** 133.
(74) H. Yoneyama, H. Sakamoto et H. Tamura, *Electrochim. Acta*, 1975, **20,** 341.
(75) A. J. Nozik. *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **29,** 150.
(76) K. Ohashi, J. Mc Cann et O. M. J'Bockris, *Nature*, 1977, **266,** 610.
(77) L. J. Heidt, *Proc. Amer. Acad. Arts Sci.*, 1951, **79,** 228.
(78) R. J. Marcus, *Sciences*, 1956, **123,** 399.
(79) D. D. Davis, G. K. King, K. L. Stevenson, E. R. Birnbaum et T. H. Hageman, *J. Solid State Chem.*, 1977, **22,** 63.
(80) Voir par exemple : G. Oster, *J. Chim. Phys.*, 1958, **55,** 899 ; G. K. Oster et G. Oster, *J. Amer. Chem. Soc.*, 1959, **81,** 5543 ; F. Millich et G. Oster, *J. Amer. Chem. Soc.*, 1959, **81,** 1357 ; J. Faure et J. Joussot Dubien, *J. Chim. Phys.*, 1966, 621 ; D. J. Fife et W. M. Moore, *Photochem. Photobiol.*, 1979, **29,** 43.
(81) T. J. Meyer, *Accounts Chem. Res.*, 1978, **11,** 94.
(82) « Inorganic and Organometallic Photochemistry », M. S. Wrighton, Ed., *Adv. Chem. Ser.*, 1978, **168.**
(83) J. M. Lehn et J. P. Sauvage, *Nouv. J. Chimie*, 1977, **1,** 449 ; M. Kirch, J. M. Lehn et J. P. Sauvage, *Helv. Chim. Acta*, 1979, **62,** 1345.
(84) G. M. Brown, B. S. Brunschwig, C. Creutz, J. F. Endicott et N. Sutin, *J. Amer. Chem. Soc.*, 1979, **101,** 1298.
(85) B. V. Koriakin, T. S. Dzhabieu et A. E. Shilov, *Dokl. Akad. Nauk. S.S.S.R.*, 1977, **233,** 620.
(86) K. Kalyanasundaram, J. Kiwi et M. Gratzel, *Helv. Chim. Acta*, 1978, **61,** 2720.
(87) A. Moradpour, E. Amouyal, P. Keller et H. Kagan, *Nouv. J. Chimie*, 1978, **2,** 547.

(88) A. I. Krasna, réf. 4, p. 53 ; A. I. Krasna, *Photochem. Photobiol.*, 1979, **29**, 267.
(89) I. Okura et N. Kim-Thuan, *J. Molec. Catal.*, 1979, **5**, 311 et 1979, **6**, 227.
(90) J. M. Lehn, J. P. Sauvage et R. Ziessel, *Nouv. J. Chimie*, 1979, **3**, 423.
(91) V. Balzani, L. Moggi, M. F. Manfrin et F. Bolleta, *Coord. Chem. Rev.*, 1975, **15**, 321 et références citées.
(92) Voir par exemple : A. B. Laconti, A. R. Fragala et J. R. Boyack, réf. 6, p. 354 ; A. J. Appleby et G. Crepy, réf. 6, p. 382.
(93) P. W. T. Lu et S. Srinivasan, *J. Appl. Electrochem.*, 1979, **9**, 269.
(94) E. N. Costogues et R. K. Yasui, *Solar Energy*, 1977, **19**, 205.
(95) J. O'M. Bockries, réf. 6, p. 338.
(96) A. B. Ellis, J. W. Kaiser, J. M. Bolts et M. S. Wrighton, *J. Amer. Chem. Soc.*, 1977, **99**, 2839 et références citées.
(97) O. Samuel, A. Moradpour et H. Kagan, *Solar Energy*, sous presse.
(98) F. Joly, réf. 42, p. 279.
(99) C. W. Tang et A. C. Albrecht, *Nature*, 1975, **254**, 507.

Édition française des règles de nomenclature pour la chimie inorganique

Un numéro spécial de 64 pages du « Bulletin », édité par la Société Chimique de France, présentant les règles formulées, en 1970, par la Commission de nomenclature en chimie inorganique de l'I.U.P.A.C.

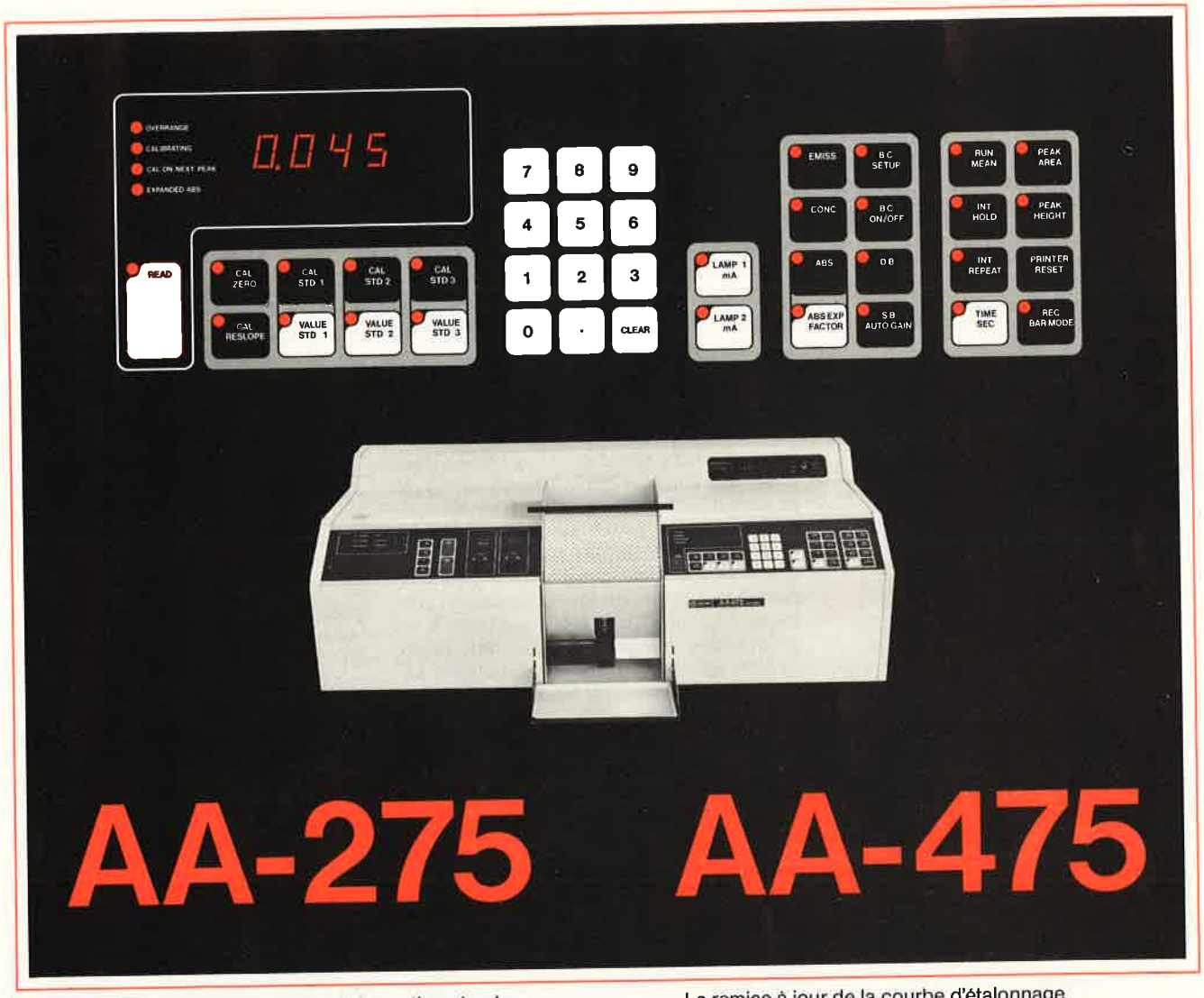
Prix : 50 F.

Une commande, pour être agréée, devra être accompagnée du règlement correspondant, sous forme de chèque bancaire ou de chèque postal (280-28 Paris), à l'ordre de la Société Chimique de France.

Il ne sera pas délivré de facture.

Varian en AAS

Un jour prochain vous aurez besoin d'un meilleur spectromètre d'absorption atomique



Les deux séries de spectromètre d'absorption atomique à commande par microprocesseur présentées par Varian présentent, outre leur prix, les avantages suivants:

Un microprocesseur puissant traite le signal, calcule les résultats et contrôle toutes les fonctions de l'appareil. L'opérateur n'a besoin que d'un minimum de compétences – l'appareil est un spécialiste de chacune des tâches qu'il accomplit.

L'appareil communique directement avec l'opérateur à l'aide d'un système complet et efficace comprenant voyants indicateurs d'états et de fonctions, messages d'erreur et alarme sonore.

Le lissage par fonction rationnelle de la courbe d'étalonnage est entièrement géré par le microprocesseur. L'étalonnage, extrêmement simple, peut être basé sur trois solutions d'étalonnage.

La remise à jour de la courbe d'étalonnage permet d'effectuer rapidement un réétalonnage à partir d'une solution étalon.

La commande de gaz entièrement automatique assure la sécurité des opérations d'allumage, de passage à la flamme protoxyde d'azote-acétylène et de fermeture.

Pour plus amples informations, remplir le coupon réponse ci-dessous et le renvoyer à votre représentant Varian.

Veuillez m'envoyer des informations complémentaires sur les spectromètres AA-275 et AA-475.

Nom _____

Société _____

Adresse _____

Varian S.A.
Quartier de Courtaboeuf / BP. 12 / F-91401 Orsay
Tél.: 907 78 36

Varian AG
Steinhauserstrasse / CH-6300 Zug / Suisse
Tél.: (042) 23 25 75

AA 80.31

Dépistage d'agents mutagènes dans l'eau de mer *

par James M. Parry

(Département de génétique, University College de Swansea)

La tâche du toxicologue en génétique est de veiller à mettre l'homme à l'abri des produits mutagènes qui pourraient exister dans l'environnement. Ce risque est important dans la mer, les produits mutagènes qu'elle contient pouvant nous parvenir par les chaînes alimentaires. Les dépister dans ce milieu nécessite une longue et patiente recherche pour obtenir des tests de la sûreté voulue.

Pour se diviser et perpétuer leur espèce, les organismes vivants ont besoin de l'information qui est conservée dans leurs gènes sous forme de séquences chimiques spécifiques de la molécule d'ADN, l'acide désoxyribonucléique. De nombreux systèmes enzymatiques se sont développés pour protéger cet ensemble d'information des dommages que peuvent causer les produits chimiques et les radiations, mais de temps en temps, il se produit des changements dans cette information, que l'on appelle des mutations. La figure 1 donne des exemples des mécanismes selon lesquels des changements dans la séquence de la molécule d'ADN peuvent induire des mutations, soit lorsque l'une des bases nucléiques de la chaîne de codage vient à changer, soit lorsqu'elle est ajoutée ou retirée.

Dans tous les cas, au changement de l'information portée par l'ADN correspond un changement dans la chaîne des aminoacides de la protéine dont la synthèse est dirigée par l'information altérée.

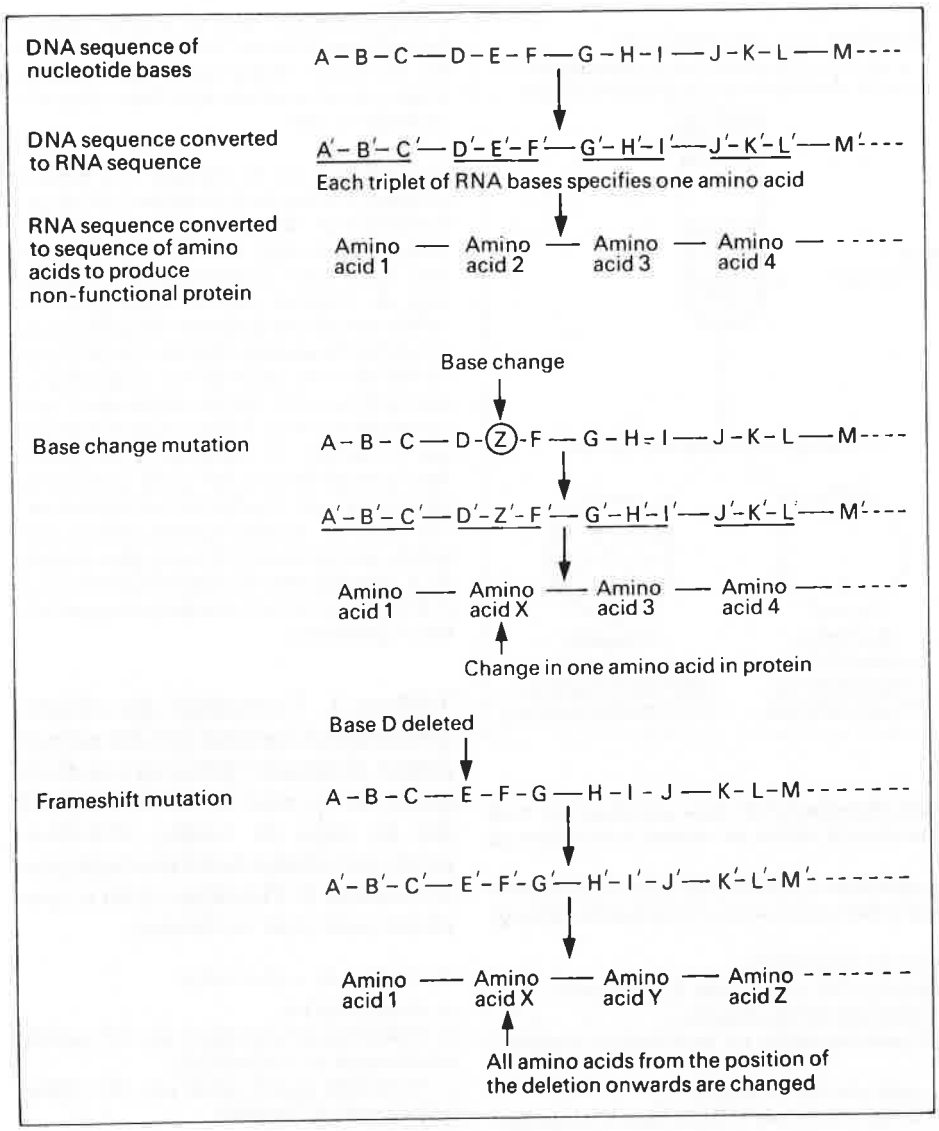
Chez l'homme, les mutations sont généralement nuisibles car elles mènent à la synthèse de protéines défectueuses incapables de remplir le rôle de la protéine normale. De nombreux problèmes médicaux proviennent de défauts génétiques transmis à la suite de mutations passées. Parmi les désordres propres à l'espèce humaine et qui s'expliquent de la sorte, on peut citer la dystrophie myotonique, la cystite fibreuse, et l'hémophilie A, qui se rencontrent aux fréquences moyennes de 0,2, 0,5 et 0,1 pour mille individus nés vivants. On peut estimer qu'environ 30 % des personnes hospitalisées dans les pays développés le sont pour des troubles dans lesquels un défaut génétique joue un rôle plus ou moins important. La tâche du toxicologue en génétique est de s'assurer que la population humaine est protégée des agents qui, dans son environnement, feraient apparaître des mutations à un rythme plus élevé et qui incorporeraient ces mutations dans le patrimoine des générations futures.

Tumeurs

Les preuves que les mutations peuvent aussi jouer un rôle important dans le développement des cancers chez l'homme, se sont accumulées. Les travaux de nombreux chercheurs, tels que le professeur Bruce Ames (U.S.A.), ont démontré que la très grande majorité des produits chimiques qui engendrent le cancer chez l'homme et l'animal, se comportent comme des mutagènes quand on les engage dans des essais biologiques convenables. Ces produits chimiques paraissent réagir, directement ou indirectement, avec l'ADN des organismes vivants en y produisant des changements de l'information codée. A leur tour, ces changements se répercutent dans les cellules somatiques, c'est-à-dire dans les cellules de l'organisme autres que celles qui sont liées à la reproduction, avec pour conséquence l'apparition possible d'une tumeur, ou encore la transmission du gène défectueux aux générations suivantes. Mais, jusqu'à présent, on n'a pas prouvé irréfutablement que le cancer découle directement de mutations survenant dans les cellules somatiques ; on sait seulement qu'il existe une étroite corrélation entre la faculté d'un produit chimique d'induire des mutations, et sa faculté d'induire le cancer. Les chercheurs de nombreux pays ont mis au point des systèmes de dépistages variés qui emploient la réaction d'un organisme pour mettre en évidence l'activité mutagénique d'un produit chimique donné présent dans l'environnement. Les organismes employés vont de la bactérie, qui est une cellule relativement simple, aux cultures de tissus de mammifères. Dans tous ces systèmes, le principe est d'exposer des cellules dont le génotype est connu à l'agent étudié, selon un certain processus. A l'issue de ce traitement, on recherche s'il s'est produit des mutations, en cultivant les cellules dans un milieu spécial, qui ne peut convenir qu'aux cellules transformées. Celles-ci seront les seules à se développer tandis que les autres dépériront.

Les systèmes les plus fréquemment employés dans nos laboratoires sont fondés sur l'em-

* *De Spectrum n° 162.*



Traduction du texte anglais

a) **Séquence de bases nucléiques de l'ADN.**
b) **Transcription dans la séquence correspondante d'ARN.**
Chaque triplet de bases de l'ARN spécifie un amino-acide particulier.
c) **Conversion de la séquence d'ARN en une séquence d'acides aminés constituant une protéine fonctionnellement correcte.**
d) **Mutation par changement d'une base nucléique :**
1) Base changée,
2) Amino-acide changé dans la séquence de la protéine.
e) **Mutation par glissement de séquence :**
3) La base D a disparu,
4) A partir de cette position, tous les amino-acides de la chaîne sont différents.

Figure 1. Principes de la mutation illustrant comment la chaîne des amino-acides est altérée par le changement ou la disparition d'une base nucléique dans la séquence correspondante d'ADN.

ploi de bactéries ou de levures ayant déjà subi des mutations qui les rendent incapables de produire certains acides aminés, tels que l'histidine, et auxquelles on doit par conséquent fournir ces acides aminés pour assurer leur croissance. On dit que ces cellules sont auxotrophes. En présence de mutagènes, de telles cellules subissent de nouvelles mutations qui en font des cellules prototrophes, auxquelles il n'est plus nécessaire de fournir l'acide aminé particulier précédent. Quand des cellules prototrophes sont incorporées à un milieu de culture qui ne contient pas l'acide aminé en question, elles croissent et forment des colonies que l'on peut dénombrer après une certaine période d'incubation à une température appropriée. D'une façon générale, le dénombrement des colonies prototrophes est considéré comme une évaluation du pouvoir mutagène du composé chimique testé.

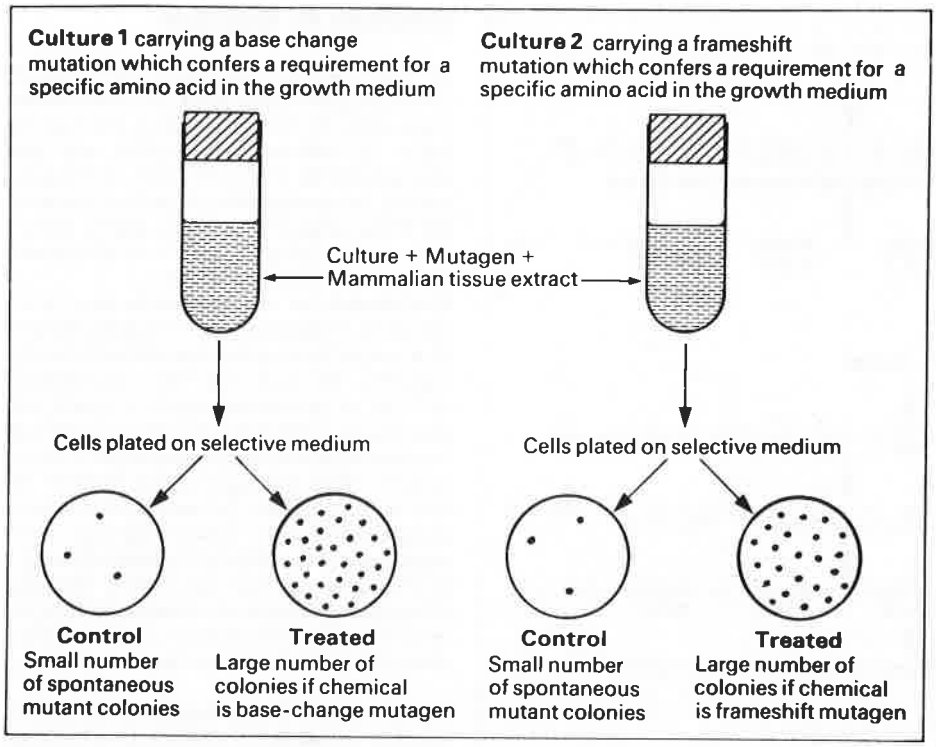
Systèmes de détection

Le type d'activité mutagène d'un produit chimique peut se déterminer par l'utilisation d'une série de souches d'essais pouvant se muter en cellules prototrophes, soit par changement de l'une des bases nucléiques, soit par un changement portant sur l'ensemble d'une séquence de bases, appelé glissement de la chaîne d'ADN. Ces altérations sont expliquées dans la figure 2.
Évidemment les cellules simples des bactéries ne se comportent pas métaboliquement de la même façon qu'un mammifère dans son ensemble, de sorte que nous considérons qu'il est en général nécessaire d'opérer sur des extraits tissulaires pour simuler dans nos essais le métabolisme d'un mammifère. Nous utilisons plus particulièrement l'extrait de foie de mammifère. De nombreuses autres modifications sont venues s'ajouter pour augmenter la sensibilité des cellules à l'activité mutagène et pour les rendre capables d'absorber des molécules chimiques de grande dimension, mais de telles considérations débordent le cadre du présent article.

L'un des problèmes principaux posés par les sociétés industrielles dans lesquelles nous vivons, consiste à savoir se débarrasser des déchets. La mer a servi et sert encore à la décharge délibérée et accidentelle des produits chimiques, et il se peut que certains d'entre eux, en très petit nombre, on veut l'espérer, soient des toxiques génétiques se montrant capables de provoquer des mutations dans les organismes vivants au contact desquels ils se trouvent. De tels dommages peuvent occasionner des changements dans l'architecture génétique des êtres marins. Les proportions relatives de certains de leurs gènes peuvent changer, ou exister sous des formes différentes, et comme ces tissus modifiés font partie de l'alimentation de l'homme, celui-ci se trouverait exposé, sans le savoir, aux risques inhérents à de telles modifications. Aussi avons nous décidé, il y a quelques années, d'étudier s'il pouvait se trouver dans l'eau de mer des agents mutagènes capables d'être un danger à la fois pour l'homme et pour la vie marine.

On peut envisager la recherche des mutagènes dans l'eau des mers et des océans par des procédés largement différents dans leurs principes. La démarche la plus compliquée, et empreinte d'une certaine naïveté scientifique, consisterait à analyser des échantillons d'eau, en cherchant à identifier tous les composés chimiques présents, puis à tester individuellement leur pouvoir mutagène en utilisant les systèmes d'indicateurs déjà mentionnés. Ce serait une tâche d'une formidable ampleur, car il se trouve dans ces échantillons un grand nombre de substances chimiques, naturelles ou provenant de l'activité de l'homme, et toutes devraient être considérées avec attention. Ce serait aussi une méthode coûteuse. Des programmes de ce genre ont été entrepris aux États-Unis d'Amérique sur une gamme de plus de 300 substances qui ont été trouvées dans l'eau potable.

Une seconde manière de procéder pourrait consister à prélever des échantillons d'eau de



Traduction du texte anglais

Culture 1. Les cellules ont subi une mutation par changement de base nucléique qui rend indispensable la présence d'un certain acide aminé dans le milieu de culture pour assurer la croissance.
Culture 2. Les cellules ont subi une mutation par amputation d'une base nucléique et glissement de séquence d'ADN qui rend indispensable la présence d'un certain acide aminé dans le milieu de culture pour assurer la croissance.
a) **Culture + agent mutagène + extrait tissulaire de mammifère.**
b) **Cellules déposées sur un milieu de culture dépourvu de l'acide aminé discriminant.**
Témoin : petit nombre de colonies prototrophes apparues spontanément.
Test : grand nombre de colonies prototrophes si l'agent mutagène est actif dans le remplacement d'une base.
Témoin : petit nombre de colonies prototrophes apparues spontanément.
Test : grand nombre de colonies prototrophes si l'agent mutagène est actif dans le glissement par amputation d'une base.

Figure 2. Processus des essais de recherche d'activité mutagène.

mer et d'océan, à concentrer les produits chimiques qui s'y trouvent, puis à exposer une gamme de système biologiques de dépistage aux liqueurs concentrées ainsi obtenues. Mais une telle façon de faire souffre d'au moins deux limitations fondamentales, l'une chimique et l'autre biologique.

Les méthodes de concentration soulèvent des problèmes considérables parce que les échantillons renferment un grand nombre de composés dont la stabilité est inconnue. Ces échantillons peuvent aussi contenir des substances qui sont des poisons pour les systèmes vivants utilisés dans les essais mutagéniques. Si les liqueurs concentrées contenaient à la fois des mutagènes et des poisons actifs, les cellules mutantes seraient tuées, et on aboutirait à l'interprétation erronée qu'il n'y a pas d'agent mutagène dans l'échantillon.

Organismes relais

Nous avons essayé de surmonter les problèmes fondamentaux de la seconde démarche en mettant à profit la propriété bien connue qu'ont de nombreux organismes marins de concentrer dans leurs tissus certains composés chimiques présents à l'état de traces dans leur environnement. Par ce biais, on se prémunit aussi contre l'effet de masque d'une activité toxique car il est raisonnable d'estimer qu'une action toxique aurait déjà tué l'organisme relais.

Au cours de notre travail initial, conduit avec M. Al-Mossawi venu d'Irak, après son diplôme, pour effectuer un travail de recherche, nous avons ramassé une variété comestible de moules, *Mytilus edulis*, dans une série de lieux où l'eau était claire, et dans d'autres, proches d'installations industrielles, où la pollution était apparente. Pour chaque lot de moules, les tissus ont été extraits à l'aide de divers solvants organiques, et ces extraits ont été filtrés sur des filtres à pores assez fins pour retenir toutes les bactéries (Figure 3). Enfin, ces extraits ont servi à plusieurs types de tests d'activité mutagène analogues à celui que nous avons déjà décrit. Au début de ce travail, les extraits tissulaires étaient obtenus par l'alcool éthylique, et il nous a été possible de voir que les moules ramassées près de certains sites industriels contenaient des produits mutagènes dans leurs tissus, tandis que celles que nous avions ramassées dans l'eau claire n'en contenaient pas.

Le tableau I est un exemple des résultats obtenus. Il présente le classement de moules ramassées en des points de plus en plus éloignés de la zone industrielle de Swansea Bay, vers l'Ouest. Le test est celui de l'apparition de colonies phototrophes dans une culture de cellules de levure. Initialement ces cellules ne pouvaient effectuer la synthèse de l'histidine et du tryptophane, et la mutation prototrophe a été estimée séparément pour chacun de ces deux acides aminés. Il est clair que les moules de Mumbles et de Caswell Bay, les deux sites les plus proches de la zone industrielle, ont produit des accroissements très nets de transformation prototrophe, tandis que les moules des sites plus éloignés de la zone industrielle (Oxwich, Port Eynon et Rhossilli) n'ont produit aucune augmentation significative.

Tableau 1. Comptages des colonies prototrophes induites par les extraits totaux de moules ramassées en divers points de la zone de Gower, dans le sud du pays de Galles. Primitivement, les cellules de levure employées nécessitent de l'histidine et du tryptophane pour leur croissance.

Traduction du texte anglais

a) **Origine du lot.**
b) **Mutations prototrophes par 10^5 cellules relativement au tryptophane.**
c) **Mutations prototrophes par 10^5 cellules relativement à l'histidine.**
d) **Témoin 1.**
e) **Témoin 2.**
e) **Mumbles.**
f) **Caswell Bay.**
g) **Oxwich.**
h) **Port Eynon.**
i) **Rhossilli.**

Treatment	trp prototrophs per 10^5 treated cells	his prototrophs per 10^5 treated cells
Control 1	19·7 ± 1·9	7·1 ± 1·2
Control 2	24·2 ± 2·2	8·9 ± 1·3
Mumbles	621·4 ± 11·1	247·5 ± 7·0
Caswell Bay	492·9 ± 7·0	132·0 ± 3·6
Oxwich	34·2 ± 1·8	15·1 ± 1·2
Port Eynon	29·0 ± 1·7	9·2 ± 0·9
Rossilli	31·3 ± 2·5	6·4 ± 1·1

Amélioration des tests

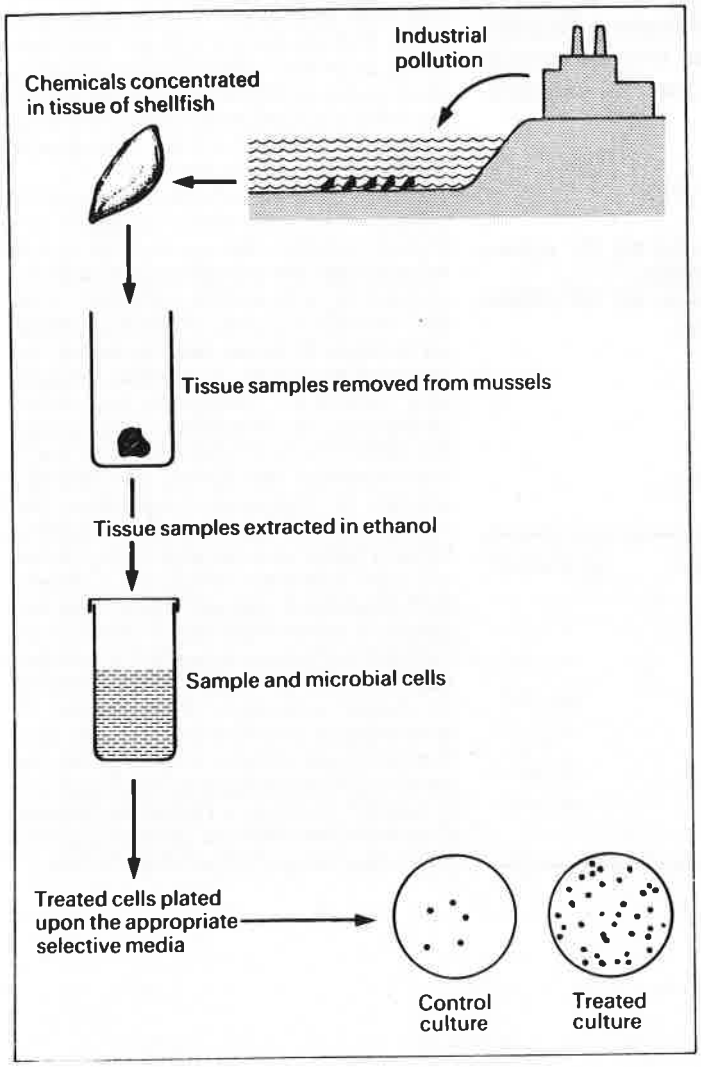
Nous nous sommes aperçus très tôt au cours de ces études que les systèmes biologiques servant à ces tests ne donnaient guère satisfaction sous la forme où nous les mettions en œuvre, et qui consiste, comme il est normal de le faire, à cultiver les cellules après leur

traitement sur des couches d'agar-agar ne contenant pas les acides aminés discriminants.

Le problème est que les extraits tissulaires contiennent, le plus souvent, de petites quantités de ces acides aminés discriminants. Dans ces conditions, les cellules auxotrophes peuvent accomplir quelques divisions, ce qui augmente la probabilité d'apparition spontanée de mutants. Cet effet peut masquer celui d'une activité mutagène faible, bien que son importance soit probablement négligeable quand l'activité mutagène est forte. Nous en sommes arrivés à conclure que les cultures sur agar-agar, et plus particulièrement quand l'acide aminé discriminant est l'histidine, mènent à des tests peu « robustes », qui ne conviennent pas aux essais d'extraits tissulaires.

On peut imaginer de nombreux perfectionnements pour contrecarrer l'entraînement d'acides aminés discriminants dans les extraits tissulaires. Il est possible, par exemple, de mettre en œuvre des techniques d'extraction qui n'entraînent pas les acides aminés ou d'envisager l'emploi des souches auxotrophes insensibles aux acides aminés entraînés dans les liqueurs extraites. Bien que nous ayons recouru à l'une et à l'autre de ces solutions, nous avons trouvé que le remède le plus efficace était d'améliorer la robustesse du test.

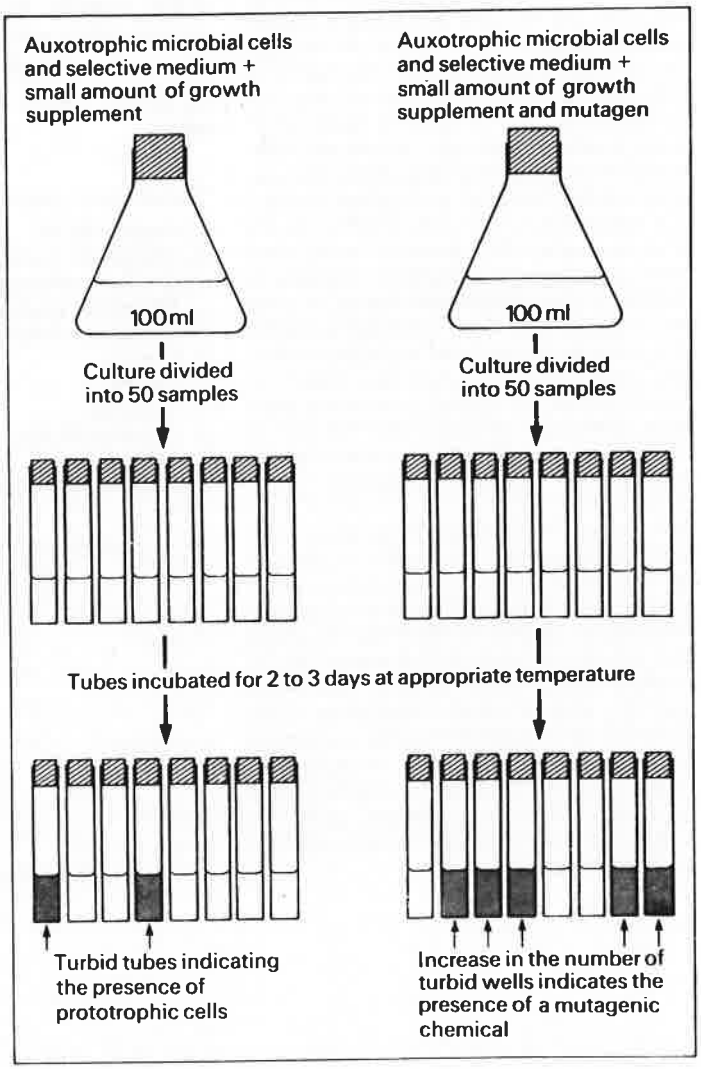
Nous avons arrêté notre choix sur une évaluation par fluctuation, selon la technique largement perfectionnée par Michael Green, du Conseil de la recherche médicale (Unité des mutations cellulaires, Brighton). Sous la forme la plus simple, cette technique consiste à mélanger des cellules d'une culture de micro-organismes auxotrophes avec une petite quantité des acides aminés discriminants, dans un milieu contenant le réactif à



Traduction du texte anglais

a) **Polluants industriels.**
b) **Produits chimiques concentrés dans les tissus des moules.**
c) **Tissus de moules disséqués.**
d) **Extraction des tissus par l'éthanol.**
e) **Liqueur d'extraction et cellules microbiennes.**
f) **Après traitement, les cellules sont déposées sur un milieu de culture approprié, en boîte de Pétri.**
g) **Témoin.**
h) **Test.**

Figure 3. Emploi de moules comme organismes relais pour concentrer les produits chimiques dans un dépistage d'agents mutagènes d'origine chimique.



Traduction du texte anglais

a) **Cellules microbiennes auxotrophes + milieu de culture dépourvu d'acides aminés discriminants + petites quantités de ces acides aminés.**
b) **Lot témoin, divisé en 50 échantillons.**
c) **Cellules microbiennes auxotrophes + milieu de culture dépourvu d'acides aminés discriminants + petites quantités de ces acides aminés + agent mutagène.**
d) **Lot d'essai, divisé en 50 échantillons.**
e) **Tubes incubés pendant 2 ou 3 jours, à température voulue.**
f) **Mutations prototrophes spontanées, indiquées par le trouble du milieu.**
g) **Un plus grand nombre de tubes troubles indique des mutations prototrophes induites par l'agent mutagène.**

Figure 4. Principe de l'analyse du pouvoir mutagène par fluctuation.

étudier. On divise ensuite ce mélange en 50 échantillons de chacun 2 millilitres qui sont incubés simultanément à la température voulue. Durant cette incubation, les cellules restées auxotrophes se divisent deux ou trois fois puis cessent de se diviser quand la petite quantité d'acides aminés discriminants se trouve épuisée. Au contraire, s'il existe des cellules devenues prototrophes, elles peuvent se diviser continuellement, ce qui produit une apparence de trouble dans le liquide de culture. Quand le mélange initial contient un agent mutagène, il se forme une quantité accrue de cellules prototrophes, et le nombre de tubes de culture d'apparence trouble est plus grand que dans le lot témoin. On évalue simplement l'activité mutagène en comparant le nombre de tubes à apparence trouble dans le lot étudié et dans le lot témoin (Figure 4).

Selon ce principe, et en ajustant convenablement la quantité ajoutée d'acides aminés discriminants, deux étudiants diplômés, Munira Kadhim, d'Irak et William Barnes, des États-Unis, ont prouvé, dans nos laboratoires, qu'un tel test convenait idéalement bien au dépistage à partir d'extraits tissulaires, et qu'il était très « robuste ».

Dans le manteau

Dans nos premiers essais qui tendaient à démontrer la présence de produits mutagènes dans les moules, nos extraits étaient préparés à partir de la totalité de l'organisme. La question suivante était de rechercher si les mutagènes se localisaient ou non dans un tissu particulier de l'animal. Dans ce but, nous avons préparé des extraits des différents tissus de l'animal après dissection, avec pour solvant l'éthanol. Les liqueurs extraites ont ensuite été testées, séparément, à la fois avec la levure et les bactéries. Nous avons ainsi considéré séparément le manteau, le muscle, le pied, l'hépatopancréas et le système reproducteur. Il est indubitable d'après nos résultats que l'activité mutagène se localise dans le manteau. Avec des cellules de levure comme indicateur les extraits de manteau produisent de huit à onze fois plus de colonies prototrophes à la fois pour l'histidine et pour le tryptophane (Tableau 2).

Les méthodes précédentes ont aussi servi, après modification, à tester l'activité mutagène des contaminants à métaux lourds qui se concentrent dans les tissus des moules. Al-Mossawi et Munira Kadhim ont pu réunir des preuves convaincantes montrant que les extraits tissulaires des moules contaminées par des métaux lourds témoignent d'une forte activité mutagène décelable par les tests de fluctuation. Comme pour les mutagènes organiques, les mutagènes à métaux lourds se concentrent dans le manteau, quoiqu'on en trouve aussi dans d'autres tissus, mais en quantités moindres.

Tableau 2. Résultats des traitements d'une souche de cellules de levure auxotrophes relativement à l'histidine et au tryptophane avec les extraits de divers tissus de moules contaminées.

Traduction du texte anglais

a) **Origine du lot.**
b) **Mutations prototrophes par 10^5 cellules relativement au tryptophane.**
c) **Mutations prototrophes par 10^5 cellules relativement à l'histidine.**
d) **Témoin.**
e) **Muscle.**
f) **Manteau.**
g) **Hépatopancréas.**
h) **Pied.**
i) **Système reproducteur.**

Treatment	trp prototrophs per 10^5 treated cells	his prototrophs per 10^5 treated cells
Control	19.1 ± 1.8	36.7 ± 2.3
Muscle	16.6 ± 1.4	41.0 ± 2.9
Mantle	135.7 ± 8.7	589.6 ± 23.4
Hepatopancreas	27.9 ± 1.5	41.6 ± 2.7
Foot	17.6 ± 0.9	39.4 ± 2.1
Reproductive system	14.3 ± 2.3	20.7 ± 1.9

Nous avons également utilisé les méthodes mises au point pour les moules pour des dépistages impliquant d'autres organismes relais. William Barnes s'en est servi avec succès pour une variété d'algue, et j'ai pu montrer que ces méthodes conviennent aussi aux huîtres, aux palourdes et aux extraits de foie de poissons, grâce à des tissus fournis par des collaborateurs des États-Unis.
Toutefois, ces essais se bornent à prouver la présence d'un constituant possédant une activité mutagène. Bien qu'on puisse en tirer indirectement des renseignements sur le mécanisme de cette activité mutagène, on ne doit en espérer aucune information directe sur la nature de l'agent. Mais on dispose, par ailleurs, d'une gamme de procédés chimiques pour séparer les constituants des extraits biologiques, par exemple en s'appuyant sur des différences de solubilité, de sorte que le fonctionnement des extraits par différents solvants est intéressant à considérer. Des séparations de ce type simplifient considérablement l'analyse, et l'on peut espérer découvrir ainsi l'identité chimique de n'importe quel constituant mutagène actif. Une fois connue la composition des fractions actives, l'utilisation des tests mutagènes à microbes indicateurs permet de chiffrer l'activité propre de chaque composant. Parallèlement, de telles études peuvent être étendues aux essais impliquant des cellules de mammifères qui semblent être des indicateurs plus proches de la toxicité génétique à l'égard de l'homme. C'est dans cette direction que nous espérons développer nos recherches dans l'avenir.

Mise en œuvre des électrodes volumiques dispersées en hydrométallurgie *

par Michel Jaccaud

(PCUK, Centre de recherche de Lyon, 69310 Pierre-Bénite.)

L'objet de cet exposé est de présenter un certain nombre d'exemples se mise en œuvre d'électrodes volumiques dispersées dans le domaine hydrométallurgique. L'activité dans ce domaine se répartit en deux grands groupes d'opérations :

- **l'extraction d'un métal** à partir d'une solution d'un de ses ions : il s'agit, dans tous les cas, d'une réduction avec dépôt cathodique du métal.
- **la solubilisation d'un métal** à partir d'une forme insoluble : il s'agit, en général, de l'oxydation d'une forme ionique insoluble, contenue dans un minerai, en une forme ionique soluble.

Avant d'entreprendre l'analyse des performances obtenues dans chacun de ces deux types d'opérations grâce à la mise en œuvre d'électrodes volumiques dispersées, nous tenterons de mettre en évidence l'apport décisif de ces nouvelles structures d'électrodes dans l'amélioration de la productivité volumique d'un réacteur électrochimique.

I. Les électrodes dispersées : généralités

I.1. Définition

On appelle électrode volumique dispersée une structure poreuse à conduction électronique à travers laquelle circule une solution à conduction ionique (électrolyte).
Pour bien mettre en évidence la circulation forcée de l'électrolyte à travers l'électrode, on les désigne aussi par « électrodes poreuses percolantes » (E.P.P. de F. Coeuret).

I.2. Classification des différents types d'électrodes volumiques dispersées

L'analyse des publications et des brevets fait apparaître deux grandes catégories d'électrodes volumiques.

- les électrodes constituées d'un lit de grains conducteurs,
- les électrodes constituées d'un garnissage conducteur (grilles, grillages, fils, enroulement de feuilles).

Historiquement, ce sont les électrodes à lit de grains conducteurs qui ont été étudiées les premières. Les brevets dans ce domaine ont été déposés en 1966, à quelques mois d'intervalle, par F. Coeuret en France, M. Fleischmann et F. Goodridge en Angleterre.
Ces premiers travaux portaient sur des lits fluidisés de particules par analogie avec les lits catalytiques. On a vu apparaître ensuite de nombreuses études consacrées à des lits fixes de grains conducteurs.

* *Voir également* L'actualité chimique, *1980, 1, 28.*

Enfin, beaucoup plus récemment, ont été proposés des dispositifs mettant en œuvre une structure conductrice continue du type grille, grillage ou métal déployé.
Cette évolution trouve sa justification dans les développements théoriques de modélisation de ces systèmes électrochimiques.
Ainsi, le passage du lit fluidisé au lit fixe permet d'atteindre une meilleure conduction électrique de la phase dispersée avec deux conséquences importantes : diminution de la chute ohmique dans l'électrode et fonctionnement de celle-ci en équipotentielle.

Le passage du lit fixe de particules à une structure de type grillage permet un accroissement significatif de la porosité de l'électrode.
Celle-ci est un paramètre important pour le bon fonctionnement d'une électrode volumique.
Ces aspects seront développés dans d'autres conférences consacrées aux aspects théoriques de ces réacteurs électrochimiques.

Remarques
Nous ne traiterons pas des électrodes poreuses, du type pile à combustible, mais il est clair que ces électrodes constituent le cas limite des structures granulaires.

Pour une texture donnée de l'électrode (grains ou grillage), deux configurations sont possibles selon les directions des flux de matière et d'électricité : ces flux peuvent être colinéaires ou perpendiculaires (figure 1).

La plupart des travaux, tant théoriques qu'expérimentaux, portent sur des systèmes dans lesquels l'écoulement du liquide et le champ électrique sont parallèles. Toutefois, l'analyse théorique et les résultats pratiques montrent que, dans de nombreux cas réels, il n'est pas possible d'obtenir une polarisation convenable de l'électrode sur une épaisseur supérieure à quelques centimètres. Dans ces conditions, le taux de conversion du réactif reste faible.
Par contre, l'utilisation d'une configuration écoulement – champ électrique croisés permet d'atteindre des taux de conversion élevés ; une telle configuration convient mieux à une mise en œuvre industrielle.

I.3. Critère de performance d'un réacteur électrochimique : apport des électrodes dispersées

Pour mettre en évidence l'intérêt économique des électrodes volumiques dispersées, il nous paraît utile de préciser les paramètres qui déterminent le fonctionnement d'un réacteur électrochimique sous l'angle de la production.

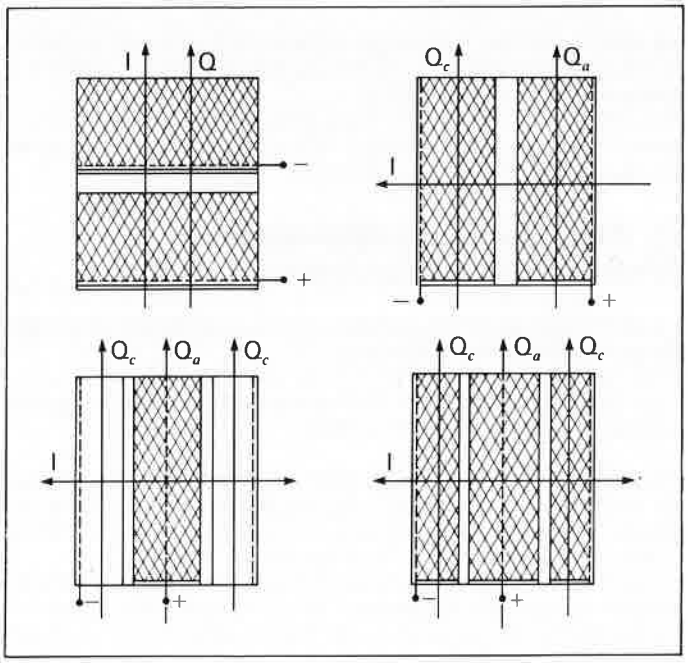


Figure 1.

La performance d'un réacteur, chimique ou électrochimique, peut se mesurer par sa productivité volumique par unité de temps (« space time yield » des anglosaxons en $kg/s.m^3$).
Dans le cas d'un réacteur électrochimique fonctionnant en régime de diffusion, cette productivité s'exprime par la relation :
$P = kA_VMC$

- P : productivité volumique ($kg/s.m^3$),
- A_V : surface volumique de l'électrode (m^2/m^3),
- M : masse molaire du produit (kg/mole),
- C : concentration du réactif ($mole/m^3$),
- k : coefficient de transfert de matière (m/s).

Pour améliorer les performances, on peut intervenir sur deux paramètres : le coefficient de transfert de matière k et la surface volumique de l'électrode A_V.

L'augmentation du coefficient k s'obtient, en général, par une circulation de l'électrolyte à grande vitesse, en régime turbulent :

$k \sim u^{0.8}$.

On peut également, tout au moins au laboratoire, agiter la solution. Quelques prototypes de cellules utilisent la rotation de l'électrode pour améliorer le transfert de matière (cylindre tournant).
En principe, l'agitation de la solution ou la circulation à grande vitesse permet d'abaisser l'épaisseur de la couche de diffusion de 0,500 mm (convection naturelle), à environ 0,005 mm (convection forcée en régime turbulent). Le coefficient de transfert de matière est multiplié par 100.
Ceci est obtenu au prix d'une énergie mécanique de pompage et le plus souvent par l'emploi de configurations de cellules très élaborées, (type cellule à entrode capillaire développée par F. Beck à BASF).

L'augmentation de la surface volumique A_V (rapport de l'aire électrochimiquement active au volume correspondant de la cellule) ne peut s'obtenir, dans un électrolyseur classique à plaques, que par l'empilement le plus compact possible des surfaces actives et des diaphragmes ; on réalise ainsi des structures analogues aux filtres presses.

Le tableau I donne quelques valeurs de ce paramètre pour divers types de cellules. Nous avons fait figurer dans ce tableau deux électrodes volumiques dispersées qui ont été proposées dans les premiers travaux de F. Coeuret et de F. Goodridge (lit fluidisé et lit fixe de grains conducteurs).

Tableau 1

Cellule	A_V (m^{-1})
Cylindrique à diaphragme	5 ... 20
Filtre presse à diaphragme	10 ... 100
Capillaire	50 ... 1 000
Grains lit fixe	500
Grains lit fluidisé	5 000

La figure 2 permet de situer les valeurs de surface volumique pour différentes géométries de cellules en fonction d'une dimension caractéristique (écartement des électrodes, porosité des électrodes dispersées).
Cette comparaison fait apparaître le gain considérable en productivité volumique apporté par les électrodes dispersées : c'est l'aspect le plus spectaculaire et le mieux connu.

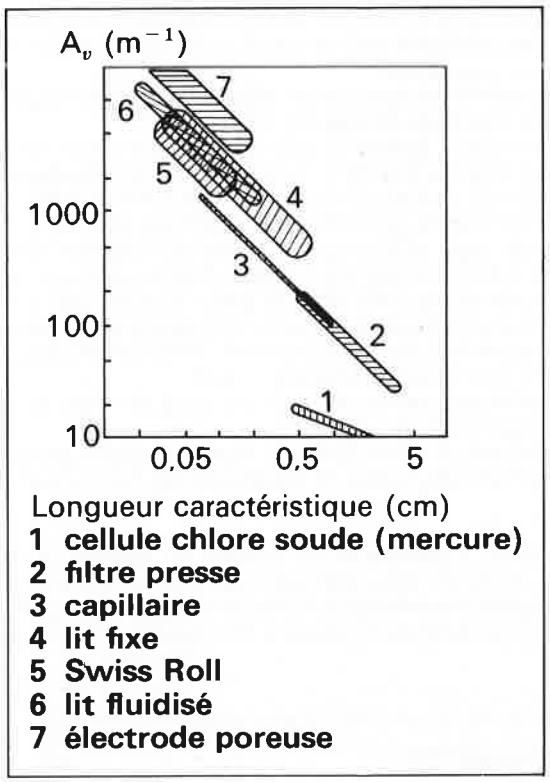


Figure 2.

Lorsque l'on traite des solutions concentrées (telles que la saumure pour la fabrication du chlore), on peut faire fonctionner la cellule sous des intensités volumiques élevées : 35 000 à 100 000 A/m^3, malgré la valeur modeste de la surface volumique des électrolyseurs classiques (3 à 100 m^{-1}).
Il n'en est plus de même lorsque l'on doit traiter des solutions diluées qui imposent des densités de courant extrêmement faibles (10 à 100 A/m^2). Dans ces conditions, un électrolyseur classique ne pourra être exploité qu'à moins de 10 % de sa capacité normale.
Ceci se traduit par une majoration, le plus souvent inacceptable, du coût d'installation.

Considérées sous l'aspect transfert de matière, les électrodes volumiques dispersées apportent une amélioration significative ; en effet, la percolation de la solution à travers la structure poreuse permet d'obtenir au niveau de la phase solide conductrice une couche limite de diffusion d'épaisseur réduite : la matrice poreuse joue alors le rôle de promoteur de turbulences.

Ce résultat est illustré sur la figure 3 où l'on compare, pour une même valeur du coefficient de transfert de matière, les vitesses de passage dans un canal vide et dans un canal rempli d'un lit fixe de grains conducteurs.

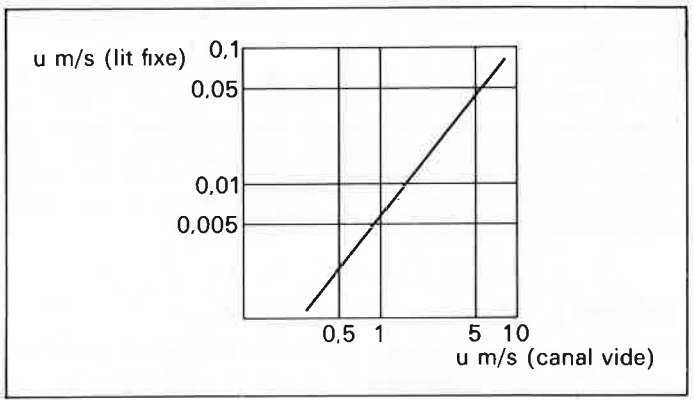


Figure 3.

Cette analyse du critère de performance d'un réacteur électrochimique montre que l'utilisation d'électrodes volumiques dispersées permet un gain, à la fois, sur la surface volumique et sur le coefficient de transfert de matière.
Ce double effet sur la productivité volumique ouvre à l'électrochimie un domaine jusqu'alors inaccessible, celui du traitement des solutions diluées.

Remarque
Il faut également citer comme domaine d'application celui des réactions électrochimiques à transfert électronique lent ; dans ce cas, en effet, l'accroissement de la surface volumique est, à lui seul, un avantage qui peut être déterminant.

II. Extraction de métaux à partir de solutions diluées

Pour les raisons évoquées plus haut, les cellules d'électrolyse classiques ne sont pas à même de traiter des solutions contenant moins de 5 g/l d'ion métallique. C'est en-dessous d'une telle teneur que l'on peut envisager l'utilisation d'électrodes dispersées.
Parmi les diverses sources de métaux en solutions diluées, les deux plus importantes sont les liqueurs de lixiviation de minerais pauvres et les effluents industriels. Il convient de définir les traits caractéristiques de ces deux sources de métaux pour mieux situer le contexte dans lequel pourraient intervenir ces nouveaux réacteurs électrochimiques.

II.1. Extraction des métaux des solutions de lixiviation de minerais

Nous envisageons le cas du cuivre qui est, de loin, le plus important. L'évolution de la consommation et des réserves connues fait que l'on tend à traiter des minerais de plus en plus pauvres : les minerais exploités actuellement aux USA ont une teneur moyenne de 0,5 à 1 % (figure 4).
Les cellules d'extraction du cuivre ont relativement peu évolué depuis une cinquantaine d'années ; les solutions contiennent en général 50 g/l de cuivre et la densité de courant se situe dans le domaine 250-500 A/m^2. La diminution attendue de la teneur en cuivre des solutions ouvre sans doute un domaine de recherche pour les systèmes à électrodes volumiques ; toutefois, les spécialistes de cette industrie sont convaincus que des progrès importants sont

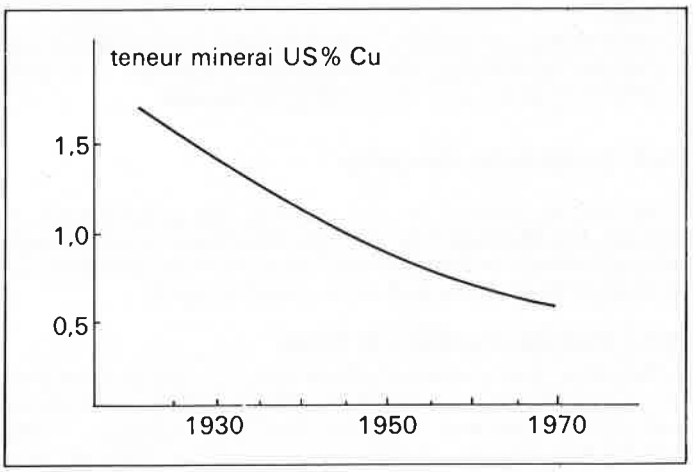


Figure 4.

possibles sur les cellules classiques au prix de modifications relativement mineures. Autrement dit, il n'est pas certain que le besoin d'une technologie « révolutionnaire » s'impose avant la fin du siècle.
En outre, on dispose déjà de procédés de concentration telle que l'extraction liquide-liquide, qui permettent de traiter des solutions à 1 g/l de cuivre, voire même moins.

En dehors de ces contraintes, il convient également de citer la nécessité d'obtenir un dépôt métallique de qualité convenable (c'est d'ailleurs cette dernière contrainte qui empêche l'utilisation de la densité de courant optimale sur les cellules actuelles).

II.2. Dépollution des effluents industriels

C'est un domaine beaucoup plus diversifié que le précédent tant par la nature du métal à retirer du milieu que par les volumes à traiter. Une des principales contraintes qui pèse sur lui est d'ordre législatif : elle fixe les concentrations maximales admissibles des métaux lourds dans les effluents. La seconde contrainte est bien entendu de nature économique : le traitement des effluents doit être prévu dans le coût de l'atelier.
La méthode classique de traitement des effluents contenant des métaux est la précipitation chimique par addition d'une base. Notons que ce procédé décrit le plus souvent comme simple, bon marché et sans ennui, est quelquefois trop consommateur de main d'œuvre et peut alors être cher. Le tableau 2 donne un certain nombre de limites fixées par les réglementations et les teneurs minimales accessibles par simple élévation du pH.

Tableau 2

Métal	Tolérance dans les rejets (ppm)			pH 8 (ppm)
	Suisse	USA	RFA	
Hg	0,01			
Ag	0,1			
Cr (VI)	0,5			
Cu	1	0,5	1-2	1
Ni		0,5	1-3	340
Cd		0,5	1-5	1 500
Zn		0,5	2-5	2,6
Pb		0,5		2,1

Parmi les autres procédés, non électrochimiques, la cémentation est le plus ancien mais également le moins utilisé. Nous citerons également l'extraction liquide-liquide (mais ne peut guère intervenir en-dessous de 100 ppm), l'échange d'ions, l'osmose inverse et l'électrodialyse. Tous ces procédés étant en fait des moyens de concentrer le métal.
Contrairement au précédent, ce domaine nous paraît plus sûrement ouvert aux technologies électrochimiques nouvelles... à la seule condition de passer sous la contrainte économique.

II.3. Extraction du cuivre

C'est dans ce domaine que l'on trouve le plus grand nombre de travaux. Pratiquement, tous les types d'électrodes volumiques ont été expérimentés sur la récupération du cuivre. Nous donnerons une description de quelques réalisations caractéristiques.

II.3.1. Électrode granulaire à lit fluidisé

• D.S. Flett (Warren Spring Laboratory 1971) a étudié l'extraction du cuivre d'une solution sulfurique 0,5 M, à 2 g/l de cuivre. Il a utilisé une cellule cylindrique de petites dimensions (diamètre 33 mm, volume 420 cm^3). La cathode est constituée de billes de verre recouvertes de cuivre (350 µm).
Avec une densité de courant de 1 750 A/m^2, la teneur en cuivre a été abaissée à 27 ppm avec un rendement de Faraday supérieur à 90 %. Suivant les conditions expérimentales, la consommation énergétique serait de 1 800 à 2 600 kWh/t cuivre.
D.S. Flett estime qu'en milieu sulfurique 1 M, la teneur en cuivre peut être abaissé à 6 ppm sans perte appréciable de rendement. Le procédé pourrait être continu par soutirage des particules les plus grosses et recyclage après traitement.

• J.A.E. Wilkinson et K.P. Haines (CJB Developments Limited) ont publié en 1971 les résultats d'essais de longue durée sur des cellules de dimensions plus importantes.
Ces cellules comportaient deux compartiments parallélépipédiques séparés par une membrane échangeuse d'ions.
La cathode était un lit fluidisé de particules de cuivre à un taux d'expansion variable de 25 à 50 %. L'épaisseur du lit cathodique, dans la direction du courant, était comprise entre 0,8 et 2 cm ; la cellule la plus importante comportait une membrane de 1 m^2.
Les particules de cuivre avaient une granulométrie comprise entre 420 et 600 µm. L'anolyte était une solution d'acide sulfurique ; le catholyte était une solution sulfurique de sulfate de cuivre (pH 2-3). L'anode était en titane platiné, le collecteur cathodique en titane ou en cuivre. La concentration en cuivre variait de 2 000 à 10 000 ppm et était abaissée le plus souvent à moins de 1 ppm.
Des marches continues ont été obtenues par ajout de cuivre pour maintenir la teneur constante en solution.
Ainsi les particules de cuivre croissaient en diamètre : les plus grosses étaient soutirées périodiquement et remplacées par des particules plus fines.

La figure 5 donne le rendement de Faraday en fonction de la concentration en cuivre pour différentes densités de courant (la densité de courant est calculée sur la surface de la membrane). Ainsi à 1 000 A/m^2, le rendement est supérieur à 90 % jusqu'à 500 ppm de cuivre.

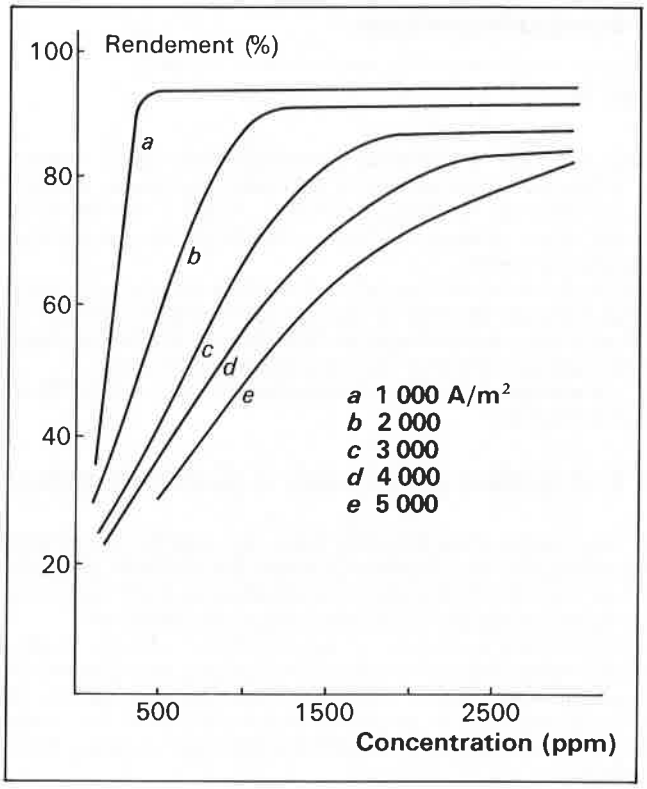


Figure 5.

Certains essais ont permis d'abaisser la teneur en cuivre de 600 à 10 ppm avec un rendement voisin de 90 % à une densité de courant de 660 A/m^2. Le diamètre des grains variait de 420 à 500 µm.
En présence d'ions ferriques, la réduction en ions ferreux entraînait une diminution du rendement ; par contre, une solution contenant 100 ppm de zinc et 200 ppm de cuivre a pu être traitée avec des rendements d'élimination du cuivre aussi bons qu'en l'absence de zinc.
La tension aux bornes de la cellule, facteur important du coût énergétique, se situait vers 3,5 volts jusqu'à une teneur en cuivre voisine de 10 ppm (figure 6).
A partir des résultats expérimentaux J.A.E. Wilkinson et K.P. Haines ont évalué le coût énergétique de l'extraction du cuivre à l'aide de

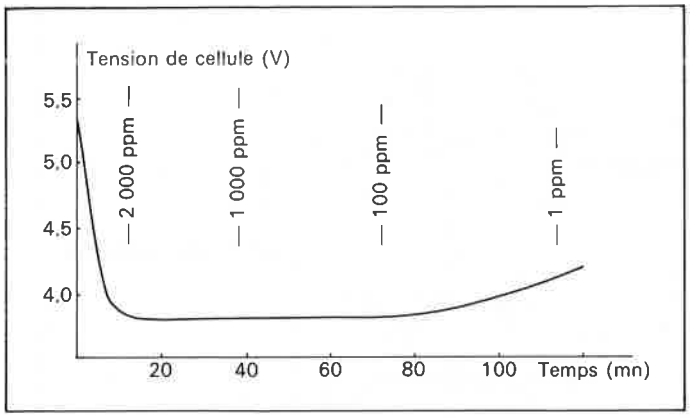


Figure 6.

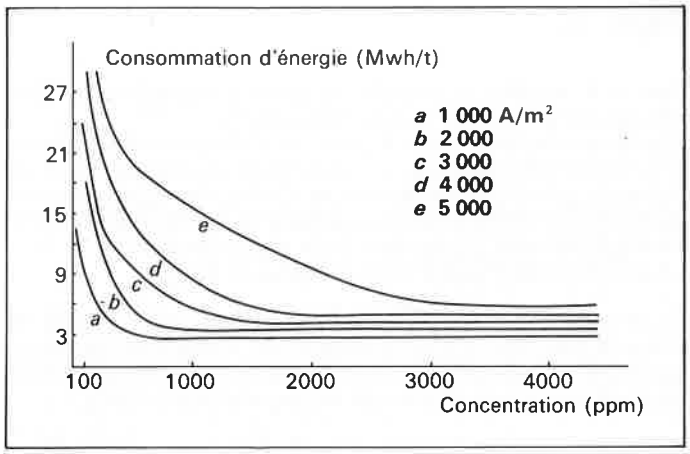


Figure 7.

cathodes fluidisées. On donne sur la figure 7 la consommation énergétique en kWh/t en fonction de la concentration en cuivre pour plusieurs densités de courant (essais portant sur une cellule de 30 × 40 cm avec une poudre de cuivre de 600-710 µm et pour un taux d'expansion du lit de 20 à 25 %).
A titre d'exemple, on peut calculer que le passage de 3 000 à 10 ppm de cuivre, à une densité de courant de 2 000 A/m², nécessite une dépense d'électricité de 800 F/t environ.

Cette technologie soulève un certain nombre de problèmes : agglomération des particules de cuivre, croissance dendritique sur le collecteur cathodique, croissance de cristaux sur la membrane avec risque de cours-circuits.

• C'est également en 1971 que M.L. Fleischmann a publié ses travaux sur l'extraction du cuivre. En milieu sulfurique 1 M, à condition d'éliminer l'oxygène de la solution, il est possible d'extraire le cuivre à des teneurs aussi basses que 6 ppm avec un rendement de Faraday de 99 % à une densité de courant de 300 A/m². Notons que sur une électrode plane, la densité de courant limite, à cette concentration, serait de 1 A/m².

• F. Goodridge (Newcastle University, 1974) a travaillé sur une cellule rectangulaire à compartiments séparés par une paroi poreuse en céramique. La cathode fluidisée a une section de 0,023 m² et une épaisseur de 0,025 m la direction du courant ; elle est constituée de billes de cuivre de 500 µm (figure 8). Le collecteur cathodique est en cuivre et l'anode en titane platiné.
Les flux d'électrolyte et de courant sont perpendiculaires ; les essais sont effectués sur un système à recirculation réacteur-réservoir.
La solution traitée est à 2 000 ppm de cuivre dans l'acide sulfurique 1 M. Cette concentration est maintenue constante par ajout de sulfate de cuivre. F. Goodridge a particulièrement étudié la distribution du potentiel dans le lit fluidisé ; cette distribution permet d'interpréter les variations du rendement de Faraday avec la densité de courant (figure 9). On constate en effet que, dans un certain

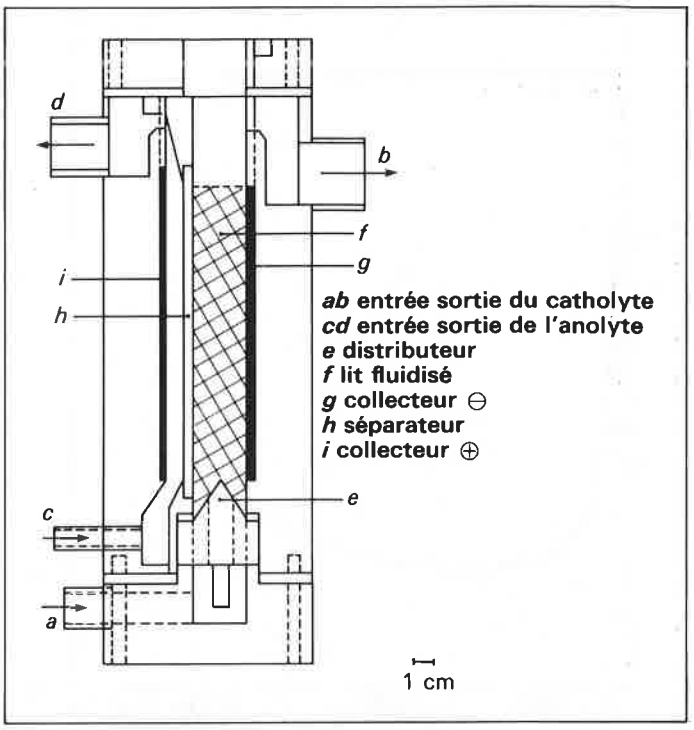


Figure 8.

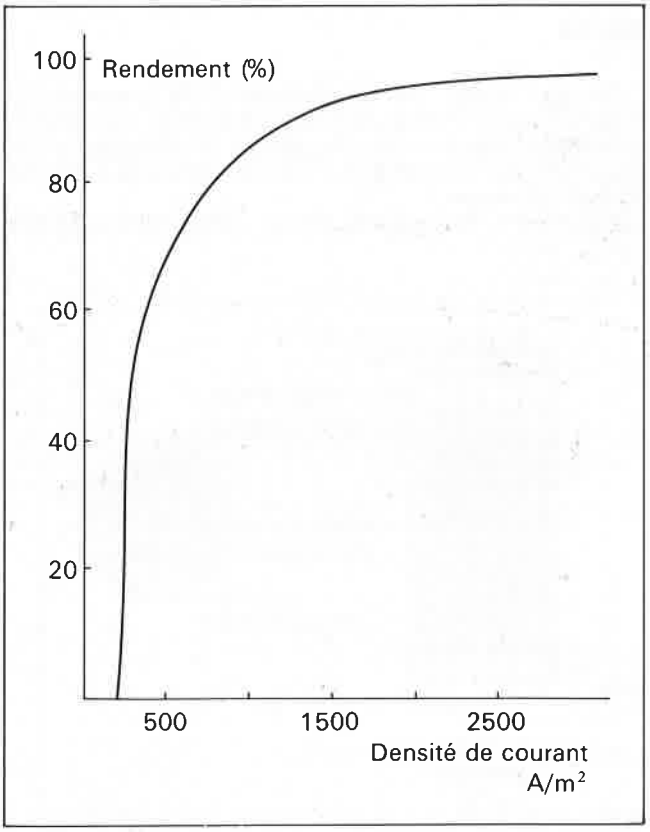


Figure 9.

domaine, le rendement décroît avec la densité de courant : certaines régions de la cathode ne sont pas protégées cathodiquement lorsque la densité de courant est trop faible et il y a redissolution du cuivre. Ce phénomène apparaît plus nettement sur la variation de la consommation énergétique en fonction de la densité de courant (figure 10).
On constate que l'optimum de densité de courant est à 1 000 A/m², la consommation énergétique est alors voisine de 3 000 kWt/t cuivre.

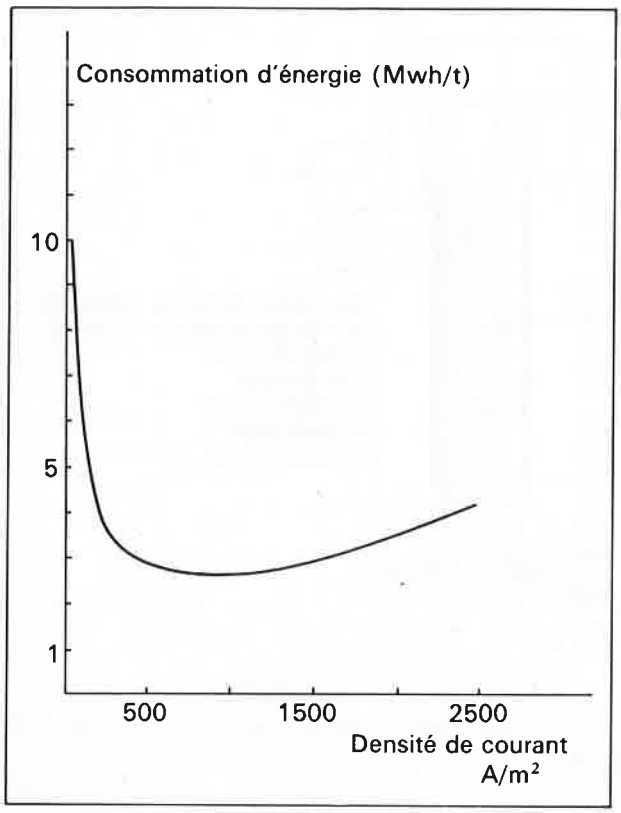


Figure 10.

• G. Van der Heiden (AKZO Hollande 1978) a examiné les problèmes d'extrapolation des électrodes à lit fluidisé : il conclut que l'investissement augmente avec la capacité de l'installation à la puissance 0,73 ; c'est un coefficient tout à fait comparable à celui des installations chimiques.
Les recherches ont été conduites sur une cellule cylindrique (figure 11).

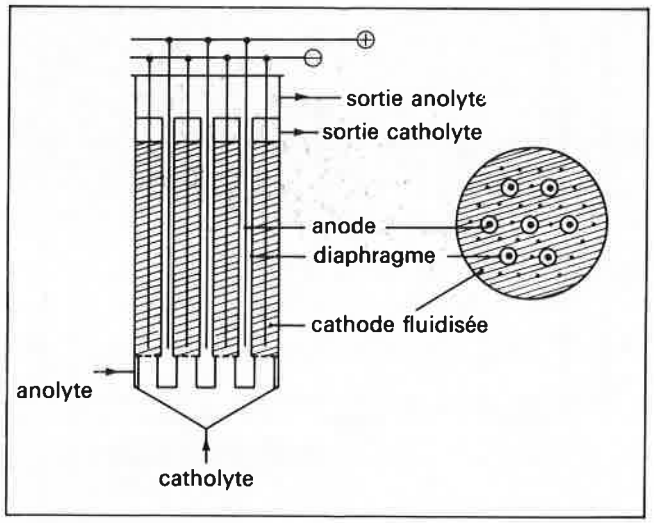


Figure 11.

Les anodes sont des barreaux entourés d'une membrane échangeuse d'ions. Ce type de cellule permet une extrapolation aisée avec une seule alimentation en catholyte. Le plus gros module expérimenté contenait sept ensembles cylindriques anode-diaphragme ; la hauteur du lit fluidisé atteignait 1,2 m. Le diamètre de la cellule était de 0,35 m. L'intensité était de 1 000 à 2 000 A pour un débit de 10 à 20 m^3/h. Le schéma de principe de l'installation est donné sur la figure 12 ; le choix d'un diaphragme de très faible perméabilité

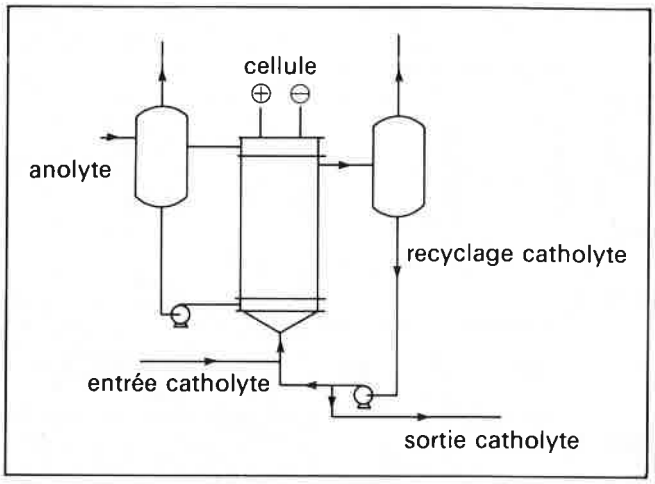


Figure 12.

(0,01 $m^3/h.m^2$ pour un écart de pression de 1 bar) permet d'utiliser des circuits catholyte et anolyte indépendants.
Un effluent issu d'un atelier de production d'hydrocarbures chlorés et contenant 100 ppm de cuivre a vu cette teneur abaissée à moins de 1 ppm en un seul passage au débit de 1 m^3/h. Cet effluent contenait également des solides en suspension (0,5 à 5 g/l) et des organochlorés (0-16 g/l) qui n'ont pas interféré sur le dépôt de cuivre.
Le rendement de Faraday était de l'ordre de 70 %.

Ce procédé est en compétition avec la précipitation alcaline du cuivre. Il a été établi que pour traiter 15 m^3/h d'effluent, l'investissement et le coût de fonctionnement du réacteur électrochimique sont plus faibles que ceux du procédé de précipitation/filtration.

Une autre possibilité intéressante est la séparation cuivre-nickel. A une concentration en nickel de 50 g/l (Cl^- 100 g/l, pH 1), la concentration en cuivre a pu être ramenée de 2 g/l à moins de 0,1 mg/l ; le dépôt de cuivre était à 99 % de pureté.

De même, ce type de réacteur permet la récupération du cuivre en présence d'arsenic sans formation dangereuse d'arsine : une solution contenant 5 g/l de cuivre et 5 g/l d'arsenic en milieu sulfurique 200 g/l a pu être amenée à 10 ppm de cuivre ; la teneur en arsenic du dépôt reste inférieure à 0,3 %.

Les chercheurs de AKZO annonçaient, en juillet 1978, la mise en place de deux unités à cathode fluidisée sur un site en Allemagne Fédérale pour la récupération d'environ 1 kg/h de cuivre d'un effluent sulfurique (100 g/l, 3 m^3/h).
La réduction de la teneur en cuivre de 300 à moins de 5 ppm devrait permettre le recyclage de la solution sulfurique, ce que ne permettent pas les autres procédés. Les investissements de l'unité d'électrolyse seraient du même ordre que ceux d'une unité de résine échangeuse d'ions.

Enfin, une seconde application était en projet : la récupération du cuivre et du cadmium d'un électrolyte d'extraction du zinc. Le procédé est avantageusement comparé à la concentration par la poudre de zinc.
L'effluent contient moins de 0,1 ppm de cuivre (800 ppm à l'entrée, rendement 70 %), et moins de 1 ppm de cadmium (800 ppm à l'entrée, rendement 40 %).

II.3.2. Électrode granulaire à lit fixe

Les électrodes à lit fluidisé permettent alimentation et soutirage en continu des particules chargées de cuivre ; il n'en est pas de même pour les électrodes à lit fixe. C'est pourquoi, on a surtout étudié ces dernières pour concentrer des solutions : on dépose d'abord le cuivre pur, on le redissout dans un petit volume d'électrolyte sous forte densité de courant anodique.
Des dispositifs comportant deux électrodes granulaires à lit fixe ont été proposés avec inversion périodique de polarité.

• M.L. Fleischmann (1974) a étudié systématiquement ce procédé dans une configuration à flux de matière et d'électricité parallèles. Les électrodes étaient des lits fixes de graphite (diamètre 0,8 à 1 mm) séparés par une membrane échangeuse d'ions (surface 10 cm^2) à partir d'une solution contenant 6,35 ppm de cuivre, il est possible de déposer 80 % de la masse de cuivre dissous en un seul passage, avec un rendement de Faraday pratiquement de 100 %, à condition d'utiliser une vitesse de circulation faible (solution exempte d'oxygène). Par polarisation anodique de courte durée, on a pu préparer des solutions à 635 ppm de cuivre.
Le rapport des durées de chaque cycle était compris entre 10 et 20. Le rendement de Faraday global se situait entre 93 et 98 %. Ce rendement demeure élevé jusqu'à des teneurs en cuivre de l'ordre de 10^{-6} mole/l.

• J. Newmann (1972) emploie une cellule dans laquelle le dépôt cathodique et la redissolution anodique sont couplés directement. La cellule comporte deux électrodes cylindriques à lits fixes (diamètre 10 cm, hauteur 6 cm) constitués de grains de graphite (0,01 à 1 mm). L'alimentation de la solution est répartie entre les deux compartiments : 99 % comme catholyte et 1 % comme anolyte. La solution traversant la cathode s'appauvrit en cuivre de 665 ppm à moins de 1 ppm (débit 0,9 l/h). Lorsque le lit cathodique est suffisamment chargé en cuivre, la cellule est tournée de 180° pour inverser les polarités (figure 13).
Ce travail a conduit à une évaluation économique mettant en évidence que la valeur du cuivre récupéré dépasse les coûts d'exploitation et d'amortissement de l'installation.

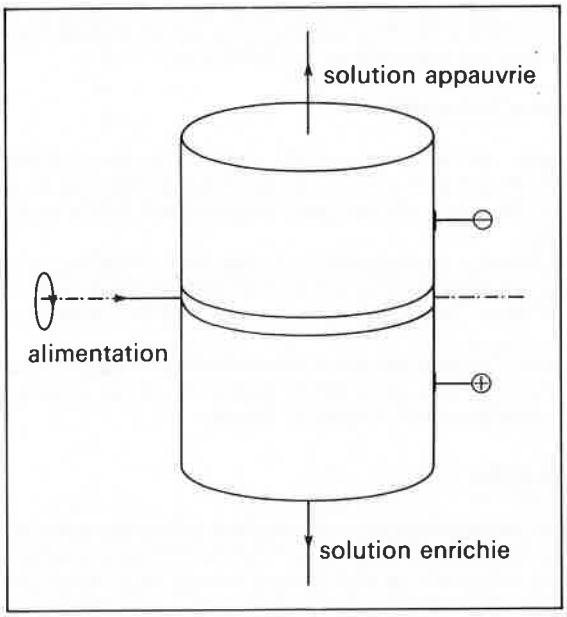


Figure 13.

• G. Kreysa (Dechema 1978) a présenté les résultats obtenus, à l'échelle pilote, sur le traitement des eaux de rinçage d'un atelier de galvanoplastie. La cellule comporte deux lits de graphite, section rectangulaire, séparés par une membrane. L'effluent contient 50 ppm de cuivre (débit à traiter 1 m^3/j). Quand la cathode atteint 15 g Cu/l, on inverse les polarités de la cellule pour redissoudre le cuivre. On a pu ainsi atteindre une teneur en cuivre inférieure à 0,1 ppm avec un rendement de Faraday voisin de 75 %.

II.3.3. Électrodes à texture développée

Nous désignons ainsi des électrodes volumiques obtenues à partir de grilles, de grillages ou de métal déployé.

• Le japonais R.E. Sioda a publié en 1970 ses travaux sur de telles configurations, (empilement de grilles de platine).
• La Société Du Pont de Nemours a breveté en 1975 une cellule comportant un enroulement de grillage (Extended Surface Electrolysis). Les chercheurs de cette société ont publié des résultats à une échelle pilote sur la récupération du cuivre. La structure de base de la cellule est du type « sandwich ». La cathode est constituée par plusieurs couches de « tissu » en acier inoxydable ; la surface volumique d'un tel ensemble peut atteindre 4 000 m^{-1} avec une fraction de vide supérieure à 90 %. Sur cet empilement cathodique est appliqué un séparateur poreux puis une feuille anodique mince (0,25 à 1 mm d'épaisseur), enfin un deuxième séparateur vient se placer contre l'anode.
On peut alors soit constituer une pile de plusieurs de ces ensembles ou bien enrouler un ensemble en spirale et l'insérer dans un tube.
La solution à traiter circule de bas en haut à travers la structure poreuse parallèlement à la contre électrode : les flux de matière et d'électricité sont perpendiculaires.
Des essais satisfaisants ont été effectués sur un débit de 0,7 m^3/h et un pilote de plus de 20 m^3/h a été mis en œuvre. Pour ce dernier, on a choisi l'arrangement en pile plutôt que l'enroulement en spirale pour des raisons de simplification technologique : le volume de la cellule est inférieur à 30 litres.

L'exploitation est conduite par cycles : dépôt cathodique du cuivre jusqu'à une valeur déterminée de la perte de charge, puis lixiviation du cuivre par l'acide nitrique ou le peroxyde d'hydrogène.
Nous donnons les résultats obtenus sur deux exemples :

a) Débit d'effluent à traiter 10 l/mn (environ 3 gal/mn)
teneur initiale en cuivre 5 ppm (pH 3),
hauteur du module 90 cm,
teneur finale en cuivre 0,6 ppm,
durée de la phase de dépôt 535 h,
densité de courant 200 A/m^2,
rendement de Faraday 80 %.

b) Débit d'effluent à traiter 400 l/mn (environ 100 gal/mn)
teneur initiale en cuivre 100 ppm (au maximum),
rendement d'extraction du cuivre 75 à 90 %,
durée de la phase de dépôt 10 à 30 h.

La comparaison économique du procédé électrochimique et de l'absorption sur résine échangeuse d'ions est en faveur du premier pour les concentrations en cuivre faibles (10 ppm).

II.3.4. Cellule Swiss Roll

Nous pensons utile de citer ce type de réacteur électrochimique qui se comporte comme une électrode volumique bien que sa configuration ne mette pas en œuvre un matériau poreux dispersé.
Cette cellule proposée par le Professeur Ibl de Zurich est constituée de deux feuilles conductrices séparées par une toile isolante (tissu en polypropylène par exemple), l'ensemble étant enroulé en spirale (de manière analogue à la cellule de Du Pont). Il s'agit, en fait, d'une cellule à plaque classique mais de très grande surface volumique. Le séparateur permet d'atteindre de très faible distance interélectrode tout en jouant le rôle de promoteur de turbulences (figure 14).
La cathode est une feuille de titane (épaisseur 0,1 mm) ; l'anode est une feuille de titane revêtue de RuO_2 ; une membrane échangeuse d'ions peut être incorporée à l'ensemble en cas de besoin.
L'ensemble est enroulé et introduit dans un cylindre en plastique.

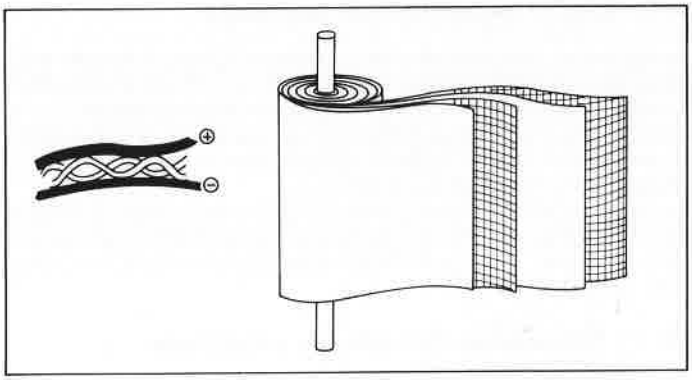


Figure 14.

L'exploitation de la cellule est effectuée sur une boucle, le taux de conversion par passage étant très faible, la cellule se comporte comme un réacteur parfaitement agité.
Les essais d'extraction du cuivre ont permis d'abaisser la concentration de 0,64 g/l à moins de 1 ppm en milieu 0,1 M H_2SO_4 sur un fonctionnement « en batch ».

Un traitement en continu a donné les résultats suivants :
- débit d'alimentation 0,7 l/h (taux de recyclage ~ 200),
- concentration à l'entrée 0,4 g/l Cu^{++},
- concentration en sortie 25 ppm Cu^{++},
- tension aux bornes de la cellule 1,56 V,
- intensité 0,5-0,6 A,
- rendement de Faraday 30 % (réduction simultanée de O_2).

Les chercheurs de l'équipe du Pr Ibl ont également appliqué avec succès cette technologie à l'extraction sélective du cuivre de solutions cuivre-zinc et cuivre-nickel.
Le cuivre déposé est périodiquement extrait par lixiviation chimique ou dissolution anodique.
Une évaluation économique, établie pour un atelier capable de traiter 10 m^3/j d'un effluent à 100 ppm de cuivre, conduit à un coût de 2,50 F/m^3 (teneur en cuivre abaissée à 1 ppm).
Pour un très gros atelier, le coût devrait descendre à 1,50 F/m^3.

II.4. Extraction de métaux autres que le cuivre

Nous venons de passer en revue un certain nombre de réacteurs électrochimiques mettant en œuvre des électrodes volumiques dispersées pour l'extraction du cuivre. Quelques-uns de ces réacteurs ont été utilisés pour la récupération d'autres métaux, nous donnerons des exemples choisis parmi les plus caractéristiques, sans pouvoir citer tous les métaux.

II.4.1. Extraction du nickel

L'extraction électrochimique doit dans ce cas être comparée à la technique d'extraction sur résine échangeuse d'ions.
(On peut par cette dernière méthode traiter des effluents à 10 ppm de nickel et obtenir des solutions à plus de 200 ppm.)

- B.D. Barber et B.A. Plunkett (Portsmouth Polytechnic, 1976) ont étudié l'extraction du nickel sur un lit fluidisé de billes de cuivre (300-800 µm).
La solution traitée contenait 1 000 ppm de nickel en milieu tamponné par de l'acide borique ; la teneur en nickel a pu être abaissée à 30 ppm avec un rendement de Faraday assez faible. (Inférieur à 50 % pour la solution initiale.)
On peut craindre que le défaut de contrôle du potentiel dans la cathode fluidisée soit responsable du mauvais rendement électrique observé.

II.4.2. Extraction de l'argent

La récupération de ce métal précieux a fait l'objet de nombreux travaux sur des solutions issues de traitements photographiques.

- G. Kreysa (DECHEMA, 1976) a montré qu'il était possible d'obtenir une vitesse de dépôt d'argent de 150 g/h.l (à partir d'une solution à 100 ppm d'Ag), sur une cathode granulaire (lit fluidisé ou lit fixe).
Une solution à 10 ppm d'argent peut être traitée sur une cathode granulaire avec une vitesse de dépôt de près de 2 g/h.l, alors qu'une cellule classique de raffinage de l'argent n'atteint pas 0,002 g/h.l dans les mêmes conditions. On peut abaissr la teneur résiduelle à 10 ppb environ.
- Kodak Ltd a proposé l'utilisation de cathodes constituées de fibres de carbone : l'argent déposé est récupéré par combustion du carbone.

- La cellule Swiss Roll du Professeur Ibl a été expérimentée sur la récupération de l'argent d'un bain photographique (E 3 de Kodak, bain de fixage) ; il a été possible de descendre en-dessous de 0,1 ppm.

II.4.3. Extraction de l'antimoine

On dispose des travaux de laboratoire du Pr. Kuhn qui a utilisé un lit fixe de billes de plomb (diamètre 1 à 3 mm).
La solution initiale contenait 100 ppm d'antimoine en milieu H_2SO_4.
La teneur a pu être abaissée à 5 ppm environ.

II.4.4. Extraction de mercure

La Société AKZO (Hollande) a exploité pendant plus de deux ans un pilote de récupération de mercure sur un lit fluidisé de billes de cuivre ; la hauteur du lit est de 1,2 m ; les compartiments sont séparés par une membrane échangeuse d'ions. La saumure traitée contient 5 ppm de mercure (Cl^- 160 g/l, pH 2-3). Cette teneur est ramenée à environ 50 ppb : l'efficacité du procédé est liée à la formation d'un amalgame ; le mercure est récupéré par distillation.

II.4.5. Extraction du cadmium

Nous avons déjà cité les travaux de G. Van der Heiden (AKZO Hollande) sur l'extraction du cuivre et du cadmium des effluents d'un atelier de dépôt de zinc. Nous analysons ici plus particulièrement le cas du cadmium.
Actuellement, la teneur en cadmium est le plus souvent abaissée par cémentation à la poudre de zinc ; on peut descendre de 800 ppm à 10 ppm de cadmium ; le métal ainsi récupéré est de très mauvaise qualité.
Le traitement de l'effluent sur une cathode fluidisée conduit à un dépôt de cadmium à 90 %, pour un rendement électrique de 40 %.
(Teneur de la solution après traitement 9 ppm.)

II.5. Conclusion

La récupération de métaux à partir de solutions diluées (on pourrait citer encore le zinc, le plomb, l'or, le fer) a été tentée le plus souvent sur des électrodes dispersées granulaires et principalement sur des lits fluidisés ; on dispose à l'heure actuelle d'électrodes dispersées vraisemblablement plus performantes (grilles, grillages, métal déployé, fibres de carbone) pour lesquelles on manque encore de données : des progrès sont attendus dans ce domaine.

III. Électrodissolution anodique

Le matériau à dissoudre doit être conducteur électronique (de type métallique ou semi-conducteur) ; l'opération consiste à constituer l'anode d'une cellule d'électrolyse par le matériau lui-même : il y a dissolution par passage de l'élément sous une forme oxydée soluble.
La plupart des travaux ont porté sur la dissolution des métaux ou des alliages et sur l'attaque des sulfures.
Ces matériaux se présentent le plus souvent en grains ou en poudre et par conséquent sont mis en œuvre sous forme d'électrodes volumiques dispersées. Nous analyserons séparément le cas des métaux et celui des minerais sulfurés.

III.1. Dissolution des métaux et alliages

Historiquement, le cas d'électrodissolution classique le mieux connu est le raffinage électrolytique du cuivre.
C'est dans ce domaine qu'ont été mis en évidence les deux principaux problèmes posés par cette technique :
- la passivation de l'anode par formation d'un film d'oxyde ou de sels insolubles,
- la limitation par le transfert de matière.

De nombreux travaux restent à faire, en particulier sur l'électrodissolution des alliages. Dans la plupart des cas, on cherche à associer un dépôt cathodique sélectif à la dissolution anodique.
A titre d'exemple, nous donnerons les résultats des travaux d'une équipe soviétique (R.I. Angladze, 1977) sur la fabrication à l'échelle pilote de permanganate de potassium par dissolution anodique de ferromanganèse en milieu KOH.
L'alliage est constitué des barreaux de 50 à 100 ppm de diamètre disposés en lit fixe bipolaire dans une cellule cylindrique (diamètre

800 mm, distance entre les deux collecteurs de courant 300 à 500 mm). L'intensité imposée est de 6 500 A pour une tension voisine de 90 V ; la densité de courant optimale est de 10 000 à 15 000 A/m^2.
Sur une exploitation de plus de 1 000 h, on a produit 3,5 t de permanganate de potassium avec une consommation d'énergie de 15 000 kWh/t comparable à celle du procédé classique mais au prix d'un investissement beaucoup plus faible.

III.2. Lixiviation anodique des sulfures

Les sulfures métalliques sont des semi-conducteurs ; on sait depuis longtemps utiliser cette propriété pour effectuer leur décomposition électrochimique. Ce n'est toutefois que très récemment qu'un intérêt considérable s'est manifesté pour l'électro-dissolution directe.
Dans le processus anodique, la réaction globale est la suivante :

$$M_2Sx \rightarrow 2\,M^{x+} + xS + 2xe^-$$

Le sulfure est transformé en soufre et non pas en dioxyde de soufre comme dans les procédés thermiques.

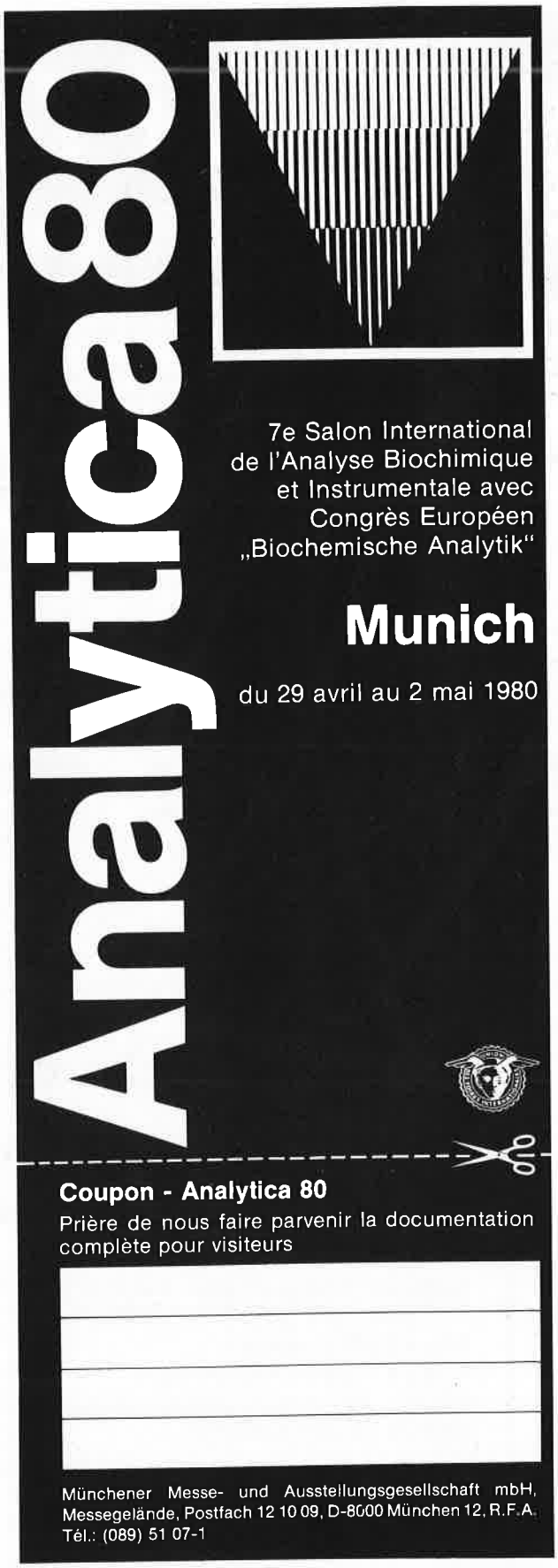
Le plus souvent, le minerai sulfuré est mis en suspension dans l'électrolyse en circulation ; cette suspension peut être sous la forme de boues (suspension électrode-slurry électrode).
Dans de nombreux cas, on cherche à associer le dépôt cathodique à la lixiviation anodique : on passe ainsi, en une seule étape, du minerai au métal.
Les travaux (publications et brevets) portent essentiellement sur la dissolution anodique des sulfures de cuivre (chalcocite Cu_2S ou covellite CuS).
C'est un domaine très complexe, tant au niveau des mécanismes fondamentaux de dissolution et de transport de matière, qu'au niveau technologique.
Il ne semble pas actuellement possible de concevoir une unité industrielle mettant en œuvre la lixiviation anodique directe, par contre de nombreux brevets font état de l'utilisation d'un oxydant généré « in situ » tel que Fe^{+++}, Cl_2.
Cette lixiviation « électro-oxydante » a été appliquée avec succès à des minerais d'or, de mercure, de molybdène et d'argent.
Par exemple, on peut extraire par lixiviation anodique en milieu NaCl (4 à 10 %), 90 à 98 % du mercure d'un minerai sulfuré avec une densité de courant de 800 A/m^2.

IV. Conclusion

La mise en œuvre des électrodes volumiques dispersées en hydrométallurgie dont nous avons donné quelques exemples se présente de la manière suivante :

- **extraction des métaux lourds de solutions diluées :**
la voie électrochimique est souvent la plus performante au niveau technique : possibilité d'atteindre une teneur très faible, pas de pollution de substitution. La confrontation avec les autres technologies se situe au niveau des investissements ; la taille de l'installation est souvent un facteur déterminant.

- **lixiviation anodique des métaux, alliages et sulfures :**
la situation est nettement différente : les problèmes posés sont complexes, tant au niveau recherche fondamentale qu'au niveau technologique. Les utilisateurs industriels s'orientent plutôt vers la génération intermédiaire « in situ » d'un oxydant soluble.



INNOVATION & DIVERSIFICATION

LA LETTRE INOVA des sciences & techniques

19, rue Blanche - 75009 Paris - Tél. : 874.83.56

N° 01 - Avril 1979

ISF Société des Ingénieurs et Scientifiques de France. **Rédacteur en chef : A. Y. PORTNOFF**

Le numéro : **15 F**

15 mn PAR MOIS POUR CONNAÎTRE L'ESSENTIEL

• LES PROGRÈS INTERNATIONAUX • LEURS CONSÉQUENCES SUR VOTRE MARCHÉ • L'ACTUALITÉ DE VOTRE RÉGION • DES IDÉES D'APPLICATION • COMMENT VOUS *DIVERSIFIER, RÉDUIRE VOS COÛTS,* TROUVER DES *FINANCEMENTS,* DES PARTENAIRES

Une sélection d'informations recueillies et évaluées grâce à un réseau régional et international d'experts couvrant pour vous tous les secteurs.

OFFRE SPÉCIALE D'ABONNEMENT POUR 1980 : 1 an : 120 F au lieu de 150 F (prix de vente au numéro) pour France et C.E.E. et 140 F pour autres pays par avion.

Envoyer ce talon avec vos nom et adresse et chèque à l'ordre des ISF : **ISF,** 19, rue Blanche, 75009 Paris.

Règles de nomenclature pour la chimie organique

(Sections A, B et C)

Adaptation française des règles élaborées par la Commission de nomenclature en chimie organique de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée.

Section A : Hydrocarbures.

Section B : Systèmes hétérocycliques.

Section C : Groupes caractéristiques contenant des atomes de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, d'halogènes, de soufre, de sélénium et de tellure.

Un livre de 320 pages édité par la Société Chimique de France.

Membres de la S.C.F. : 50 F.
Non membres de la S.C.F. : 100 F.

Une commande, pour être agréée, devra être accompagnée du règlement correspondant, sous forme de chèque bancaire ou de chèque postal (280-28 Paris W), à l'ordre de la Société Chimique de France.

Pour faciliter la tâche de la Trésorerie, éviter, si possible, la demande d'une facture.

L'enseignement de la thermodynamique dans les écoles d'ingénieurs :

Comment présenter le concept de dégradation de l'énergie ? *

par Pierre Le Goff

(Professeur au Laboratoire des sciences du génie chimique, C.N.R.S.-ENSIC de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Directeur du Centre de Perfectionnement des Industries Chimiques, Nancy).

On montre l'intérêt de présenter la thermodynamique et la mécanique des fluides comme deux parties d'une même science : l'énergétique des fluides.

On discute des avantages et des inconvénients des concepts d'entropie et d'exergie pour représenter le phénomène de dégradation d'énergie.

On introduit la notion de « valeur » de l'énergie ; on établit le bilan général de la valeur, dans une opération industrielle quelconque. En choisissant ensuite divers barèmes de valeur, on peut faire le lien entre les aspects thermodynamiques, économiques et même écologiques d'une même opération, ce qui est particulièrement intéressant du point de vue pédagogique.

I. Le concept d'énergie est-il basé sur nos muscles ou sur un axiome ?

Qu'est-ce que l'Énergie ?
- Le Larousse répond que l'énergie est : « La capacité à effectuer un *travail* ».
- Ce même dictionnaire définit le travail comme : « Le produit d'une *force* par un déplacement ».
- Puis la définition donnée pour la force est : « La cause du *mouvement* d'un corps ».
- Et le mouvement est défini comme : « Un changement de *position* du corps ».
- La position est..., etc.

Cet enchaînement de définitions est celui que l'on trouve dans les premières pages de tous les ouvrages classiques d'enseignement de la mécanique rationnelle, sauf toutefois qu'il est présenté en sens inverse :
On commence par y introduire le concept de *point* matériel, défini par ses trois coordonnées spatiales et une coordonnée temporelle (la date), d'où découle la science de la *cinématique* des ensembles de points matériels.
Puis le concept de *force* est introduit, d'une manière intuitive, en faisant appel à la notion physiologique de contraction musculaire, puis à l'observation d'un ressort qui se déforme. La force est ainsi un concept anthropocentrique, basé sur notre sens de la *motricité*, c'est-à-dire des informations transmises à notre cerveau sur « *l'état* » de nos muscles, plus ou moins contractés ou détendus *.
On apprend ensuite à faire travailler ces forces etc... Puis le concept d'énergie en est dérivé et n'apparaît ainsi qu'au 3e ou 4e chapitre de l'ouvrage.

Mais ce mode d'introduction « mécanistique » de la notion d'énergie n'est pas le seul possible. On peut aussi bien se passer de la force comme concept primaire et définir directement l'énergie en posant, par exemple *a priori*, l'axiome suivant :
« Il existe une grandeur, appelée énergie, dont

* *Texte de l'exposé présenté au colloque organisé par le CEFI (Comité d'Études sur les Formations d'Ingénieurs), les 21-22 mars 1979 sur le thème : « Formation des ingénieurs et meilleure gestion de l'énergie et des matières premières ».*

* *Comment ce concept serait-il perçu par un être humain qui serait de naissance, paralytique et insensible au toucher ?*

les variations sont associées à tous les mouvements d'un objet ». Cette énergie est une propriété de la matière, au même titre que la masse, et que la charge électrique.

La mécanique et la thermodynamique sont alors présentées comme deux parties d'une même science, l'énergétique, celle qui décrit les relations entre cette grandeur énergie et les 4 coordonnées spatio-temporelles de chacun des points matériels qui constituent l'objet étudié, au cours de tous ses mouvements de translation, de rotation, de déformation, etc.

On commence donc par faire des bilans d'énergie et la notion de force est introduite ultérieurement. La force n'est plus un concept primaire mais une notion dérivée quand on est amené à comparer les variations d'énergie aux variations des coordonnées du système. Sa définition est alors plus rigoureuse.

Ce mode de présentation des phénomènes n'est pas plus abstrait que la méthode classique. Il présente en outre de nombreux avantages. Il permet par exemple de traiter en première approximation, tous les bilans d'énergie dans les systèmes ouverts (machines, échangeurs, réacteurs), en ne faisant appel qu'à des bilans de grandeurs scalaires, comme en thermodynamique, c'est-à-dire sans faire appel aux opérations sur les grandeurs vectorielles. Ces dernières n'interviennent qu'ensuite, pour interpréter les variations d'énergie.

Un bilan de grandeur scalaire, un bilan d'argent dans un porte-monnaie est plus facile à appréhender qu'une loi de composition de vecteurs !

II. La dégradation de l'énergie

Pour exprimer l'évolution irréversible du monde matériel, divers mots et concepts sont utilisés indifféremment : on parle de dégradation d'énergie, de création d'entropie, de consommation d'exergie... Ce sont diverses facettes d'un principe unique : le second principe de la thermodynamique.

A la vérité, pour présenter ce phénomène de dégradation d'énergie, diverses procédures, diverses méthodes pédagogiques peuvent être utilisées, comme le résume le tableau 1.

On peut d'abord, bien entendu se baser sur la thermodynamique, avec ses deux variantes, selon que l'on introduit d'abord le concept d'entropie ou le concept d'exergie.

On peut aussi se baser sur la mécanique, avec les transformations ordre → désordre, les frottements, et notamment l'aspect énergétique de la diffusion et de la turbulence en mécanique des fluides.

On peut enfin adopter un point de vue d'économiste et appliquer à l'énergie l'analyse de la valeur, en partant soit d'une base écologique, soit d'une base économique.

Dans d'autres publications (2, 5, 7) nous avons discuté de l'aspect énergétique de la mécanique des fluides. Nous n'envisagerons ci-après que les aspects thermodynamiques et économiques.

Tableau 1. Comment présenter le phénomène de dégradation d'énergie ?

En se basant sur :	
• La thermodynamique	Variante entropie Variante exergie
• La mécanique	Ordre → désordre
• L'analyse de la valeur	Économique Écologique

III. Aspect thermodynamique : entropie ou exergie ?

Les appareils industriels sont des systèmes ouverts et l'une des premières leçons que chacun d'entre nous donne à ses élèves-ingénieurs consiste sans doute à leur apprendre à écrire des bilans dans de tels systèmes.

III.1. Les équations de bilans

Considérons à titre d'exemple une chambre de combustion où entrent, en régime permanent, des flux d'hydrocarbure et d'air et d'où sortent des flux de CO_2, H_2O, etc. (Fig. 1).

On écrit d'abord les bilans-matière, à savoir :

- le bilan massique total : le flux sortant $\dot{M}_2$ est égal au flux entrant $\dot{M}_1$ ce qui exprime la conservation de la matière.
- les bilans partiels, par composant, c'est-à-dire par espèce chimique. Pour chacun des i composants, on écrit que le flux sortant $\dot{M}_2 x_{i2}$ est égal au flux entrant $\dot{M}_1 x_{i1}$, plus le flux créé par la réaction de combustion $\dot{R}_i$. $\dot{R}_i$ est évidemment positif pour CO_2 et H_2O et il est négatif pour O_2 et CH_4.
- On écrit ensuite le bilan de chacune des grandeurs extensives portées par la matière. Et pour chacune, on écrira d'abord le bilan total, puis les bilans partiels, par composant, tenant compte de la « réaction » de transformation de ces composants les uns dans les autres. Par exemple, pour le bilan de charge électrique dans un réacteur de neutralisation acide/base, ou dans un dépoussiéreur électrostatique, etc... On écrira qu'il y a conservation de la charge totale (bilan global), puis on écrira l'équation de bilan pour chacune des 3 « constituants » :
charges +, charges − et particules neutres avec la réaction d'ionisation ou de recombinaison des charges.

Examinons de plus près le cas de l'extensité énergie en raisonnant sur l'exemple de la chambre de combustion (Figure 1).

- Le bilan d'énergie totale comprend 4 termes : les flux $\dot{M}_2 E_2$ et $\dot{M}_1 E_1$ respectivement portés par la matière sortante et la matière entrante, le flux $\dot{Q}$ d'énergie thermique transféré par l'échangeur, le flux $\dot{W}$ d'énergie mécanique emporté par l'arbre de la machine tournante. Il y a conservation de l'énergie totale (équation 3 sur la figure 1).
- Pour écrire maintenant les bilans partiels par « composant » il y a de nombreuses possibilités de découpage de l'énergie totale E, d'un kg de fluide, dont l'expression est, rappelons-le :

$$E \equiv \underbrace{U + \underbrace{p/\rho}_{P/\rho}}_{H} + \frac{u^2}{2} + gZ \qquad (I)$$

On pourrait par exemple faire le bilan de l'énergie interne U, ou de l'enthalpie H, ou de la pression totale P, ou de la pression ordinaire p, ou encore des énergies potentielles et de l'énergie cinétique, etc... avec des « réactions » de conversion de ces énergies les unes dans les autres, exactement comme on l'a fait précédemment pour les composants matériels.

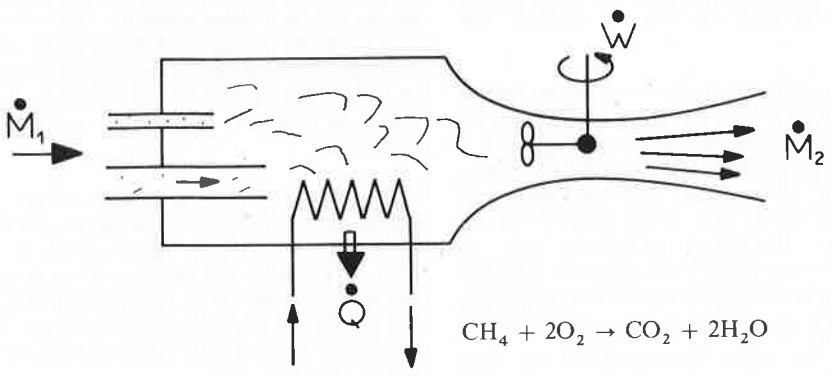
III.2. La variante exergie

Il est particulièrement avantageux de décomposer l'énergie totale en deux termes (et deux seulement) :
l'exergie (Ex) et l'anergie (An) :
$E = Ex + An$

Ces deux composants étant choisis de façon telle que les transformations se font uniquement dans le sens :

$$Ex \Rightarrow An \qquad (II)$$

et jamais en sens inverse. Ceci doit d'ailleurs être considéré comme le postulat de définition de ces deux composants. Par analogie avec la vitesse de réaction chimique, on définit alors une vitesse de « réaction » exergétique $\dot{R}_e$ (en joules/seconde) traduisant la



Flux sortant — Flux entrant — Flux créé

Bilans matière :

– totale : $\dot{M}_2 = \dot{M}_1$ (1)

– par composant : $\dot{M}_2 x_{i2} = \dot{M}_1 x_{i1} + \dot{R}_i$ (2)

Bilans énergie :

– totale : $\dot{M}_2 E_2 + \dot{Q} + \dot{W} = \dot{M}_1 E_1$ (3)

– par composant :

exergie : $\dot{M}_2 Ex_2 + \dot{E}x_q + \dot{E}x_w = \dot{M}_1 Ex_1 - \dot{R}_e$ (4)

anergie : $M_2 An_2 + \dot{A}n_q + \dot{A}n_w = \dot{M}_1 An_1 + \dot{R}_e$ (5)

Bilan entropie :

$\dot{M}_2 S_2 + \dot{S}_q + \dot{S}_w = \dot{M}_1 S_1 + \dot{R}_s$ (6)

$\boxed{\dot{R}_s \geqslant 0}$ et $\boxed{\dot{R}_e = T_0 . \dot{R}_s}$

Figure 1. Bilans de matière et d'énergie dans un système ouvert en régime permanent.

vitesse de transformation de l'exergie en anergie.

Les deux bilans partiels seront alors établis (relations (4) et (5) de la figure 1). Dans ces relations, Ex et A*n* désignent l'exergie et l'anergie massiques du fluide, c'est-à-dire portées par un kg de fluide. $\dot{E}x_q$ désigne le flux d'exergie contenu dans le flux de chaleur $\dot{Q}$, et de même $\dot{E}x_w$ est le flux d'exergie contenu dans le flux d'énergie mécanique $\dot{W}$. (En fait, on a : $\dot{E}x_w \equiv \dot{W}$). Dans le bilan d'exergie apparaît le terme ($-\dot{R}_e$) de disparition et dans le bilan d'anergie apparaît le terme ($+\dot{R}_e$) de production avec :

$$\dot{R}_e \geqslant 0 \qquad \text{(III)}$$

On conçoit qu'à partir d'un tel postulat, il soit alors possible de bâtir tout un cours de thermodynamique, cohérent, homogène et rigoureux.

III.3. La variante entropie

Mais nous savons bien qu'il existe une autre méthode, plus classique, de présenter ces mêmes phénomènes d'évolution. Elle consiste à postuler que, parallèlement à la masse et à l'énergie, il existe une troisième grandeur extensive fondamentale pour caractériser les propriétés de la matière : l'entropie, cette grandeur étant définie par le fait qu'elle ne peut que croître, globalement. Autrement dit, il existe dans toute transformation matérielle, un terme de vitesse de « réaction entropique » $\dot{R}_s$ qui est toujours positif :

$$\dot{R}_s \geqslant 0 \qquad \text{(IV)}$$

Le bilan d'entropie dans un système ouvert, en régime permanent, s'écrit alors, par la relation (6) de la figure 1. On y trouve les flux $\dot{M}_1 S_1$ et $\dot{M}_2 S_2$ d'entropie portés par les flux de matière entrant et sortant du système ; le flux $\dot{S}_q$ d'entropie contenu dans le flux de chaleur $\dot{Q}$ et le flux d'entropie $\dot{S}_w$ contenu dans le flux d'énergie mécanique $\dot{W}$.

Il n'est pas question de refaire ici un cours de thermodynamique, mais le lecteur concevra aisément que l'étape suivante consistera à montrer que ces deux présentations du même phénomène d'évolution sont équivalentes. Le flux de création d'anergie est, à une constante près, égal au flux de création d'entropie. Le coefficient de proportionalité est une température de référence T_0, choisie suivant une règle que l'on aura à définir... et qui conduira à définir l'échelle des températures :

$$\dot{R}_e = T_0 . \dot{R}_s \qquad \text{(V)}$$

III.4. L'aspect subjectif de l'énergie

Avant de comparer les avantages et inconvénients des concepts d'entropie et d'exergie, il est intéressant de noter que l'énergie n'est pas une grandeur rigoureuse et objective. Sa définition comporte une part subjective, arbitraire :

- Dans l'expression de l'énergie de pesanteur gZ, la longueur Z n'est pas la distance au centre de la terre, mais l'altitude au-dessus d'un plan horizontal arbitraire (le niveau de la mer, en général).
- De même, l'énergie cinétique $u^2/2$ est mesurée, non pas par rapport à un repère intersidéral absolu, mais par rapport à un trièdre de référence porté par la surface de la terre.
- De même encore, l'énergie électrique est évaluée par rapport à la terre, prise au potentiel zéro par convention.
- Par contre, les énergies thermique et mécanique peuvent être définies en valeur absolue, puisque l'on sait définir une température nulle (en K) et une masse volumique nulle, donc une pression nulle (espace intersidéral). Remarquons toutefois que, dans la pratique industrielle, on ne prend souvent en considération que la fraction de ces énergies qui est en excès par rapport à l'énergie contenue dans l'environnement, c'est-à-dire celle correspondant à la pression atmosphérique et à la température ambiante.

Le concept d'énergie « utilisable » s'introduit donc naturellement, dans toutes les activités humaines.

- Enfin pour l'énergie chimique, la part d'arbitraire est encore plus grande : on sait que des conventions internationales définissent, pour chaque élément chimique, l'état cristallin et les conditions de pression et température d'un « état standard », par rapport auquel l'énergie de cet élément est mesurée.

En fait, on choisit souvent des conditions un peu différentes : pour les éléments O_2 et N_2 on prend l'air TPN dans sa composition normale ; pour les éléments H_2 et C on prend la composition des gaz de combustion CO_2 et H_2O (encore qu'il faille choisir si on prend l'eau à l'état liquide ou vapeur à la température considérée, etc...).

Pour les autres éléments, notamment ceux de grande importance industrielle (Fe, Cl, Ca, Na, etc...) on prend « l'état naturel le plus courant de l'élément dans son gîte géologique » !

En conclusion, on voit que l'expression donnée ci-dessus de l'énergie totale d'un kilogramme de matière, dépend nécessairement de la valeur arbitraire choisie pour le

potentiel de chacune des formes d'énergie suivantes :

- Les 3 premières formes : gravitationnelle, cinétique, électrique.
- Le potentiel chimique de chacun des éléments contenus dans ce kg de matière.

En outre l'expression de l'énergie totale dépend pratiquement de deux potentiels supplémentaires : la pression et la température de « l'environnement » du système industriel, c'est-à-dire la pression atmosphérique et la température de l'eau ou de l'air qui sert de source froide dans le procédé.

III.5. Quels sont les avantages et inconvénients de chaque variante : entropie ou exergie ?

1. La présentation entropique a le grand avantage d'être absolument générale. Elle s'applique à tous les systèmes sans exception, alors que la présentation exergétique implique l'hypothèse d'un « milieu extérieur » à une température de référence T_0, pris comme puits thermique de capacité infiniment grande. T_0 n'est donc pas une constante et ceci peut créer des difficultés, notamment dans l'étude des énergies thermiques de bas niveau. Par exemple le contenu exergétique d'une eau résiduaire à 20 °C sera nul dans un environnement à $T_0 = 20$ °C mais il ne le sera plus pour $T_0 = 10$ °C.

Autre exemple : pour expliquer que l'on peut produire du travail à partir du rayonnement de la terre vers l'espace intersidéral, il faudra expliquer que, dans ce cas, la terre à 20 °C est une source d'exergie et que la température T_0 de référence est celle de l'espace soit ≈ 3 K.

2. Par contre l'entropie a l'inconvénient de varier dans le mauvais sens : la « valeur » de l'énergie diminue quand elle se dégrade et il est très commode que la grandeur qui représente ce phénomène, diminue également dans ce même sens. C'est bien le cas de l'exergie. Rappelons d'ailleurs, que ce concept d'exergie a été introduit dès 1889 par un français, Gouy (1) sous le nom d'énergie utilisable (nous avons rappelé toutefois (4 et 5) que cette dénomination est trop générale et prête à confusion ; on devrait plutôt dire que l'exergie est de la *chaleur mécanisable*).

Au niveau des ouvriers, mais aussi à celui des ingénieurs, il sera plus facile de présenter la « chasse au gaspi »-llage d'une grandeur précieuse comme l'exergie, qui se consomme, plutôt que la « chasse aux augmentations » d'une grandeur qui se crée, comme l'entropie.

L'exergie est donc bien la grandeur adéquate pour porter, à Monsieur Tout le Monde, le message sur la recherche des « économies d'énergie » et pour lui expliquer simplement mais rigoureusement comment la dégradation de l'énergie (qui ne se détruit pas) est en réalité une consommation d'exergie.

3. L'entropie a l'avantage d'être une grandeur couramment utilisée par les thermodynamiciens depuis plus d'un siècle. Encore qu'elle ne le soit guère par les ingénieurs. Elle est devenue la base d'un édifice de connaissances, solide et bien construit. On trouve dans tous les manuels et formulaires des méthodes de calcul des entropies pour toutes les substances, pures et en mélange. Les tables de données entropiques sont bien classiques.

Il n'existe rien d'analogue pour l'exergie. Il n'existe pas de diagramme analogue à celui de Mollier, où l'exergie serait portée, à la place de l'entropie. A la vérité, ce n'est qu'une difficulté mineure, car la variation d'exergie d'un système se déduira immédiatement des variations d'enthalpie et d'entropie calculées ou lues dans les tables :

$$\Delta Ex = \Delta H - T_0 \Delta S \qquad \text{(VI)}$$

Un tel petit calcul à effectuer pour chaque opération est cependant un frein important, et l'emploi de l'exergie ne se généralisera que le jour où l'utilisateur pourra en lire directement les valeurs dans des tableaux ou sur des diagrammes.

En conclusion, il apparaît que le concept d'exergie est plus concret, plus accessible à l'intuition directe et qu'il conviendra bien à un enseignement de thermodynamique élémentaire destiné à faire sentir aux praticiens, comment on mesure la dégradation de l'énergie. Par contre le concept d'entropie est absolu et rigoureux, c'est le seul qui convienne aux théoriciens de la thermodynamique.

Dans une école d'ingénieurs, il est certainement nécessaire d'enseigner simultanément les deux concepts et de montrer leurs interdépendances.

IV. Aspects économiques et écologiques : la « valeur » de l'énergie

Abordons maintenant un autre aspect des opérations énergétiques industrielles, en y introduisant le concept de « valeur » de l'énergie.

Rappelons d'abord qu'une opération industrielle quelconque peut être présentée comme une « boîte noire » (Figure 2*a*) où entrent des flux de matières premières, d'énergie et d'information (des connaissances et du savoir-faire) et d'où sortent des produits « fonctionnels », c'est-à-dire des produits qui sont définis par la fonction à laquelle ils sont destinés, au service des utilisateurs. Il en sort aussi des sous-produits dont une partie est rejetée dans l'environnement.

Ainsi chaque produit fonctionnel contient une certaine quantité de matière, d'énergie et d'information. Attachons-nous ici à l'aspect énergétique de l'opération, supposée en régime stationnaire.

Vue par un énergéticien, cette opération n'est qu'une transformation d'une forme d'énergie dans une autre, comme le montre la figure 2*b*, dont le bilan s'écrit :

$$\dot{E}_a = \dot{E}_u + \dot{E}_r \qquad \text{(VII)}$$

où $\dot{E}_a$ est l'énergie apportée au système (en joules/an), $\dot{E}_u$ est l'énergie utile, c'est-à-dire celle qui est contenue dans les produits fonctionnels et $\dot{E}_r$ est celle rejetée dans l'environnement (l'eau chaude dans la rivière, les fumées dans l'atmosphère, les déchets rejetés à la décharge, avec leur contenu énergétique).

Vue par un économiste, cette même opération se présente différemment (Fig. 2*c*). C'est une transformation de biens à faible valeur propre, en biens à valeur ajoutée (les produits utiles) et en biens à valeur diminuée (les rejets) et même à valeur négative (dans le cas de nuisances polluantes). De plus la transformation coûte à l'opérateur : ce dernier doit apporter au système des richesses, des connaissances, du patrimoine...

En nous basant encore sur l'aspect énergétique, attribuons la valeur v à un joule porté par chacun de ces biens. Ainsi : v_a est la valeur d'un joule de l'énergie apportée (sous forme de fuel, d'électricité, etc...), v_r est la valeur d'un joule porté par les rejets, par exemple dans l'eau chaude rejetée à la rivière, v_u est la valeur d'un joule contenu dans le produit utile.

IV.1. Bilans de valeur

Le bilan de valeur dans l'opération s'écrit :

$$\dot{E}_a v_a - \dot{C}_o = \dot{E}_u v_u + \dot{E}_r v_r \qquad \text{(VIII)}$$

où $(-\dot{C}_o)$ est l'apport de valeur nécessaire pour boucler le bilan. Du point de vue de l'opérateur, $\dot{C}_o$ est donc le coût de l'opération, exprimé en Nombre d'Unités de Valeur par an.

En combinant cette équation (VIII) avec celle (VII) du bilan d'énergie, on obtient l'expression de $\dot{C}_o$ que nous appellerons le coût opératoire annuel net :

$$\dot{C}_o = \dot{E}_r(v_a - v_r) - \dot{E}_u(v_u - v_a) \qquad \text{(IX)}$$

Poursuivant cette analyse énergétique, nous devons en outre noter que la machine qui sert à faire cette transformation a dû elle-même être fabriquée et que cela a demandé une certaine quantité d'énergie. Il faut donc tenir compte du contenu énergétique des équipements de production. C'est l'investissement énergétique I_e (en joules).

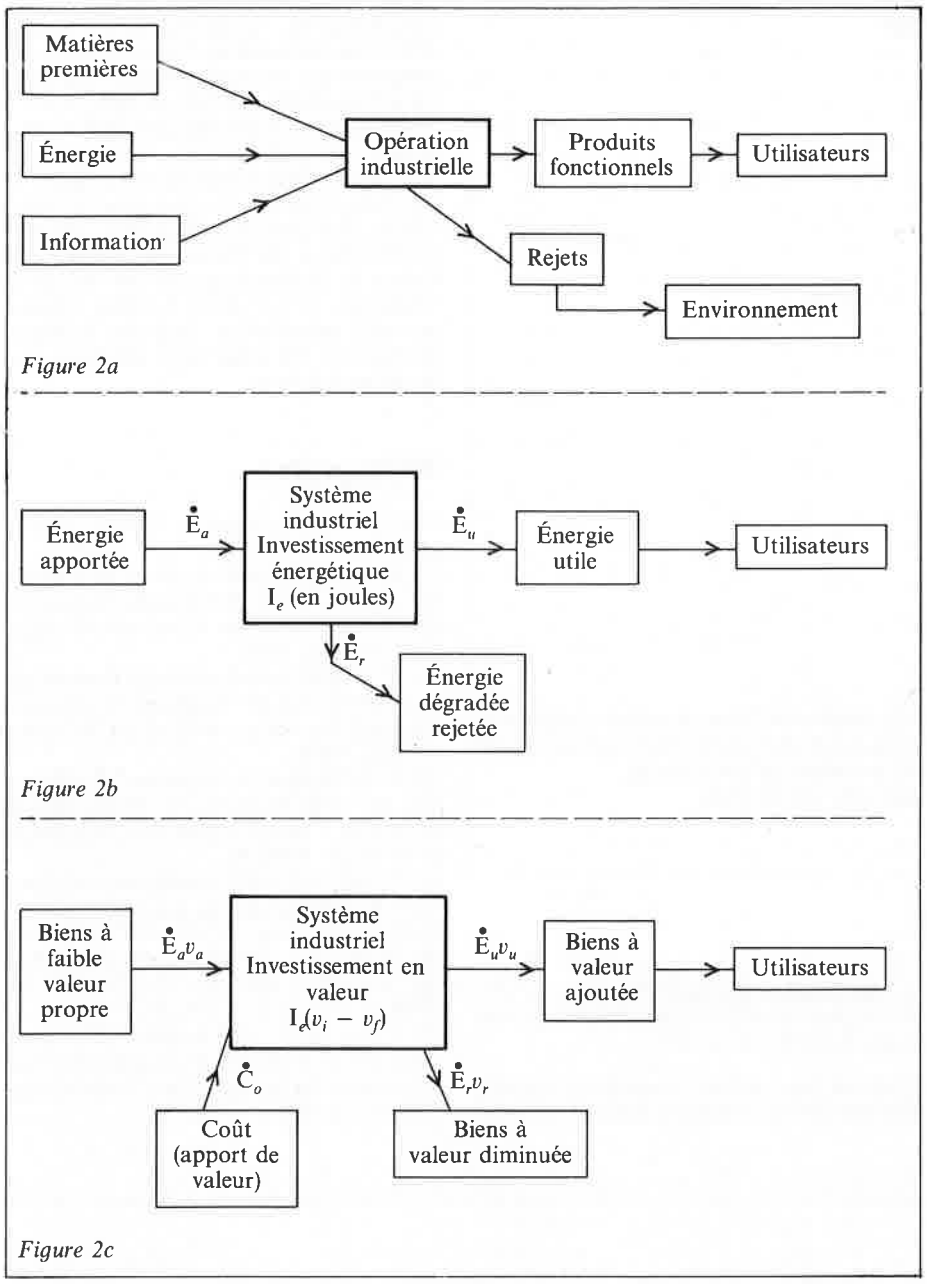


Figure 2.

Au total, le bilan intégral de valeur sur les N années de fonctionnement du système s'écrit comme suit :

$$C_t = N\dot{C}_o + I_e(v_i - v_f) \qquad \text{(X)}$$

Le coût total C_t (c'est-à-dire la dépense totale en valeur) est la somme de N fois le coût opératoire annuel et de la perte de valeur de l'investissement. En effet v_i est la valeur initiale d'un joule investi et v_f est sa valeur finale. Notons que v_f est nulle si la machine est rejetée à la décharge, au bout de la N-ième année (voir Figure 2*c*).

Finalement, le coût total, par unité d'énergie utile s'écrit :

$$\frac{C_i}{N\dot{E}_u} = \frac{\dot{E}_r}{\dot{E}_u}(v_a - v_r) - (v_u - v_a) + \frac{I_e}{N\dot{E}_u}(v_i - v_f) \qquad \text{(XI)}$$

ce qui s'énonce ainsi :

Coût total par unité d'énergie utile	=	Perte de valeur dans les rejets	−	Gain de valeur dans les produits utiles	+	Unité d'amortissement des équipements usés

Telle est la relation fondamentale à partir de laquelle on peut développer toutes sortes d'applications (3, 4 et 6) notamment pour l'optimisation technico-économique des procédés, pour l'évaluation du coût des surinvestissements destinés à économiser l'énergie, etc.

IV.2. Barèmes de valeur

Il est important de noter que le bilan de valeur a été établi, sans que le concept même de « valeur » de l'énergie ait été défini. Et c'est là précisément l'avantage de cette présentation. L'équation du bilan de valeur (X) est valable, quelle que soit la définition de la « valeur ». L'intérêt du point de vue pédagogique est qu'une telle présentation permet de faire un lien entre l'énergétique et l'économie et même l'écologie. On peut en effet choisir toute une diversité de barèmes de valeurs, et ainsi les comparer entre eux.

Le tableau 2 en donne quelques exemples.

- Un premier barème, le plus simple, consiste à donner la même valeur à toutes les formes d'énergie... Alors le bilan de valeur se réduit au simple énoncé du premier principe de la thermodynamique.
- Un second barème consiste à donner une valeur nulle à l'énergie rejetée dans l'environnement, sous quelque forme que ce soit (eaux résiduaires, fumées...). Beaucoup de calculs industriels sont basés sur ce simple barème.
- Un troisième barème consiste à ramener toutes les formes d'énergie à deux formes de base : la chaleur et l'électricité. En partant d'un rendement expérimental de conversion de l'une dans l'autre (par exemple 2,5 thermies pour fabriquer un kWh électrique). On est conduit à énoncer qu'un joule thermique ne vaut que les 34/100 d'un joule électrique, d'où le barème de valeurs :

$$v_t = 0{,}34 \qquad \text{et} \qquad v_e = 1$$

Allant plus loin dans cette voie, le 4e barème considère qu'un joule de chaleur a d'autant plus de valeur qu'il est disponible à une plus haute température. Pour exprimer cette loi, il est commode de donner à la valeur de l'énergie thermique, la forme du coefficient de Carnot, soit :

$$v_t = 1 - \frac{T_0}{T} \qquad \text{(XII)}$$

On retrouve ainsi le concept d'exergie : $Ex = Q[1 - (T_0/T)]$. L'exergie est donc de l'énergie dont la « valeur » est donnée par le coefficient de Carnot.

Le tableau 2 présente divers autres barèmes de valeurs, à base technico-économique, écologique ou socio-politique, que nous avons discutés plus en détail dans d'autres publications (2 et 4).

Du point de vue pédagogique, cette présentation a l'avantage de bien montrer à nos élèves-ingénieurs, la différence entre les diverses optimisations de procédés destinées à minimiser soit le coût en francs français, soit le coût en devises étrangères, soit encore le « coût » en exergie, etc...

Tableau 2. Barèmes de valeur de l'énergie

1. *Barèmes à base enthalpique*
(application du premier principe)

11. Barème « à toutes valeurs égales » $v_a = v_u = v_r = v_i = v_f = 1$
12. Barème « à rejets de valeur nulle » $v_a = v_u = v_i = 1 ; v_r = v_f = 0$

2. *Barèmes à base entropique*
(application du second principe)

21. Barème « à deux valeurs » : 2,5 thermies → 1 kWh

$v_t = 0{,}34 \qquad v_e = 1$

22. Barème « à valeur de Carnot »

$$Ex = Q\left[1 - \frac{T_0}{T}\right] \rightarrow v_t = 1 - \frac{T_0}{T}$$

3. *Barèmes à base technico-économique*

31. Valeur = coût de production
32. Valeur = prix sur le marché français
33. Valeur = prix sur le marché international

4. *Barème à base écologique ou socio-politique*

41. Valeur d'utilisabilité : par référence à un écosystème d'utilisateurs urbano-industriels
42. Valeur de disponibilité : par référence à la dimension et à la facilité d'accès aux ressources
43. Valeur environnementale : par référence aux nuisances qu'elle entraîne.
44. Valeur politique : définie par un objectif extérieur, par exemple :
- désir d'indépendance nationale
- décision de développer le nucléaire, etc...

V. Conclusion et bibliographie

Tous les responsables de la formation des ingénieurs sont d'accord sur la nécessité de donner aux élèves-ingénieurs des enseignements à caractère aussi pluri-disciplinaire que possible. A la limite, il n'existe qu'une seule « science de l'ingénieur », c'est la « Science des Systèmes Industriels », synthèse des aspects matériel, énergétique, informatique, humains et sociaux.

Dans ce cadre, il était souhaitable d'établir des liens entre les enseignements de thermodynamique, de mécanique des fluides et d'économie industrielle. Nous avons cherché à montrer que ceci était possible en insistant sur le concept de « valeur » de l'énergie et en donnant à ce vocable diverses significations à base thermodynamique, économique ou écologique. Cette recherche pédagogique est en cours, à la fois, en formation initiale à l'École Nationale Supérieure des Industries Chimiques et en formation continue, au Centre de Perfectionnement des Industries Chimiques. Nous serions heureux d'échanger des informations avec des collègues procédant à des expériences similaires dans ce même domaine.

Bibliographie

(1) M. Gouy, *J. Physique*, 2e série, 1889, **8**, 501.
(2) P. Le Goff (coordonnateur), Énergétique industrielle, Vol. I : Analyse thermodynamique et mécanique des économies d'énergie. Éd. Lavoisier, 1979.
(3) P. le Goff (coordonnateur), Énergétique industrielle, Vol. II : Analyse économique et optimisation des procédés. Éd. Lavoisier, à paraître, 1980.
(4) P. Le Goff, « La valeur de l'énergie a-t-elle une base économique, écologique ou technique » ? *Revue d'Économie Industrielle*, 2e trimestre, 1979, 68.
(5) P. Le Goff, « Les rendements d'utilisation de l'énergie par et pour les êtres humains », *Rev. Gén. Therm.*, 1977, **181**, 11.
(6) P. Le Goff, « Optimisation énergétique des procédés industriels », *Rev. Gén. Therm.*, 1978, n° 193, 11 et n° 194, 89.
(7) P. Le Goff, « Le concept d'unité de dégradation d'énergie et ses applications en mécanique des fluides », *The Chemical Engineering Journal* (à paraître).

Utilisation de techniques audio-visuelles et informatiques pour un enseignement autotutoriel de la distillation. Une expérience pédagogique

par Daniel Cabrol, Stefka Pastour, Robert Luft et Jean-Pierre Rabine

(Groupe de recherche pédagogique en chimie, Institut Polytechnique Méditerranéen, Université de Nice, Parc Valrose, F 06034 Nice Cedex).

Bien que la distillation soit une opération pratiquée quotidiennement au laboratoire de chimie organique, l'enseignement de ses fondements et de sa pratique ne rentre que très rarement dans les programmes de la maîtrise de chimie.

Pour combler cette lacune nous avons cherché à mettre au point des documents de travail qui puissent servir aussi bien dans le cadre d'une formation initiale que dans celui d'une formation professionnelle continue. Plutôt que des compléments d'un enseignement classique, qui ne laisse aucune initiative à l'étudiant, de tels documents, comprenant des textes écrits, des montages audiovisuels et des séquences d'Enseignement Assisté par Ordinateur (E.A.O.), constituent dans notre esprit la trame d'un enseignement actif.

La pédagogie qui sous-tend un tel enseignement peut être qualifiée d'autotutorielle, si elle satisfait aux conditions suivantes :
- l'étudiant accède à une certaine maîtrise du plan et de l'organisation de son enseignement,
- l'étudiant peut travailler à son rythme propre, ce qui facilite l'insertion d'étudiants salariés.

Dans la méthode autotutorielle l'initiative ainsi restituée à l'étudiant appelle en retour un développement de ses motivations et de son sens des responsabilités, par le fait même qu'on lui a rendu la liberté de sa démarche intellectuelle dans l'acte d'assimilation de techniques de raisonnement et de connaissances. On aboutit ainsi, par opposition au mode d'enseignement traditionnel, à une

acquisition « individualisée » du savoir et pour chaque enseigné à un passage harmonieux du concret à l'abstrait.

La méthode autotutorielle nous semble être à la base de l'instauration d'une relation de confiance entre enseignant et enseigné. C'est la raison pour laquelle nous avons tenté de l'appliquer à l'étude de la distillation dont nous décrivons le déroulement dans les paragraphes suivants.

Objectifs didactiques spécifiques

Pour un mélange binaire supposé idéal, l'étudiant devra être capable de :
- déterminer le nombre de plateaux théoriques d'une colonne par la méthode graphique de Mac Cabbe et Thiele,
- dégager les conditions optimales de fonctionnement d'une colonne donnée,
- préciser les caractéristiques d'une colonne requises pour atteindre un degré de séparation fixé à l'avance.

Prérequis et évaluation

Les notions fondamentales portant sur :
- les principes relatifs aux changements d'état du corps pur,
- la vaporisation des mélanges binaires idéaux,
- leur séparation par rectification,

constituent l'ensemble des connaissances de base nécessaires pour entreprendre avec profit cette étude. Pour leur permettre de rafraîchir leur connaissance de ces prérequis, nous avons mis à la disposition des étudiants trois séries de « diaporamas » (projection de diapositives synchronisée avec un texte enregistré sur minicassette).

La réalisation des objectifs est évaluée par l'utilisation de programmes générateurs d'exercices et de simulations sur ordinateur.

Documents didactiques

L'ensemble du matériel d'auto-enseignement mis à la disposition des étudiants comporte :
- une présentation de la distillation à l'aide d'un montage de diapositives sonorisées dans lequel on insiste sur l'importance industrielle du procédé et explicite les objectifs didactiques spécifiques à l'étude proposée. On présente aux étudiants la méthode de travail, ainsi que les documents mis à leur disposition,
- un fascicule de base qui expose les principes de la distillation-rectification des mélanges binaires et détaille également les théories de fonctionnement des colonnes à distiller à flux continu (méthodes de Mac Cabbe et Thiele, ainsi que de Ponchon et Savarit),
- une série de montages de diapositives sonorisées portant sur les prérequis nécessaires à la compréhension du fascicule de base. Ces montages peuvent être utilisés aussi souvent que nécessaire par les étudiants qui le désirent,
- des programmes d'exercices individualisés, générés et corrigés par ordinateur, qui permettent à l'étudiant de vérifier sa maîtrise des méthodes graphiques et numériques de calcul des colonnes à flux continu,
- des programmes de simulation du fonctionnement de ces colonnes ; ces programmes sont d'un usage extrêmement simple, l'utilisateur est guidé progressivement vers la définition de conditions de fonctionnement satisfaisantes.

Contenu des documents

Document écrit : principe de la rectification (1)

Le fascicule remis à l'étudiant ne constitue pas un document relevant du génie chimique ; il est limité à l'explication du fonctionnement théorique d'une colonne à distiller. Voici le plan suivi :

A. Principe du fonctionnement d'une colonne de rectification en équilibre.
1. Mécanisme d'échange au niveau d'un plateau,
2. Passage d'un plateau à un autre,
3. Flux et reflux,
4. Échanges de matières.

B. Perturbation de l'équilibre d'une colonne adiabatique.
1. Taux de reflux,
2. Alimentation en matières.

C. Théorie du fonctionnement d'une colonne à distiller les mélanges binaires.
1. Colonne fonctionnant à pression constante sans effet thermique (méthode de Mac Cabbe et Thiele de détermination du nombre de plateaux théoriques),
2. Colonne fonctionnant à pression constante avec effet thermique (méthode de Ponchon et Savarit).

Documents audiovisuels (2)

Les montages de diapositives sonorisées sont conçus pour permettre une révision de certains éléments de base de la thermodynamique, nécessaires à une bonne compréhension de l'équilibre liquide-vapeur et, par suite, du phénomène de distillation.

Le premier montage (46 diapositives, 20 minutes) traite du changement d'état du corps pur dans le vide. On rappelle la règle des phases en insistant sur la signification physico-chimique de chacun de ses termes. En appliquant cette règle au corps pur, lorsque deux phases sont en équilibre, on introduit l'équation de Clapeyron dont l'application est illustrée par la courbe de vaporisation, de fusion et de sublimation du corps pur. Pour la distillation, il importe de bien comprendre la signification de la courbe relative à l'équilibre liquide-vapeur et des deux domaines qu'elle sépare. A cet effet, deux expériences sont illustrées, l'une à pression constante, l'autre à température constante, dans lesquelles on visualise l'état d'équilibre atteint entre l'eau vapeur et l'eau liquide.

Le second montage (40 diapositives, 20 minutes) traite de la vaporisation du corps pur, non plus dans le vide, mais dans une atmosphère (gaz inerte). Après avoir rappelé les définitions relatives aux fractions molaires et aux pressions partielles, on illustre l'évaporation d'un liquide dans une enceinte de volume fixe. L'ébullition sous pression constante est ensuite étudiée en s'aidant de la courbe de variation de pression de vapeur saturante, en fonction de la température. On montre ainsi comment distinguer l'évaporation de l'ébullition. Les variations des principales grandeurs thermodynamiques liées aux changements d'état sont ensuite analysées.

Enfin, dans le troisième montage (38 diapositives, 20 minutes), on étudie l'équilibre liquide-vapeur d'un mélange binaire miscible en toutes proportions et formant une solution idéale. Après avoir rappelé rapidement l'allure des diagrammes isothermes, on s'intéresse particulièrement aux diagrammes isobares, en insistant sur l'aspect dualiste des diagrammes en fuseau. A partir de ces derniers on construit la courbe dite d'équilibre qui relie la composition de la vapeur à celle du liquide. L'équation de cette courbe est ensuite établie à partir des lois relatives aux solutions idéales.

Documents informatiques (3)

A. Les programmes d'exercices
Ils fournissent à chaque étudiant des données numériques personnalisées, lui permettant de construire le diagramme isobare correspondant à un mélange binaire idéal particulier. La courbe d'ébullition est calculée en utilisant la loi de Raoult, les tensions de vapeur saturantes des composés purs le sont en utilisant la relation de Clausius-Clapeyron intégrée. Les enthalpies de vaporisation sont obtenues à partir des températures d'ébullition et en appliquant la règle empirique de Trouton. L'étudiant doit déterminer les caractéristiques d'une colonne théorique permettant d'effectuer une séparation donnée. La réponse est contrôlée par le programme qui fournit dans tous les cas un corrigé type.

B. Les programmes de simulation
Les programmes de simulation du fonctionnement des colonnes à flux continu ont été construits suivant des principes pédagogiques que nous avons décrits par ailleurs (4).

Au cours d'une phase interactive l'utilisateur a la possibilité de définir la constitution de la colonne qu'il désire étudier et ses conditions de fonctionnement. L'extrait de liste n° 1 indique quels sont les paramètres sur lesquels l'étudiant peut agir.

Pour chaque paramètre défini, le programme vérifie que la valeur introduite par l'étudiant se situe entre des limites vraisemblables ; si nécessaire il fournit des indications utiles pour la correction : voir extrait n° 2. Enfin, avant de simuler le fonctionnement de la colonne, le programme procède à un nouveau contrôle pour vérifier la cohérence interne de l'ensemble des données introduites.

Extrait n° 1 : Paramètres à actualiser

Soit une colonne à plateaux (∅ = 300 mm) fonctionnant adiabatiquement, à la pression atm. On introduira, sur le plateau d'alimentation, le mélange binaire supposé idéal, à sa température d'ébullition.

Les codes suivants sont utilisés pour choisir les conditions initiales :

PL.RE : Nombre réel de pl. d'enrichissement
PL.EP : Nombre réel de pl. d'épuisement
INFL : % du composé le plus volatil dans l'influx, en poids
TAUX : Taux de reflux
DIST : Débit du distillat, en kg/heure
REFL : Débit du reflux liquide, en kg/heure
VAP : Débit du flux vapeur, en kg/heure
ALIM : Débit de l'influx liquide, en kg/heure
REND : Efficacité moyenne de la colonne en %

Quelle grandeur désirez-vous fixer ?

Extrait n° 2 : Exemple de commentaires de données erronées

Code : DIST	**Code : VAP**	**Code : REFL**
Valeur : 20	**Valeur : 100**	**Valeur : 100**

Vérifiez le bilan matière en tête de colonne
Veuillez corriger la donnée erronée

Code : VAP
Valeur : 120
Code : ALIM
Valeur : 10

Le débit de la charge doit être supérieur à celui du distillat
Veuillez corriger la donnée erronée

Code : ALIM
Valeur : 150

Engorgement du bas de colonne ; réduisez l'alimentation
Veuillez corriger la donnée erronée

Code : ALIM
Valeur : 25
Code : TAUX
Valeur : 9

Le taux de reflux doit être égal au rapport REFL/DIST
Veuillez corriger la donnée erronée

Code : TAUX
Valeur : 5

A la fin du processus de contrôle et de correction, l'ordinateur édite un bulletin de résultats qui indique :
- la composition des produits au condenseur et au bouilleur,
- la composition et la température de la phase liquide sur chaque plateau théorique : voir extrait n° 3.

Partant de l'un des mélanges suivants : éthanol/propanol, eau/méthanol, *n*-héptane/*n*-hexane, isopentane/*n*-pentane, on peut utiliser ce programme de plusieurs manières, suivant la nature du problème soumis à l'étudiant : étude de l'influence des divers paramètres sur la séparation, recherche de conditions optimales de fonctionnement, etc...

Déroulement de l'enseignement

Nous commençons le cycle d'enseignement par le diaporama « Présentation de la distillation et de la méthode d'étude ».

L'étudiant se voit alors remettre le fascicule « Principe de la rectification » et nous lui proposons de l'étudier pendant quatre semaines. Pendant ce temps, il a aussi à sa disposition les trois séries de diaporamas portant sur les prérequis. Notons à ce sujet que nous avons constaté très rapidement (sondage) qu'un grand nombre de nos étudiants présentait des lacunes dans le domaine des prérequis, c'est pourquoi nous les invitons tous à assister à la projection en petits groupes de ces diaporamas.

A la fin de la période d'étude du fascicule, les étudiants, regroupés par binômes, se voient proposer, pour un mélange binaire idéal donné, une série d'exercices individualisés, générés et corrigés par ordinateur.

Après avoir résolu ces exercices, nous demandons à l'étudiant d'analyser le fonctionnement d'une colonne à l'aide d'un programme de simulation. En pesant successivement sur les différents paramètres, l'étudiant peut ainsi vérifier leur influence sur le phénomène de distillation et aboutir, par ajustements successifs, à l'établissement de conditions de fonctionnement optimales. En dernier lieu, nous suggérons à l'étudiant l'examen du degré d'enrichissement d'un ou de plusieurs mélanges binaires idéaux connus, lorsque la colonne fonctionne dans des conditions standard.

En principe, l'étudiant aborde seul la « phase exercice », mais dans la pratique il peut toujours faire appel à un enseignant lorsqu'il se trouve devant une difficulté.
Inversement, l'enseignant peut intervenir quand il constate que l'étudiant se fourvoie.
A la fin de l'ensemble des exercices, l'enseignant et l'étudiant font en commun un bilan portant à la fois sur le sujet et son mode d'enseignement.

Analyse interne de cette expérience pédagogique

A ce jour, le module d'enseignement autotutoriel (E.A.T.) que nous venons de décrire a été suivi par près de 150 personnes, à savoir 100 étudiants de maîtrise de chimie en 2 années et 50 professeurs de lycées et collèges dans le cadre d'un cycle de perfectionnement.

Dans la phase de mise au point dans laquelle nous nous trouvons encore, nous n'avons pas voulu dépasser le stade de « l'évaluation interne » de la méthode. Notre analyse a donc porté exclusivement sur l'observation directe du comportement des utilisateurs et sur l'exploitation des rapports anonymes de critiques et suggestions que nous avions sollicités de leur part.

La première partie de cet E.A.T., constituée par les diaporamas sur les équilibres liquide-vapeur et leurs aspects énergétiques, n'a soulevé aucune critique de fond de la part des deux groupes concernés. Cependant, les réactions des enseignants contrastaient avec celles des étudiants. Cela peut s'expliquer par le fait que pour les premiers il s'agissait d'une remise en mémoire de notions acquises depuis plus de dix ans, alors que pour les étudiants celles-ci étaient assimilées depuis peu. De plus, la façon dont des enseignants et

Extrait n° 3 : Bulletin de résultats simulés

Rectification d'un mélange binaire : eau + méthanol

PL. RE	**: Nombre réel de pl. d'enrichissement**	**= 10**
PL. EP	**: Nombre réel de pl. d'épuisement**	**= 5**
REND	**: Efficacité moyenne de la colonne en %**	**= 80**
ALIM	**: Débit de l'influx liquide, en kg/heure**	**= 25**
DIST	**: Débit du distillat, en kg/heure**	**= 20**
REFL	**: Débit du reflux liquide, en kg/heure**	**= 100**
VAP	**: Débit du flux vapeur, en kg/heure**	**= 120**
TAUX	**: Taux de reflux**	**= 5**
INFL	**: % du composé le plus volatil dans l'influx, en poids**	**= 20**

Comp. sortie du condenseur
A : Comp. + Volatil 1.000 **B : Comp. – Volatil 0.000**

	Plateau Numéro	Comp. liquide sur le plateau (titre molaire) A	B	Température (Celsius)
Tête de colonne	1	0.999	0.001	65
	2	0.996	0.004	65
	3	0.984	0.016	65
	4	0.941	0.059	66
	5	0.811	0.189	68
	6	0.543	0.457	75
	7	0.265	0.735	84
Alimentation	8	0.123	0.877	91
	9	0.036	0.964	97
	10	0.010	0.990	99
	11	0.002	0.998	100
Bouilleur	12	0.001	0.999	100

La colonne fonctionne en état de déséquilibre car le débit de l'alimentation a été mal évalué.
Modifiez ce débit.
ALIM : 163

. . . . . .

Cette valeur est trop forte, voulez-vous la modifier en fonction de la valeur limite imposée au débit du distillat.

. . . . . .

Voulez-vous modifier la colonne ou ses conditions de fonctionnement : oui

des étudiants perçoivent un même exposé diffère de toute évidence. En particulier, les enseignants ont été sensibles à notre recherche d'un vocabulaire rigoureux et à notre effort pédagogique. Le rythme et la durée de chaque diaporama semblent avoir convenu à la grande majorité des auditeurs. Nous n'avons pas observé de relâchement de leur attention. Mais notre présentation ne semble pas suffisamment interrogative pour inciter l'étudiant à se poser des questions sur la qualité de ses acquis. Nous pensons trouver une solution à ce problème en intercalant des tests d'évaluation formative.

D'une façon générale, le fascicule sur « les principes de la distillation » a été ressenti comme relativement aride. Les deux groupes regrettent la trop grande abstraction et l'absence d'exemples ainsi que d'exercices. Les étudiants, en particulier, relèvent un « contraste entre la facilité avec laquelle ils ont suivi les diaporamas et la complexité apparente du document écrit ». Pourtant nous nous étions efforcés d'introduire très progressivement et un à un les facteurs physiques qui interviennent dans la théorie de la rectification. Nous n'avons pas jugé nécessaire d'introduire des exercices à la fin de chaque paragraphe, car la simulation d'une distillation qui fait suite à l'étude du document écrit devrait permettre de réaliser des applications numériques nombreuses pour l'ensemble du domaine étudié.

La critique du fascicule sur « Les principes de la distillation » par la quasi-unanimité des étudiants montre que nous avons probablement surestimé leur capacité à fournir seuls un effort soutenu, lors de l'acquisition de grandeurs et de relations à représentation mathématisée. On peut se demander si l'une des causes de cette difficulté d'assimilation ne réside pas dans l'environnement audio-visuel quotidien, où l'image est devenue un support privilégié de communication.

Comme nous l'avons déjà observé pour d'autres chapitres de la chimie (cinétique en particulier), l'Expérimentation Scientifique Simulée sur Ordinateur (ESSOR) bénéficie de l'effet de « halo » lié à l'accès personnel de l'étudiant à l'ordinateur. Ce préjugé favorable facilite la prise de contact avec le système (usage du clavier, façon d'introduire des données et de poser des questions). La phase interactive de contrôle des données introduites librement par l'étudiant et qui précède la simulation les amène rapidement à ressentir la nécessité de préciser rigoureusement les relations existant entre les diverses grandeurs caractéristiques du fonctionnement des colonnes. Cet aspect « réaliste » éclaire, dans une certaine mesure, les points délicats du document écrit ; la grande multiplicité des « essais » qu'ils peuvent entreprendre leur permet de bien saisir l'imbrication étroite des différents facteurs qui influent sur la bonne marche de la colonne. Convenablement guidés dans un premier temps, ils parviennent rapidement à développer de façon autonome leur plan de travail. Si cette liberté est incontestablement un facteur positif dans l'apprentissage de la « prise de décision », il faut cependant craindre que l'apparente facilité avec laquelle les résultats sont obtenus ne motivent pas spécialement les étudiants pour approfondir leur connaissance des principes exposés dans le document écrit.

Bibliographie.

(1) Fascicule disponible, participation aux frais 10 F.
(2) Quelques exemplaires des trois montages audio-visuels sont encore disponibles contre participation aux frais de 500 F.
(3) Les listes des programmes pour ordinateur PDP 8/E sont disponibles en langages FOCAL. Une version pour micro-ordinateur PET ou CBM en langage BASIC est en cours d'élaboration. Participation aux frais 10 F.
(4) Daniel Cabrol, Claude Cachet et José Basso, *J. Chem. Educ.*, 1975, **52**, 266. Daniel Cabrol et Claude Cachet *L'actualité chimique*, 1977, **1**, p. 36.

Enseignement universitaire
Un nouvel instrument au service des chimistes : le « multimédia »

par Maurice Gomel, *(Professeur de chimie physique, Responsable du C.U.D.N.M.E. *.)*

Aux U.S.A., puis en Grande-Bretagne se sont développés, depuis plusieurs années, au service de l'enseignement universitaire de la chimie, des « teaching aids » (auxiliaires didactiques). Le plus récent d'entre eux, le « multimédia » est développé particulièrement en France.
Mais, qu'est-ce qu'un multimédia ?
Un multimédia est un outil d'enseignement (« teaching aid ») relatif à un thème donné et faisant appel à la combinaison de plusieurs média.

L'information donnée et les questions posées dans un multimédia sont véhiculées par divers média (fiches et/ou diapositives et/ou cassette et/ou film S8 et/ou transparents) dont les contenus, la forme et l'enchaînement sont définis :
- *d'une part : par la nature même du thème scientifique à traiter,*
- *d'autre part : par les objectifs didactiques préalablement choisis.*

Structure didactique d'un multimédia

Cas des « structures A, B, C »

- Généralement, avant toute réalisation d'un multimédia on fixe et on limite la liste et le niveau :
a) des concepts qui y seront introduits et qui sont retenus comme « à connaître » (Document A),
b) des « savoir faire » (être capable de...) auxquels l'étudiant sera entraîné (Document B), puis sur lesquels il sera testé (Document C).

- Généralement, est aussi introduite une information ou une sensibilisation à une notion, liée au thème du multimédia et jugée utile au plan culturel et/ou social, et/ou économique, etc. (épistémologie, sécurité, etc.).

- Les instruments concrets de la chimie correspondant au thème du multimédia, appareils réels par exemple, sont assez systématiquement « introduits dans l'amphithéâtre » (ou la salle de travaux dirigés ou pratiques), grâce aux aides audiovisuelles retenues (diapositives, films, etc.).

- Un exemple (Annexe I) : le multimédia « Spectrométrie de masse » (auteurs : J. M. Dumas et collaborateurs).

Cas des structures autres

D'autres multimédias, portant sur des thèmes très spécifiques peuvent présenter d'autres structures plus simples, ou plus complexes, que les structures A, B, C. Leurs objectifs spécifiques et ces structures sont alors précisés cas par cas.
Un exemple (Annexe II) : le multimédia « Sécurité dans les laboratoires » (auteurs : B. Martel et collaborateurs).

L'utilisation concrète d'un multimédia par un enseignant

Dans chaque multimédia figure un document signalant les objectifs retenus, et une (ou des) utilisation(s) possible(s), MAIS :
- un multimédia n'est pas un « tout » à prendre ou à laisser, ni un dispositif complet à utiliser nécessairement tel quel,
- la structure modulaire de tout multimédia permet à tout enseignant d'en faire l'usage jugé utile par lui : à volonté, usage partiel, modifié, etc. pouvant aller d'une simple exploitation partielle en vue de l'illustration d'un enseignement personnel, jusqu'à une exploitation directe par l'étudiant mis en situation d'auto-enseignement.

Les problèmes techniques liés à l'utilisation de multimédias

Remarque préliminaire : Problème des appareils nécessaires (si ces appareils font défaut... c'est l'équipement du Service qui est en cause !) :

- la combinaison de média retenue le plus souvent pour nos multimédias est « fiches-diapositives-(éventuellement transparents »); il lui correspond l'équipement maintenant très répandu dans les universités : projecteur de diapositives (à paniers), et éventuellement, rétroprojecteur,
- plus rarement certains multimédias demandent : un projecteur de film super 8 et un ensemble magnétophone à cassette (I) relié par synchronisateur (II) au projecteur de diapositives (III).

N.B. Si l'on ne dispose pas de cet ensemble I, II et III, un ensemble I et II suffit, en demandant des cassettes à « tops sonores » (et non à « tops électroniques »). Mais alors un enseignant doit à chaque « top » déclencher manuellement la diapositive suivante.

Un multimédia est un travail

Un multimédia est le résultat d'un travail collectif [un (ou des) auteur-réalisateur, des collaborateurs techniques et de secrétariat, un Groupe interuniversitaire de « correcteurs critiques » comportant plus d'un spécialiste du sujet]. C'est en fait un long travail (ordre de grandeur, 3 à 6 mois, si ramené à un temps plein).

Multimédia et « perfection »

- Malgré sa réalisation collective et soignée, bien des imperfections et erreurs subsistent, qu'il convient de signaler systématiquement aux auteurs.
- De plus, d'autres choix didactiques (de concepts, de « savoir-faire », d'exemples, etc.) que ceux retenus pour un multimédia, seraient défendables, et un multimédia n'entend pas clore la discussion possible sur ses propres choix, même si ces derniers offrent l'avantage de résulter d'un débat préalable, et de compromis.
- En résumé, un multimédia ne prétend pas être un travail définitif, achevé... et parfait.

Qualité, originalité et utilité des multimédias

- La comparaison aux multimédias réalisés antérieurement aux USA, et en Grande-Bretagne, permettra à chacun de vérifier que la qualité scientifique, didactique et technique atteinte en France, est maintenant égale ou supérieure.
- Un multimédia, s'il a été retenu en vue de sa diffusion, constitue malgré ses inévitables imperfections, un travail original, et (le nombre actuel des utilisateurs le prouve), un travail utile.

Qui, actuellement, commande ces multimédias ?

Les commandes satisfaites entre 1976 et 1979, émanent de :
- 39 Centres universitaires scientifiques,
- 17 pays divers. Les multimédias ainsi diffusés concrétisent l'expansion actuelle de la « didactique de la chimie en langue française », que

* *Le Centre Universitaire de Diffusion de Nouveaux Média d'Enseignement (CUDNME) a été créé à titre expérimental en 1976 par le Ministère des Universités. Cet organisme a pour mission de diffuser, en France et à l'étranger, de nouveaux auxiliaires utiles à l'enseignement universitaire de la chimie. Un grand nombre des prototypes correspondant sont élaborés dans le cadre des travaux du réseau des Recherches Coopératives de Didactique de la Chimie (ReCoDiC). L'actuel Secrétaire général des recherches ReCoDiC est le Pr A. Marchand, Centre de recherches Paul Pascal, 351, cours de la Libération, 33405 Talence Cédex.*

le réseau des Recherches Coopératives en Didactique de la Chimie a développé depuis 1976 à une échelle devenue internationale.

Que serait « votre » multimédia ?

Quel en serait le thème ?, le niveau ?, les objectifs ?, la structure didactique ?, l'illustration audio-visuelle ?, etc...

Si vous songez sérieusement à la réalisation d'un projet précis, n'hésitez pas à nous contacter (cf. coordonnées du CUDNME). Dans tous les cas, nous vous mettrons en relations avec le Groupe « multimédia » du réseau des Recherches Coopératives en Didactique de la Chimie.

Si un simple problème matériel (financier, technique, etc.), bloque votre créativité, veuillez nous signaler votre projet et ce problème, et nous vous proposerons d'éventuelles solutions possibles.

Cependant... une mise en garde

Les auteurs-réalisateurs de multimédia sont bénévoles. Leur travail ne leur vaut ni rémunération, ni promotion, ni considération scientifique. Ce travail est généralement réalisé en sus de leurs activités scientifiques et pédagogiques normales.

Ainsi, d'un point de vue strictement individuel, il faut savoir qu'il est plus « rentable » de consacrer le temps qu'exige la création d'un (ou plus) multimédia, à la réalisation d'une (ou plus) publication de plus (en recherche), ou encore à la réalisation d'un ouvrage d'enseignement de plus, « vendable » par les circuits de l'édition privée.

Liste des « multimédias » disponibles * auprès du CUDNME

La composition (nombre de fiches, diapositives, etc.) de ces multimédias a déjà été publiée dans *L'actualité chimique* (n° 7, septembre 1979).

Niveau 1er cycle :

- Isoméries (ancien titre : Éléments de stéréochimie), par B. Castagna et collaborateurs.
- Démystification :

I. Les grosses molécules biologiques, par P. Rioult et collaborateurs.
II. Les stéroïdes, par P. Rioult et collaborateurs.

- Réactions acido-basiques, par J. M. Dumas et collaborateurs.
- Les structures cristallines, par M. Gomel et collaborateurs.
- Moments dipolaires, par J. Monteau et collaborateurs.
- Radiocristallographie, par M. Gomel et collaborateurs.

Niveau 1er et 2e cycle :

- Analyse conformationnelle, par A. Dumon et collaborateurs.
- Orbitales atomiques, par N. Lumbroso-Bader et collaborateurs.
- Énergie des orbitales et spectroscopie photo-électronique, par R. Haran et collaborateurs.
- La spectrométrie de masse, par J. M. Dumas et collaborateurs.
- Sécurité dans les laboratoires, par B. Martel et collaborateurs.

* *Ces multimédias sont adressés aux établissements publics contre remboursement des coûts moyens de duplication du prototype et des frais d'envoi. Ce remboursement s'élève, selon l'importance du multimédia considéré, à une somme de 200 à 400 F. La livraison à des établissements privés est également possible, mais avec participation aux frais de réalisation.*

Un catalogue détaillé des productions du CUDNME peut être adressé sur demande contre frais d'envoi en timbres français (7,20 F), ou coupons internationaux (contrepartie de 16,50 F).

Pour plus d'information, s'adresser au CUDNME, Faculté des Sciences de Poitiers, 40, avenue du Recteur Pineau, 86022 Poitiers. Tél. (49) 46.26.30, poste 613.

nouveau

Vollrath Hopp

Bases de Technologie Chimique

pour la formation dans l'entreprise

1980. XV, 479 pages
avec 298 illus. et 27 tableaux.
Broché. DM 78,—.
ISBN 3-527-25841-8

Pour la première fois, nous présentons un manuel de cours et d'enseignement, à mettre à la disposition de jeune génération de l'industrie chimique. Ce livre est écrit pour les ouvriers spécialisés, les contremaîtres, les spécialistes de laboratoires, les techniciens, à savoir pour tous les collaborateurs travaillant dans une usine de chimie, dont le but est de mettre en oeuvre dans la pratique les méthodes élaborées au niveau de la recherche et du developpement.

Pour tous renseignements — Réprésentation en France:

Mme Annette Antignac
82, rue de Rennes
75006 Paris
Tél. 548.70.89

verlag chemie

Liste des nouveaux multimédias en cours de préparation :
(susceptibles d'être disponibles en 1980-81) :

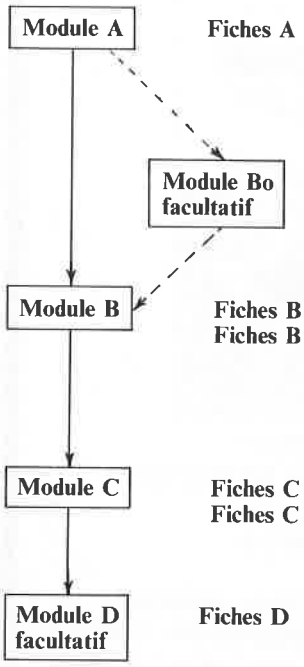
- Répartition électronique sur les molécules organiques.
- Initiation à la cinétique chimique.
- Substrat et réactivité.
- Réactions d'oxydo-réduction.
- Soufre et acide sulfurique.
- Ammoniac et acide nitrique.

Annexe I

Spectrométrie de masse *

Niveau d'enseignement : 1er cycle universitaire (et éventuellement 2e cycle)
Document de la série « Initiation élémentaire aux méthodes et techniques de la chimie »

Éléments constituant le document de travail : modes possibles d'utilisation



Fiches A : Diapositives 1 à 12 ; Tables T1 et T2
- informations « axiomatiques » sur le thème étudié et ses applications,
- illustrations et exemples,
- introduction des tables de données numériques utiles à la spectrométrie de masse (Table T1 : P, P + 1, P + 2 ; Table T2 : abondances isotopiques).

Fascicule programmé :
- entraînement à (et test de) la capacité :
- formule brute (donnée) → formules développées « planes » possibles.

Fiches B (Questions) :
Fiches B (Réponses) : **Exercices de réflexion sur les concepts introduits en A**
- les exercices ont été sélectionnés ou créés en vue d'objectifs didactiques définis dans les termes suivants : « Après étude des fiches A et des exercices de réflexion (et corrigés) B, l'étudiant(e) doit être capable de... ».
- Les réponses « in-extenso » aux questions posées sont fournies afin de permettre l'utilisation en « auto-enseignement » ou en « enseignement dirigé » avec usage de fichier auto-correctifs.

Fiches C (Tests) :
Fiches C (Réponses) : **Exercices-tests parallèles à la série d'exercices B**
Chacun des tests C (réponses jointes) permet à l'étudiant(e) de vérifier s'il a acquis ou non le concept A et le « savoir faire » correspondant B.

Fiches D :Diapositives 13 à 23 ; 1 photo (couleurs-papier)

Analyse détaillée d'un cas concret :
- étude structurale par spectrométrie de masse d'un composé organique inconnu (séparé, après synthèse, par chromatographie),
- présentation d'une installation de couplage « chromatographe-spectromètre de masse-traitement des données ».

Résumé du contenu scientifique des documents A

Fiches A

A1. Principe général (ionisation, fragmentation, dispersion, enregistrement) (diapositives 1, 2, 3, 4, 6).

A2. Techniques : l'appareil du type DEMPSTER pris en exemple (diapositive 7) et vues réelles d'un spectromètre de masse (8 à 12).

A3. Effet du bombardement électronique d'une molécule : processus d'ionisation et de fragmentation. Ex. : le méthanol ; spectre de masse correspondant (diapositive 5).

A4. Isotopes (et le spectre de masse).

A5. Présentation des spectres (et un exemple d'interprétation de spectre de masse : le méthanol).

A6. Quelques applications : recherche de la masse molaire et de la formule brute d'un composé.

* *Extrait du « Catalogue des multimédias produits par le CUDNME ».*

Annexe II

Sécurité dans les laboratoires *

Niveau d'enseignement : 1er ou 2e cycle
Document de la série « Initiation élémentaire aux méthodes et techniques de la chimie »

Éléments constituant le document de travail : modes possibles d'utilisation

1. Module (Fiches et diapositives) ASA

Analyse systématique d'accidents (2 exemples traités).
Les deux exemples traitent deux cas prélévés sur le module suivant ECA (cf. ci-dessous).

Sur ces deux exemples est présentée la méthodologie d'analyse systématique, conduisant à l'« arbre des causes » et à la définition des mesures de prévention correspondantes.

Ces mesures apparaissent sous forme de numéros placés dans les rectangles d'où partent des flèches.

Ces numéros renvoient aux mesures de prévention numérotées figurant sur le module suivant ORSEC.

Le premier des exemples présentés est illustré par les diapositives ASA 1 à 16.

2. Module (Fiches et diapositives) ECA (diapos ECA, 17 à 80 ; cassette magnétique)

Étude de cas d'accidents.
De nombreux cas (réels) d'accident sont répertoriés.
Ils peuvent donner lieu à des exercices d'analyse selon la méthode ASA indiquée ci-dessus. A cet effet, sont indiquées avec chaque cas :
a) les diapositives correspondantes ECA illustrant le facteur ayant contribué à l'accident,
b) les mesures de prévention correspondantes (indiquées par leur numéro sur le module suivant, ORSEC).

Note sur l'utilisation « autonome » de l'ensemble des diapositives ECA :

Une utilisation « autonome » est parfaitement possible (cf. ci-dessous) indépendamment des fiches ECA. Elle permet une présentation systématique des facteurs de risque et quelques exercices actifs de réflexion avec auto-correction possible. De plus, la cassette magnétique jointe permet le cas échéant la diffusion d'un commentaire parallèlement à la projection des diapositives.

3. Module (fascicule) ORSEC

ORganisation et Règles de SECurité
Dans ce fascicule se trouvent, regroupées, classées et numérotées un ensemble de :
1) consignes générales d'organisation de la sécurité au laboratoire,
2) règles de sécurité lors de la préparation et à la réalisation d'une manipulation.

Cet ensemble, qui résulte d'une analyse (selon la méthode ASA) d'un grand nombre de cas d'accidents (tels les cas ECA), se constitue en un « catalogue de mesures de prévention » (d'accidents).

Chacune de ces mesures est donc dotée d'un numéro d'identification, auquel les autres modules (ASA et ECA) peuvent simplement renvoyer leurs utilisateurs.

A ce module ORSEC peut aussi être associée (avant ou après) l'utilisation « autonome » (cf. ci-dessus) de l'ensemble des diapositives ECA qui permet une présentation systématique des facteurs de risque, et plusieurs exercices de réflexion, avec auto-correction possible.

* *Extrait du « Catalogue des multimédias produits par le CUDNME ».*

Bibliographie

Note importante

Nous avons le plaisir d'informer nos abonnés qu'après accord avec la librairie **Technisciences,** qui réalise cette rubrique, ils bénéficieront désormais d'une remise de 10 % sur tous leurs achats documentaires (livres et périodiques). N'omettez pas de mentionner votre qualité d'abonné. **Technisciences,** 103, rue Lafayette, 75010 Paris, Tél. : 878-24-39 et 285-50-44.

Aliments

A4. **Food texture and rheology**
par P. Sherman

Ce livre reprend les communications faites à un symposium organisé à Londres par l'International Union of Food Science and Technology.
Ces textes examinent l'état actuel des connaissances sur la texture des aliments, et rapportent des travaux récents et originaux sur ce sujet.
L'ouvrage s'adresse à des spécialistes des sciences de l'alimentation, à des fabriquants de nourriture, et à des agronomes.
Quelques titres de chapitres : Études psychophysiques sur les aliments liquides et sur les gels. Les derniers instruments mis au point pour tester la texture des aliments. Une analyse de la mesure de la viscosité de liquides newtoniens dans des amylographes et viscographes « Brabender ». La texture des purées de pommes de terre instantanées. Propriétés rhéologiques des protéines en solution. Structure, rhéologie, et texturisation des protéines, etc...

1979, 456 p.

Analyse. Chimie analytique

D14. **Chromatography in petroleum analysis (Chromatographic science : a series of monographs, volume 11)**
par Klaus H. Altgelt et T. H. Gouw

Ce livre s'adresse au nombre croissant de chercheurs qui ont besoin de connaître les méthodes chromatographiques courantes pour l'analyse du pétrole, d'autres combustibles fossiles, et des matériaux qui en sont proches.
Il s'adresse aussi à ceux qui veulent savoir quelles sont les dernières améliorations de ces méthodes.
Les informations contenues dans ce livre peuvent être appliquées immédiatement par des gens ayant une connaissance de base en chromatographie générale.
L'ouvrage est conçu de manière à couvrir aussi bien les principes de base que les nouvelles techniques mises au point tout récemment. Il intéressera les spécialistes des méthodes de séparation, de la chromatographie, et des domaines associés.
Titres des grandes sections : Analyse de distillats (analyse type de groupements hydrocarbures par chromatographie en phase liquide à haute performance...). Analyse de distillats lourds, de résidus et de produits bruts par chromatographie en phase gazeuse. Analyse de distillats lourds, de résidus et de produits bruts par des techniques chromatographiques en phase liquide et en phase fluide supercritique (... Schémas de séparation... Chromatographie par adsorption et par partition... Chromatographie par perméation de gel...). Applications spécifiques (... Analyse d'hydrocarbures aromatiques polynucléaires... Détermination d'additifs dans les lubrifiants...).

1979, 512 p.

S56. **Working with ion selective electrodes**
par K. Cammann

Le domaine des électrodes sélectives d'ions a énormément évolué depuis la première édition de ce livre. Cette seconde édition, publiée cette fois en anglais, envisage les progrès réalisés depuis dans le domaine des détecteurs de gaz, des électrodes à enzymes, et des applications industrielles de ces électrodes sélectives.
Les différents types d'électrodes qui existent sont décrits, de même que des électrodes à fabriquer soi-même, les microélectrodes, les assemblages industriels à écoulement continu et les appareils de contrôle de la pollution.
Le livre est centré sur des procédés simples et ses utilisateurs pourront dès lors éviter les erreurs résultant du manque d'habitude

de la mesure électrochimique des activités d'ions isolés. Les spécialistes de la chimie analytique trouveront dans cet ouvrage une introduction systématique au domaine de ces électrodes.
Table des matières : Données de base de la potentiométrie. Les mesures faisables avec des électrodes. Les électrodes sélectives. Techniques de mesure avec ces électrodes. Techniques d'analyse utilisant des électrodes sélectives. Applications. Appendice.

1979, 240 p.

Biochimie. Biologie

A5. **Pesticide microbiology. Microbiological aspects of pesticide behaviour in the environment**
par I. R. Hill et S. J. L. Wright

En ce qui concerne l'environnement, la communauté scientifique est désormais confrontée à des problèmes tels que le contrôle de l'évolution des pesticides lorsqu'ils sont déchargés dans l'environnement, ou la sauvegarde des réserves alimentaires et de la santé des hommes et des animaux, tout en reconnaissant le rôle important des microbes dans l'écosystème.
Lorsque les pesticides ratent leur cible spécifique, ce ne sont pas seulement les jardins et les oiseaux qui en subissent les conséquences, mais aussi tous les microorganismes qui assurent la fertilité et la productivité.
Le livre explique, de façon équilibrée et approfondie, la microbiologie des pesticides sans minimiser ni exagérer les risques que l'on prend lors d'interventions chimiques dans l'environnement. Il insiste sur les divers aspects microbiologiques de l'évolution et du comportement des pesticides. Il explique comment les microbes peuvent affecter l'activité et la persistance des pesticides, et comment en retour, les pesticides peuvent influencer ces membres, non-cibles du biotope. Il reconnaît aussi que les interactions avec les microbes ne peuvent être considérées en dehors des autres facteurs (physiques, chimiques et biologiques) qui règlent le comportement des pesticides dans l'environnement.
Ce livre s'adresse à des microbiologistes, à des biochimistes, à des écologistes, et aux spécialistes des sciences des sols et de la protection des cultures.
Quelques titres de chapitres : Aspects microbiologiques des environnements animaux, végétaux, aériens, aquatiques et édaphiques. Le comportement et le destin des pesticides dans les environnements microbiens. Les effets des pesticides sur les microorganismes non-cibles du sol. Interactions des pesticides avec les micro-algues. Dégradation microbienne des fongicides, des désinfectants et des nématocides...

1979, 844 p.

E24. **Advances in inorganic biochemistry (volume 1)**
par G. L. Eichhorn et L. G. Marzilli

La série, dont cet ouvrage est le premier volume, vise à remettre à jour le traité intitulé « Biochimie inorganique » de G. L. Eichhorn (1973). Cette série étudie des sujets actuels et non nécessairement étroitement liés entre eux.
Le volume 1 présente des travaux qui ont été menés à bien depuis 1973. Les sujets sont nouveaux ou ont donné lieu à des progrès importants depuis lors.
Les volumes suivants examineront entre autres « Les ions métalliques et le transfert de l'information génétique » et « Les méthodes mises au point pour déterminer le voisinage d'ions métalliques dans les protéines ».
Ce livre s'adresse à des chimistes et à des biochimistes.
Quelques titres de chapitres : Propriétés moléculaires et mécanisme de la phosphatase alcaline. Les oxydases contenant du cuivre. Le cytochrome P-450 et les autres oxygénases contenant un hème. Structure de la (Na^+ + K^+)-ATPase. Implications pour le transport du sodium et du potassium...

1979, 262 p.

Chimie de coordination

P48. **Coordination chemistry of macrocyclic compounds**
par Gordon A. Melson

Ce livre présente une discussion approfondie sur la chimie de coordination des composés macrocycliques.
Les différents chapitres examinent d'abord les derniers progrès réalisés dans la synthèse des composés macrocycliques, leurs propriétés physiques et leur réactivité, et ensuite, les relations qu'ont ces composés avec les produits naturels.
Le thème général du livre est d'ailleurs le rapport qui existe entre les composés macrocycliques de synthèse et les produts naturels. Cet ouvrage s'adresse à des spécialistes de la chimie minérale et analytique, et de la cristallographie.

1979, 650 p.

Physics Briefs
Physikalische Berichte

Edited by Deutsche Physikalische Gesellschaft and Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik in cooperation with American Institute of Physics.

Editor-in-chief: W. Zwirner
Scientific Manager: B. Jenschke
Advisory Board: R. Abbel, D. Hahn, G. Hartmann, D. Kind, E. Richter, K. Schneider, H.-J. Schrader, P. Urban, V. Weidemann, R. Winkler.

„Physics Briefs", pb, is an abstracts journal covering all fields of physics and related areas of science and technology. Its aim is to provide rapid, short, up-to-date, yet comprehensive bibliographic information. Over 120 000 information units compiled from more than 2700 different periodicals, and serials, numerous monographs from books, reports, theses, conference papers and patents are published annually.

1979. Volume 1. Publication schedule: semimonthly.
Annual subscription rate DM 950,– plus postage and handling.
Sample copies are available upon request.

physik verlag Weinheim
P. O. Box 1260/1280. D-6940 Weinheim

Perkin-Elmer automatise la chromatographie sur couche mince

La chromatographie sur couche mince, qui est la plus ancienne et pourtant la plus complexe des techniques de chromatographie en phase liquide, semble être vouée à voir son usage se répandre pour les applications routinières en laboratoire du fait de l'introduction d'un système automatisé de réduction des données lancé par Perkin-Elmer France.
Le système de chromatographie sur couche mince, qui couvre à la fois le matériel et le logiciel, ces deux éléments pouvant aussi être vendus séparément, comprend : la pompe LC série 1, l'étuve de colonne LC-100, un choix de colonnes GPC, le poste de données SIGMA 10, le logiciel de chromatographie sur couche mince et une notice complète d'utilisation.
Le nouveau système automatise les procédures manuelles ayant trait à la chromatographie sur couche mince qui étaient précédemment laborieuses et prenaient beaucoup de temps et garantit des résultats immédiats et précis.
Le logiciel comporte :
- la possibilité de se référer à l'avenir à un profil complet et permanent d'un échantillon de production ou de recherche et, s'il y a lieu, sous une formule de présentation choisie par l'utilisateur ;
- le rappel rapide et complet d'un bout à l'autre de l'analyse des données, en anglais (en français).

Il est possible de modifier la tranche de temps en fonction de l'application et du temps d'analyse.
Le traitement des données s'effectue « en connexion ».
Deux programmes distincts sont fournis dont l'un sert pour l'analyse répétitive d'échantillons semblables et l'autre pour le retraitement variable d'un même échantillon.
La sortie de données comprend Mw, Mn, Mz, la moyenne de viscosité, la polydispersion, la viscosité intrinsèque, le tracé normalisé et les tableaux de données.
La simplicité de l'utilisation ne nuit aucunement à la rigueur de l'analyse mathématique.
Les futures générations de programmes seront mises à la disposition des acquéreurs du système GPC.

Renseignements : Perkin-Elmer France, 19, rue des Peupliers, 92270 Bois-Colombes, Tél. : 784.74.74.

Photomètre U.V. 804

Bien des utilisateurs de chromatographes en phase liquide cherchent à automatiser certains dosages. Dans ce but, un constructeur français a développé un photomètre U.V. d'un excellent rapport qualité/prix. Équipé d'une commande à distance du zéro de D.O. (balance), il garantit à l'utilisateur l'obtention de ses résultats en rattrapant toute dérive éventuelle de la ligne de base. Il peut être équipé d'une cuve analytique ou préparative.

Renseignements : LIREC, 11, avenue de la République, 91230 Montgeron. Tél. : 903.85.02.

Alcoolyzer 100

La société Instrulab présente, pour la première fois, une chaîne de mesure automatique du degré alcoolique sans équivalent sur le marché mondial. Cet ensemble associe un distillateur automatique, un densimètre électronique Paar (représenté en exclusivité par Instrulab) et un microprocesseur spécifique.
La mise au point du distillateur automatique et du microprocesseur réalisés par Instrulab, a bénéficiée d'une aide de l'Anvar.
Le distillateur est conçu pour travailler sur 50 ou 100 cm^3 d'échantillon. Le volume final est complété à 20 °C. Les diverses opérations sont gérées par microprocesseur.
Un autre microprocesseur reçoit du densimètre l'information masse volumique qu'il transforme en degré alcoolique selon la formule légale (*J.O.* du 2 octobre 1973, arrêté du 31 juillet 1973).
L'affichage s'effectue de 0 à 100 degrés.
Les mesures sont effectuées à 20 °C.

Renseignements : Instrulab, 13, rue d'Artagnan, 13014 Marseille. Tél. : (91) 67.59.76.

Dosimètre pour la détection des pollutions atmosphériques

Pour répondre efficacement et rapidement au problème de la détection des pollutions atmosphériques, 3M a mis au point un nouveau type de dosimètre : le dosimètre 3 500 pour le prélèvement de faibles quantités de vapeurs organiques.
Le dosimètre est un appareil individuel à usage unique. Il se porte au col ou à la boutonnière, prélevant un échantillon de l'air effectivement respiré sur une période

allant de 15 minutes à 8 heures par jour. Le dosimètre ainsi exposé est ensuite analysé par les méthodes de chromatographie en phase gazeuse classique, soit par le propre laboratoire de l'entreprise utilisatrice, soit par le service d'analyses de 3M France. Dans ce cas, les résultats de l'analyse sont donnés sous 8 jours à réception des dosimètres.
Les résultats exprimés en ppm ou en mg/m^3 sont pondérés sur une semaine de 40 heures, et peuvent être comparés directement aux valeurs maximales admissibles pour déterminer si les concentrations sont en conformité avec la réglementation d'hygiène et de sécurité, et pour décider des moyens de protection individuelle ou collective qui s'imposent.

Renseignements : 3M France, boulevard de l'Oise 95006 Cergy-Pontoise Cedex. Tél. : 031.61.61.

Le filtre actif « Fibracel »

Les filtres actifs « Fibracel » sont des nouveaux medias filtrants, dont la structure interne est la suivante :
Le substrat est composé de cellulose hydrophile, très accessible naturellement et se présentant sous les formes les plus diverses : papiers, cartons, floches, fibres, tissus, poudres, etc. Ce substrat assure la fonction « filtre », s'il est utilisé seul, ou « préfiltre », s'il est associé à une membrane filtrante.
Sur ces fibres de cellulose composant le substrat, sont greffées des fonctions échangeuses d'ions obtenues par polymérisation à partir de la chaîne macromoléculaire cellulosique d'un monomère ionique, et ceci par une technique de greffage sans aucune réticulation.
Le caractère insoluble du produit est dû uniquement au substrat cellulosique, réalisant ainsi l'association stable d'un polyélectrolyte à un support solide à forte surface spécifique et à forte hydrophilie. Ceci explique parfaitement l'efficacité de ces produits puisque le polyélectrolyte, uniquement lié à une extrémité de sa chaîne, conserve vis-à-vis du milieu traité des propriétés analogues à celles qu'il possède en solution tout en étant insoluble.
Il en résulte une accessibilité extrêmement élevée aux composés à extraire, qui est à l'origine des cinétiques très rapides qui sont couramment observées.
Les températures maximales d'utilisation sont de l'ordre de 100 °C.
A titre d'exemple, un kg de cellulose greffée assure le même débit que 180 l de résines classiques correspondantes.
Il est à noter que la capacité d'échange utile correspond intégralement à la capacité d'échange théorique, ce qui ne peut pas être obtenu sur des résines classiques.
Avec la structure extrêmement divisée de ce nouveau média filtrant, les cinétiques d'échange d'ions sont de 30 à 200 fois plus rapides que les résines traditionnelles. Les conditions de régénération sont elles aussi très particulières :
- les temps de régénération sont très courts, pratiquement instantanés,
- les volumes de régénérants sont très faibles,
- les concentrations en réactifs de régénération sont très basses (environ 1,1 fois la capacité d'échange du matériau en réactif de régénération dissous dans le volume minimal de l'installation).

De nombreuses applications ont été testées en métallurgie, en galvanoplastie et dans l'industrie électronique.

Renseignements : A.D.F., les applications du Filtre, 9, rue Henri-Barbusse, 78530 Buc. Tél. : 956.11.21.

Nouveautés sur le Milli-Q

Introduit depuis déjà plusieurs années, le Milli-Q qui prépare, au moment de l'utilisation, une eau ultra-pure en sels, produits organiques, particules et germes, au débit de 1,5 l/mn, est utilisé dans les laboratoires du monde entier. Les fabricants d'instruments d'analyse de très haute sensibilité tels que les spectrophotomètres d'absorption atomique et des chromatographies liquides à haute pression, utilisent et recommandent le Milli-Q pour obtenir les sensibilités maximales et les interférences minimales pour les étalons ou les « blancs ».
De très nombreux cas d'applications dans les domaines de la chimie analytique, de la recherche microbiologique, de la microélectronique ou de la biochimie, ont contribué à démontrer les performances et la fiabilité du système Milli-Q.
Plusieurs perfectionnements viennent d'être apportés au système :
- une pompe plus silencieuse et qui peut supporter de tourner à sec sans échauffement irrémédiable ;
- une compensation de température automatique dans le résistivimètre incorporé en ligne ;
- un nouveau type de cartouche de charbon activé sec à grande durée de conservation.

Renseignements : Millipore S.A., 43, avenue de l'Europe, 78140 Vélizy. Tél. : 946.97.49.

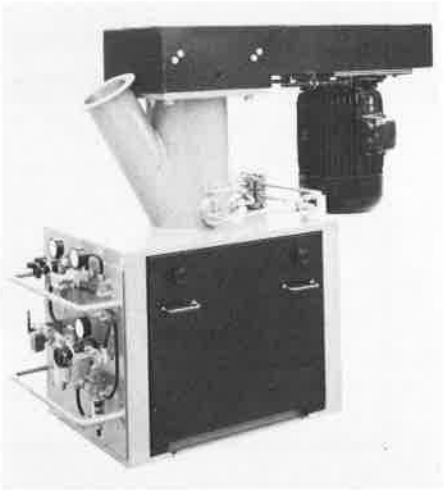
Séparation des microparticules solides par voie humide

Un tout nouvel appareillage vient d'être commercialisé pour la séparation des microparticules solides de 63 à 3 microns.
La séparation est faite par coupes successives (5 maximum) sur tamis électroformés.
Afin de faciliter et d'augmenter les performances de la séparation de ces microparticules, en plus de l'éluant, un système électromagnétique et un système ultrasonique sont utilisés.
Cet appareillage existe en deux versions : une version analytique et une version préparative. A titre indicatif, il est possible de séparer 100 g de substance en 20 minutes pour une coupe moyenne de 20 microns, ceci pour l'appareil préparatif, la précision de la séparation étant de ± 2 microns.
La classification des microparticules peut-être faite sur les métaux, les catalyseurs, les cellules sanguines, les polymères, les céramiques, les produits pharmaceutiques, les matériaux électroniques, les drogues et dans bien d'autres domaines d'applications.

Renseignements : Cunow, 28-30 Rue Fernand Pelloutier, 92110 Clichy, BP 241, 92113 Clichy Cedex. Tél. : 737.32.30.

Granulation de produits pulvérulents

Schugi a développé une machine compacte pour le mélange de poudre(s) avec liquide(s) ; sa conception est prévue pour la dispersion du liquide par atomisation sur des poudres très fines qui sont ainsi dépoussiérées et/ou agglomérées.
L'application de cette machine, dans un procédé complet, permet de transformer les pulvérulents ou les poussières, et de produire des granulés d'une dimension variant de 0,2 à 3 mm.
Ceux-ci ont, entre autres avantages, d'être aisément transportables, de couler parfaitement dans les stockages et les moyens de manutention, d'être travaillés dans des ateliers de transformation ou d'emballage sans émanation de poussière, et d'être traités avec facilité dans des installations de production pour la réincorporation par recyclage.
Suivant le cas d'espèce :
- avec la machine Schugi Flexomix par incorporation de liquide(s) les pulvérulents peuvent être simplement dépoussiérés.
- avec le procédé de granulation, demandant lui aussi une incorporation de liquide(s)



jouant le rôle de liant, mais nécessitant ensuite une opération de séchage, les produits pulvérulents ou poussiéreux peuvent être transformés en produits finis granulés. La capacité des installations peut varier, suivant le cas, de quelques centaines de kg/h jusqu'à 60 t/h.
Les coûts d'énergie sont relativement bas pour des rendements très élevés.

Renseignements : Schugi-France, square des Rochellets, 2, allée des Pinsons, 44100 Nantes. Tél. : (40) 46.00.29.

Débitmètre à transmission électrique ou pneumatique

Appareil de mesure à lecture directe, le débitmètre Gapmeter type AM tout en métal, avec accouplement magnétique, convient pour les conditions d'utilisation difficiles : pressions ou températures sévères, fluides agressifs ou opaques.
Pour tuyauteries 1/2" à 10", l'appareil peut être monté à n'importe quelle orientation (sauf modèle spécial type AMIG pour les gaz avec une perte de pression très faible).

Le débitmètre Gapmeter est maintenant disponible avec transmetteur de signal soit pneumatique (0,2-1 bar) soit électrique (4-20 mA), ou avec alarme de débit maximal/minimal. Système de sécurité intrinsèque disponible d'après Cenelec.

Renseignements : Flowbits S.A., 73, rue de la Course, 33000 Bordeaux. Tél. : (56) 52.35.37.

Les séparateurs Liquatex

Les séparateurs Liquatex sont des appareils dont le mouvement se décompose en une vibration verticale et un mouvement horizontal à vitesses élevées et faibles amplitudes. Le mouvement vertical brise la tension superficielle du liquide, ce qui permet de dégager en permanence la toile tamisante. Le mouvement horizontal convoie les solides et les décharges en bout d'appareil.

Le séparateur liquide/solides Liquatex a été spécialement conçu pour :
- le traitement des effluents et des eaux usées ;
- la récupération de solides utilisables ;
- l'égouttage des matières.

Renseignements : B. 1350 Wavre Limal, Belgique. Tél. : Wavre (010) 41.61.71.

Règles de nomenclature pour la chimie organique

Section D : Composés organiques contenant des éléments qui ne sont pas exclusivement le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, les halogènes, le soufre, le sélénium et le tellure.

Section E : Stéréochimie.

Adaptation française des règles élaborées par la Commission de nomenclature en chimie organique de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée.

Membres de la S.C.F. 50 F
Non membres de la S.C.F. 100 F

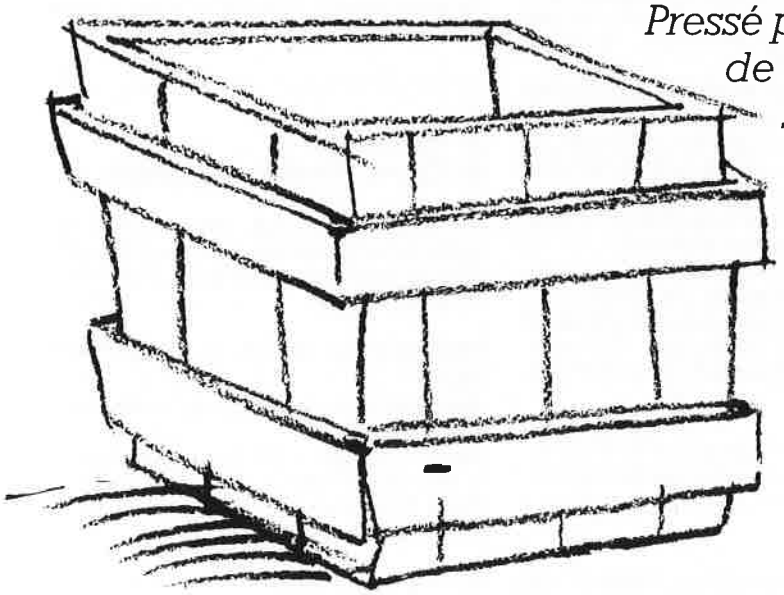
Une commande, pour être agréée, devra être accompagnée du règlement correspondant, sous forme de chèque bancaire ou de chèque postal (280.28 Paris), à l'ordre de la Société Chimique de France. Pour faciliter la tâche de la Trésorerie, éviter, si possible, la demande d'une facture.

Un livre édité par la Société Chimique de France

Les P.M.E. face à la responsabilité civile

JEP & CARRÉ-5

Voici la caisse qui a coûté 40 000 F



Pressé par le temps à la fin de sa journée de livraison, cet employé oublia sur le trottoir, devant un magasin, une caisse vidée de son contenu.

Dans la nuit, elle provoqua la chute grave d'un passant.

Le patron du livreur fut déclaré responsable et dut verser 40 000 francs d'indemnités à la victime. Il n'était pas assuré pour sa Responsabilité Civile.

Aucune entreprise qui fait des livraisons n'est à l'abri d'une telle mésaventure.

L'imprévisible peut se produire du fait de l'un de vos employés et vous coûter très cher en dommages et intérêts.

Votre assureur, un conseiller qui paye. Consultez-le.

Faites, avec votre Assureur, un examen de vos risques; il saura vous garantir par un contrat "Responsabilité Civile" bien adapté.

En cas de réclamation, il vous assistera. Si votre responsabilité est retenue, il paiera pour vous.

Communiqués *

Alimentation 12, 18	**Électrochimie 15**
Analyse spectrale 5	**Environnement 7, 15**
Biochimie, biologie 2, 3, 4, 14, 17	**Industrie 5, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 18**
Catalyse 9	**Métallurgie 10**
Chimie minérale 10	**Polymères 8, 11**
Chimie physique 13	**Prix 17**
Chimie organique 2, 3, 4, 6	**Sociétés savantes 12**
Documentation 1	**Subvention 16**

* *Cette rubrique rassemble des informations qui appellent, éventuellement, une participation ou une demande du lecteur : appels d'offres, colloques, congrès, formation continue, prix, salons, etc... Consulter également la rubrique F.F.C.*

1. Stages CNIC de documentation automatisée

Le CNIC (Centre National de l'Information Chimique) organise, au cours de l'année 1980, divers stages de formation à la documentation automatisée destinés aux documentalistes et aux chercheurs :

- des stages d'introduction à la documentation automatisée,
- des stages sur la recherche bibliographique en conversationnel : Centre Serveur National (TÉLÉSYSTÈMES), Logiciels (MISTRAL, DARC).

Ces stages offrent, en particulier, la possibilité de se former à l'interrogation des fichiers Chemical Abstracts par les structures ou sous-structures à l'aide du système DARC.

- des stages de perfectionnement,
- des stages sur la connaissance et l'utilisation du fonds Chemical Abstracts,
- des stages sur les applications de la documentation automatisée à la chimie,
- des stages sur la recherche documentaire automatisée dans le système d'information chimique Chemical Abstracts (CA SEARCH).

Le CNIC organise également, à la demande, des stages dans les entreprises ou dans les organismes publics à Paris, en province ou à l'étranger.

Pour tout renseignement s'adresser au CNIC 26, rue Boyer, 75971 Paris Cedex 20. Tél. : 797.29.29.

2. Séminaires de chimie organique d'Orsay

Ces séminaires auront lieu à l'Université Paris-Sud, Centre d'Orsay, Salle des Conférences, bâtiment 400, à 16 h 30, aux dates suivantes :

Jeudis 21 et 28 février 1980, M. J.-C. Tabet (École Polytechnique de Palaiseau) :
Utilisation des ions métastables pour la détermination des structures des ions moléculaires et l'étude de mélange.

Jeudi 6 mars 1980, M. L. Wartski (CNRS Thiais) :
Effets structuraux sur la réactivité de nucléophiles anioniques avec les aldéhydes et les cétones α, β éthyléniques.

Mercredi 12 mars 1980, M. J. Chuche (Université de Reims) :
Cyclopropanes fonctionnalisés et hétérocycles oxygénés par thermolyse d'époxydes.

Jeudi 20 mars 1980, M. P. Teisseire (Roure-Bertrand, Grasse) :
Furocoumarines : biosynthèse, mode d'action et dosage.

3. Séminaires de l'École Normale Supérieure

Les réunions ont lieu dans la salle des conférences (rez-de-chaussée) du Laboratoire de chimie (24, rue Lhomond, Paris V^{e}), à 17 heures.

Mardi 26 février 1980, Dr. A. Loupy (CNRS, Thiais) :
Assistance électrophile par les cations alcalins.

Mardi 18 mars 1980, Prof. B. P. Roques (Université de Paris V, René Descartes) :
Étude physicochimique sur les enképhalines et leurs enzymes de dégradation.

4. Conférences du Groupe des laboratoires de Vitry-Thiais

Les conférences ont lieu, à 10 h 30, dans l'auditorium, 2, rue Henri-Dunant, 94320 Thiais (Tél. : 687.48.40).

Lundi 3 mars 1980, M. A. Santelli (Université de Marseille) :
Nouvelle méthode d'annélation. Applications à la synthèse des stéroïdes.

Lundi 17 mars 1980, M. le Prof. J.-C. Jacquesy (Université de Poitiers) :
Nouvelles réactions de dérivés aromatiques en milieux super acides.

5. Journées de spectrométrie d'émission atomique

TECHMATION organise des Journées sur la spectrométrie d'émission atomique à réseau échelle et plasma d'argon, à Paris, Lyon, Aix-en-Provence, Toulouse entre le 10 et le 28 mars 1980.
Les présentations et démonstrations porteront plus spécialement sur les perfectionnements récents, l'application à l'analyse des métaux d'usure dans les lubrifiants, la comparaison plasma d'argon/absorption atomique.

Invitation sur demande au (1) 200.11.05, poste 215. Techmation, 20, quai de la Marne, 75019 Paris.

---

6. Journée d'étude sur les réactions de cyclisations

Organisée dans le cadre d'une action de formation continue par l'École Supérieure de Chimie Industrielle de Lyon, cette journée aura lieu le lundi 17 mars 1980 et comportera quatre conférences :
- *Cyclisations thermiques de composés fonctionnels insaturés,*
par P. Leperchec, (Solaise).
- *Cyclisations induites par les métaux de transition,*
par B. Waegell (Université d'Aix-Marseille III).
- *Composés thia-hétérocycliques par addition intramoléculaire de radicaux thiyle,*
par J.-M. Surzur (Université d'Aix-Marseille III).
- *Rules for ring closures,*
par J.-E. Baldwin (Université d'Oxford).

Pour tous renseignements, s'adresser, M. J. Goré, Université Claude Bernard, U.E.R. de chimie-biochimie, 43, Boulevard du 11 Novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex. Tél. : (78) 889.81.24 (poste 35.35).

---

7. Produits chimiques et environnement

Des conférences-débats organisés par la Commission « Industries chimiques et pharmaceutiques » de la Société des Ingénieurs et Scientifiques de France auront lieu le mardi 18 mars 1980, à partir de 9 heures, 19, rue Blanche, Paris (9e).
Les conférences de cette journée s'adressent aux personnes intéressées par les problèmes de toxicologie et d'écotoxicologie et, d'une façon générale, par les effets des produits chimiques sur l'environnement. Le programme est le suivant :

Matinée

- *Un nouveau domaine d'intervention du législateur : le contrôle des produits chimiques dans l'environnement,* par M. Parenteau.
- *Principes scientifiques de l'évaluation toxicologique de l'impact des produits chimiques dans l'environnement,* par M. le Professeur Paulet (Université de Rennes, Président de Chimie et écologie).
- *Principes scientifiques de l'évaluation écotoxicologique de l'impact des produits chimiques dans l'environnement,* par le Professeur Jouany (Faculté de Pharmacie de l'Université de Paris-Sud.
- *Produits chimiques dans le sol,* par M. Hascoet (Laboratoire de phytopharmacie de l'INRA).

Après-midi

- *Produits chimiques dans l'eau,* par M. Cabridenc, (Service écologie de l'IRCHA).
- *Produits chimiques dans l'atmosphère,* par M. Lombre (Laboratoire d'étude de la pollution atmosphérique du Centre de Recherche de Décines de Rhône-Poulenc).
- *Produits chimiques et protection des travailleurs,* par le Docteur Cavigneaux (Institut National de Recherche et de Sécurité).
- *Apport de la chimie à la protection de l'environnement,* par M. Derome (U.I.C.).

---

8. Voyage aux États-Unis, pour l'ANTEC, de la S.P.E américaine

La conférence technique annuelle « Antec » (Annual technical conference) est la plus importante manifestation de la Society of Plastics Engineers et aussi la plus grande réunion mondiale dans le domaine des plastiques (plus de trois mille participants venant de très nombreux pays).
Chaque année, en mai, elle fait le point de l'évolution et du développement des plastiques dans tous les domaines, au cours de quelques deux cent soixante communications réparties en sept sessions (ces communications étant présentées en langue anglaise).
La trente-huitième « Antec » se tiendra, du lundi 5 au jeudi 8 mai 1980, à l'hôtel Hilton à New-York. Son thème général sera « *Plastics progress through processing* » que l'on peut interpréter comme le développement des plastiques comme conséquence des progrès accomplis dans leur mise en œuvre.
A cette occasion, la Société des Ingénieurs Plasticiens SPE France, (Section française de la SPE américaine) envisage d'organiser un voyage en groupe dans la première décade de mai, qui comportera au début et/ou à la fin une phase touristique facultative, ainsi qu'un programme spécial pour les personnes accompagnant les participants à l'Antec.

Les lecteurs désirant participer à ce voyage sont invités à écrire au secrétariat de SPE France, 65 rue de Prony, 75854 Paris Cedex 17.

---

9. Réunion du GECAT

Le GECAT organisera une réunion les 12, 13, 14 mai 1980 à Ronce-les-Bains (17660), près de Rochefort.
Compte tenu des conclusions du dernier GECAT et des sujets traités les années précédentes, trois thèmes principaux ont été retenus :
- *Électrochimie et catalyse :* génération d'entités actives en catalyse homogène ; application des méthodes électrochimiques à la caractérisation des catalyseurs.
- *Catalyseurs supportés :* influence des précurseurs de la phase active sur les propriétés catalytiques ; nouvelles méthodes de préparation.
- *Zéolithes et sélectivité de forme.*

En outre, trois autres thèmes seront abordés sous forme de conférences invitées :
- *Élaboration industrielle des supports de catalyseurs.*
- *Valorisation de la biomasse.*
- *Les procédés de catalyse homogène en pétrochimie.*

Cette réunion a un caractère informel ; aucun texte des communications n'est exigé des auteurs auxquels nous demandons seulement de nous faire parvenir le titre et un résumé de leur exposé.
Le nombre de participants sera limité à 75 en raison de la place disponible. En cas d'une demande de participations trop importante, les organisateurs seront amenés à faire un choix dont le but sera d'assurer la présence de toutes les communautés scientifiques s'intéressant à la catalyse.

Les personnes désirant assister à cette réunion sont priées de faire parvenir leur réponse avant le *3 mars 1980* à M. D. Commereuc, Institut Français du Pétrole, BP 311, 92506 Rueil-Malmaison cedex.

---

10. 4e Conférence internationale sur le titane

Le Japan Institute of Metals (JIM), l'American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers (AIME), l'American Society for Metals (ASM) et la Société Française de Métallurgie (SFM) organisent les 19-22 mai 1980, à Kyoto (Japon), la 4e Conférence internationale sur le titane.

Renseignements : Société Française de Métallurgie, 5, rue Paul Cézanne, 75008 Paris.

---

11. JEPO IX

Les 9es Journées d'Études sur les Polymères se déroulerons dans la région de Mulhouse, du 1er au 5 septembre 1980. Cette réunion sera, comme les années précédentes, organisée dans l'esprit qui a assuré le succès des 8 premiers JEPO :
- les participants sont en particulier des jeunes chercheurs du monde industriel et universitaire ayant moins de dix ans d'expérience dans leur domaine d'activité. Il est souhaitable que chacun d'entre eux présente une communication.
- il n'y a pas de spécialisation et tous les thèmes traitant de la science des polymères

seront retenus (synthèse, macromolécules biologiques, physico-chimie, propriétés physiques et applications).
• Le nombre total de participants est limité à 50.

Pour tous renseignements et pour les inscriptions s'adresser à A. Vidal, JEPO IX, Centre de recherches sur la physicochimie des surfaces solides, C.N.R.S., 24, avenue du Président Kennedy, 68200 Mulhouse. Tél. : (89) 42.01.55.

12. Congrès annuel de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences

Le 99e Congrès de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences se déroulera, à l'Université d'Amiens, du 8 au 12 septembre 1980 sur le thème : *Les bases scientifiques de l'amélioration des ressources alimentaires.*
Il comprendra des rapports et communications orales ou affichées présentés sur les sujets suivants et suivis de discussions : Production végétale. Production animale. Conservation des aliments. Physiologie de la nutrition et physiopathologie de la malnutrition humaine. Économie générale et régionale. Probèmes historiques et géographiques régionaux.
Des rencontres avec les praticiens, agriculteurs, industriels, enseignants, chercheurs des diverses institutions (Université d'Amiens, de Compiègne, Institut National de la Recherche Agronomique, etc...) ainsi que des visites de laboratoires et de sites artistiques, archéologiques ou de curiosités naturelles seront également prévues.

Pour tous renseignements s'adresser au Secrétariat de l'AFAS, 250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris.

13. Symposium international sur les clathrates et le phénomène d'inclusion moléculaire

Ce symposium, organisé par l'Académie des sciences de Pologne, se tiendra à Varsovie du 22 au 26 septembre 1980.

Pour tous renseignements : Dr Janusz Lipkowski, Instytut Chemii Fizycznej, Polska Akademia Nauk, ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa, Pologne.

14. Structure et métabolisme des glycoconjugués

Le Laboratoire de chimie biologique de l'Université des Sciences et Techniques de Lille I organise, en septembre 1980, un enseignement patronné par l'EMBO sur les glucides libres et conjugés, donné dans le cadre des activités du Laboratoire associé au C.N.R.S. n° 217. Il s'est assuré la participation de H. Egge, S-I. Hakomori, F. Hemming, C. Hughes, R. W. Jeanloz, M. Monsigny, H. Schachter, R. Schauer, W. Sly and J. F. G. Vliegenthart.

Le nombre de participants est limité à 20. Les enseignements sont essentiellement pratiques mais comportent néamoins des exposés généraux et des séminaires.

Pour tous renseignements, s'adresser à : Professeur J. Montreuil, Université des Sciences et Techniques de Lille I, Laboratoire de chimie biologique, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex (France). Tél. : (20) 91.92.22. Poste 2455.

15. Symposium international sur la corrosion atmosphérique

La Section corrosion de l'Electrochemical Society organise un Symposium international sur la corrosion atmosphérique, qui se tiendra, du 5 au 10 octobre 1980, à Hollywood, en Floride.

Renseignements : W. H. Ailor, Metallurgical Research Division, Reynolds Metals Co, Richmond, Va. 23261, U.S.A.

16. Allocations de subventions données par la Fondation Van 't Hoff

La Fondation Van 't Hoff, établie à Amsterdam et gérée par l'Académie Hollandaise Royale des Sciences, a pour but d'allouer, tous les ans, sur les revenus de son capital des subventions aux chercheurs dans le domaine de la chimie pure et appliquée.
Ceux qui désirent concourir pour une subvention sont priés d'adresser leur demande à la Commission chargée de classer les demandes et d'accorder les subventions.
La somme disponible pour l'année prochaine se monte à environ 4 000 Dfl. Cette somme pourra être accordée à un demandeur ou bien être divisée entre plusieurs personnes. Adresser les demandes à : Het Bestuur der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, t.a.v. de Commissie van het Van 't Hoff Fonds, Trippenhuis, Kloveniers-burgwal 29, 1011 JV Amterdam (Pays-Bas). Elles devront être reçues avant le premier avril 1980.
La commission tient à être renseignée parfaitement sur les titres que le demandeur peut faire valoir à une subvention et sur le but auquel celle-ci est destinée ; le montant de la somme demandée doit être indiqué. Une subvention destinée aux frais d'entretien du demandeur ne peut pas être accordée.

17. Prix « A.F.A.S. jeune »

En 1980, le Congrès de l'A.F.A.S. aura lieu, début septembre, à l'Université d'Amiens (Annonce dans cette rubrique). A cette occasion deux prix seront décernés :

Prix Irène Meynieux
(sur le thème du congrès)
Prix annuel d'une valeur de 1 000 F destiné à récompenser un jeune de moins de trente ans. Il est attribué à l'auteur du meilleur travail personnel concernant un sujet scientifique en rapport avec le thème du congrès. Plus que la connaissance ou la découverte, la donatrice souhaite que soient récompensés l'esprit d'initiative, l'originalité de la réflexion et la rigueur de pensée du lauréat.

Prix Jean-Louis Parrot
(sur un thème de biologie générale)
Prix annuel d'une valeur de 1 000 F destiné à récompenser un jeune de moins de trente ans environ. Aucune nationalité n'est exigée non plus qu'aucune langue maternelle ; il suffit que le document soit présenté en français.
Le donateur souhaite que soit récompensé l'auteur d'une étude comportant des données expérimentales nouvelles et personnelles.

Pour ces deux prix, le travail peut être présenté sous toute forme adaptée au sujet étudié, que ce soit mémoire dactylographié ou imprimé, film, enregistrement sonore ou tout autre support de communication.
Les dossiers de candidatures doivent être présentés par deux membres de l'A.F.A.S. et devront parvenir au Secrétariat de l'A.F.A.S., 250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris, avant le 15 juin 1980. Ils devront comporter les pièces suivantes (en double exemplaire) :
• les travaux avec illustrations et notes explicatives,
• un résumé de 50 lignes dactylographiées maximum,
• des appréciations éventuelles de personnalités compétentes,
• un curriculum vitae et une notice de titres et travaux.

Les dossiers des candidats seront examinés sur le fond et sur la forme par des rapporteurs désignés par le Président de l'A.F.A.S. Le jury, réuni et présidé par le Président de l'A.F.A.S. fera connaître ses décisions avant le 30 août 1980.
La remise des prix aura lieu à Amiens au cours de l'Assemblée générale de clôture du Congrès.

18. Diagrammes enthalpiques pour fluides frigorigènes

L'Institut International du Froid informe qu'elle dispose des diagrammes enthalpiques en unités S.I. pour les principaux fluides frigorigènes.

Pour toutes commandes, s'adresser à l'I.I.F., 117, bd Malesherbes, 75017 Paris. Tél. : 227.32.35.

Compte rendu du symposium SPE-France de novembre 1979 sur la surface des produits plastiques

Le Symposium d'automne de la Société des Ingénieurs Plasticiens SPE France, organisé à l'hôtel Nikko à Paris, le jeudi 8 novembre, a eu pour thème : *La surface des produits plastiques : aspect, caractéristiques, incidences.*
Ce problème de l'état de surface des produits plastiques avait rarement fait l'objet d'un débat dans la profession.
Les exposés, présentés par des spécialistes de ces questions, ont donc permis d'en faire le point et de montrer en particulier que nombre de caractéristiques, dont certaines sont essentielles au bon emploi de l'objet ou de la pièce, sont reliées à l'état de surface.

L'exposé introductif du Professeur Donnet (C.N.R.S.) sur les surfaces et interfaces a mis l'accent notamment sur l'énergie de surface et sur l'énergie réversible d'adhésion, puis M. Pabiot (CEMP) a présenté les méthodes permettant de mesurer les différentes propriétés de surface.

L'état de surface d'un produit est influencé par sa mise en œuvre, les défauts qui apparaissent en surface pouvant être le plus souvent supprimés par une modification des conditions de cette mise en œuvre. C'est ce qu'ont montré MM. Chauffoureaux (Solvay et Cie) et Roux (General Electric Plastics) respectivement pour les produits extrudés ou calandrés et pour les produits moulés ou thermoformés.

Après que M. Le Goff (Ciba-Geigi) ait exposé la préparation des surfaces pour l'assemblage par collage et pour le revêtement par résines, M. Courtel (C.N.R.S.) a présenté les problèmes de frottement et d'usure dans les matériaux plastiques et les composites, puis M. Sauzeau (CdF Chimie) a traité de la qualité optique et de la microrugosité de surface des films en polyéthylène basse densité.

Enfin, se plaçant sur un autre plan, mais qui a aussi son importance, M. Viaud (Cabinet Viaud Design) a parlé des incidences esthétique et psychologique de l'état de surface des produits plastiques.

Chaque exposé a été suivi d'une discussion avec l'auditoire, la journée se terminant par une synthèse-débat au cours de laquelle de nombreuses questions ont été posées.

Le recueil des textes des huit exposés présentés peut être obtenu, par les personnes qui n'ont pu participer au symposium, auprès du secrétariat de SPE France (65, rue de Prony, 75854 Paris cedex 17) au prix franco de : 30 F pour les membres SPE, et de 90 F pour les non-membres (règlement à joindre à la demande).

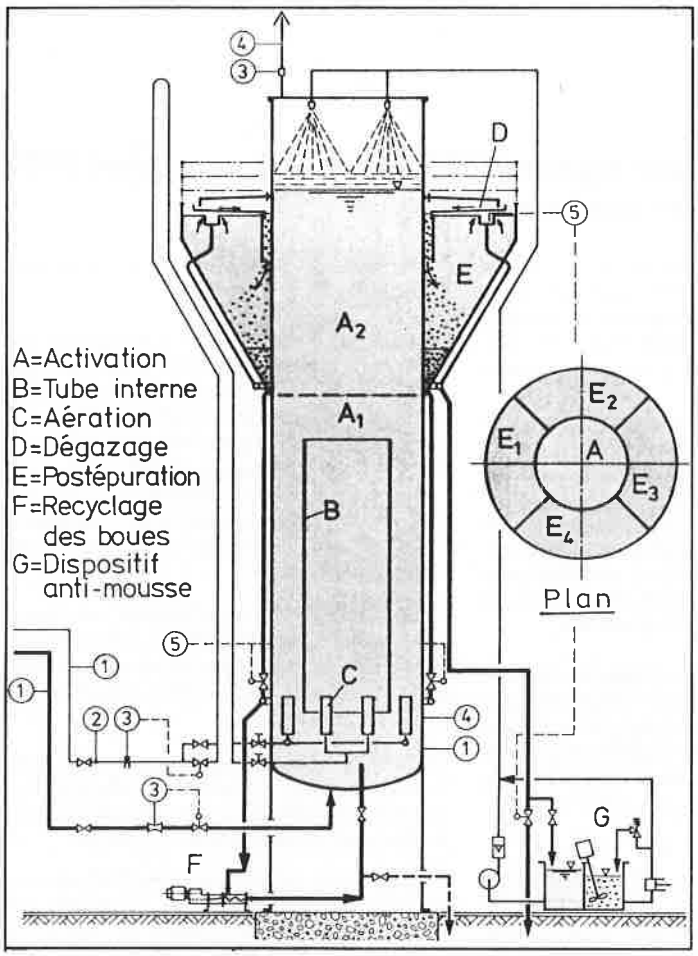
Nouveaux procédés Hoechst pour le traitement des eaux

Le Bioréacteur vertical pour l'épuration des eaux usées

L'épuration des eaux industrielles s'effectue dans des stations sur le site des usines chimiques. Ainsi, Hoechst exploite 34 grandes installations, réalisées sur mesure en fonction de la composition des eaux usées, celle-ci étant fonction des programmes de production des différentes usines.

Aujourd'hui, Hoechst présente le dernier-né de sa recherche et de son développement : le Bioréacteur vertical (Biohoch-Reaktor R). Il a été conçu pour aménager l'étape biologique du traitement effectué habituellement dans des bassins de grandes surfaces, et cela bien qu'il soit destiné au traitement d'importantes quantités d'eaux usées. C'est une structure intégrée, d'une hauteur d'eau comprise entre 15 et 30 m.

Dans la partie médiane du Bioréacteur se trouve la zone d'activation où se déroule le processus biologique. Elle est entourée de la zone de post-clarification qui s'évase vers le haut. On peut installer dans la section d'activation un conduit spécial qui permet un recyclage interne (effet de tirage). Dans la partie inférieure de ce réacteur, les bactéries sont exposées à une pression de 1,5 à 3 bars. A la surface, par contre, la pression est normale.
L'oxygène requis par les bactéries est, en règle générale, introduit par l'air dans les eaux usées, ce qui provoque la formation de bulles plus ou moins grosses et plus ou moins finement dispersées. L'apport d'oxygène représente un facteur important influant considérablement sur les frais énergétiques. Il se trouve accru par la turbulence.
A l'intérieur (cf. schéma), se trouve la zone d'activation **A**, domaine d'action des bactéries. L'air et l'eau non traitée sont introduits par le bas à l'aide de systèmes spéciaux. Le tube intérieur **B** permet l'effet de tirage déjà mentionné dans le secteur à hautes performances $\mathbf{A_1}$ de la zone de réaction. Le fond intermédiaire, équipé de perforations prévues pour ne pas être obstruées, sépare vers le haut une zone de réaction secondaire $\mathbf{A_2}$. C'est là que s'achève l'épuration avec une faible charge métabolique.
Le mélange boue activée/eaux usées s'évacue par la tête du réacteur. A cet endroit, on maintient une certaine hauteur de mousse à



l'aide d'une douche particulière pour désodoriser l'air évacué.
Avant de pénétrer dans la zone de post-clarification conique et circulaire **E**, la boue activée traverse les éléments de dégazage **D**. Ici, les bulles de gaz sont éliminées des flocons de boue, de sorte que cette dernière se dépose, comme souhaité, dans la zone de post-clarification et ne surnage pas. La boue ainsi déposée est évacuée par des tubes et retournée, pour la plus grande part, au réacteur afin que la masse de bactéries nécessaires s'y maintienne. Seul l'excédent, formé par la prolifération des bactéries, est éliminé et déshydraté dans l'installation de traitement de la boue.
Les dispositifs de mesure et de régulation permettent un fonctionnement pour ainsi dire automatique des installations.

Notre photo montre le Bioréacteur, installé à l'usine de Hoechst de Francfort. Ce prototype de 25 m de haut a une capacité de dégradation de 2 t/jour de DBO_5. Il permettrait de traiter, par voie biologique, les eaux usées d'une ville de 30 000 habitants. L'installation fonctionne depuis maintenant deux ans.

Les résultats d'exploitation du Bioréacteur ont montré que ce système permet de résoudre les problèmes d'épuration biologique des eaux usées en économisant de la place, sans nuisance (odeurs et bruits), en tenant compte des impératifs énergétiques.

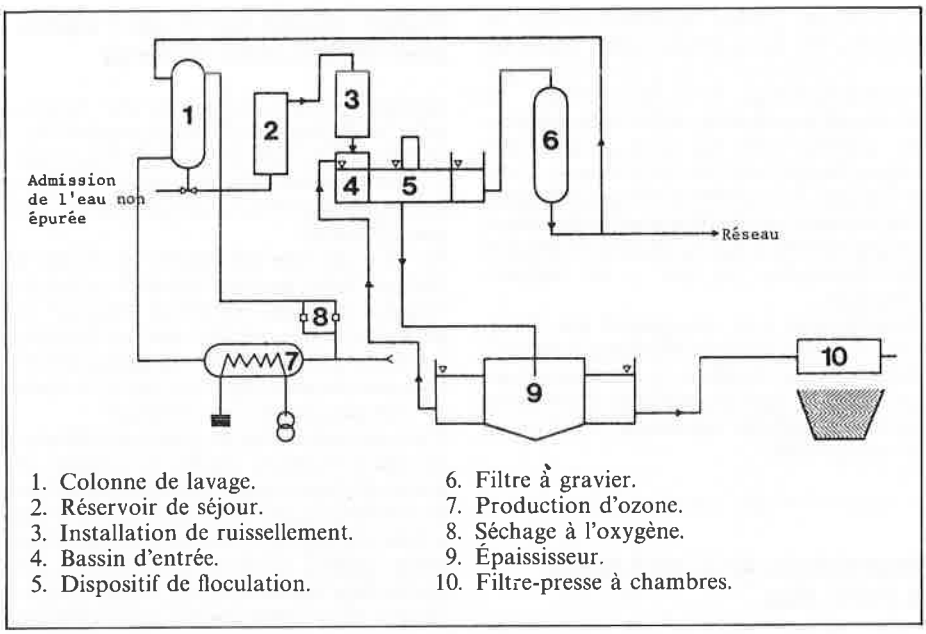
A l'heure actuelle, Hoechst démarre la construction d'une deuxième installation de Bioréacteur vertical dans son usine bavaroise de Kelheim. D'autres projets sont à un stade avancé.

De l'eau pure par le procédé ᴿAquodrei

Pour réduire les prélèvements d'eaux souterraines, la société Hoechst, en coopération avec Messer Griesheim GmbH, a mis au point un nouveau procédé permettant d'obtenir, de l'eau épurée à partir d'eaux usées de surface fortement souillées. Une installation pilote de 300 m^3/h a été exploitée, sa capacité est environ la moitié de celle de l'unité de traitement actuelle de l'usine mère de Hoechst située sur les bord du Main.

Le procédé, appelé ᴿAquodrei, fait appel à des opérations connues, mais complétées par une ozonisation. Il permet d'éliminer pratiquement la concentration bactérienne (en particulier les colibactéries) et les impuretés organiques ; quant à la teneur en sels minéraux, le traitement n'influe pas notablement sur elle, mais permet d'éliminer les pollutions gênantes, tels les sulfures par oxydation.

Les trois étapes du procédé Aquodrei : ozonisation, floculation et filtration sur graviers sont les suivantes :
Une partie de l'eau épurée complètement traitée, est ramenée dans la colonne d'absorption vers le gaz contenant l'ozone sous pression (cf. schéma). Pratiquement, l'ozone se dissout alors quantitativement dans l'eau. Ce courant partiel à forte teneur en ozone est mélangé à l'eau de rivière. Pour obtenir une durée de réaction homogène et définie, on fait ensuite passer l'eau à travers un réservoir de réaction. Pendant le séjour d'environ 4 mn, a lieu le processus d'oxydation. Vient ensuite, dans un bassin en béton, la floculation avec des sels de fer, du lait de chaux, des auxiliaires de floculation et du charbon actif. Les impuretés de l'eau, sont adsorbées par les flocs d'hydroxyde de fer. Après avoir traversé la couche de boue, l'eau est désormais très propre et surtout exempte de germes. Elle subit encore une post-épuration par filtration sur graviers. On obtient alors une « eau pure » incolore, limpide, qui possède pratiquement la qualité de l'eau potable.
Les boues sont déshydratées pour avoir une teneur en solides d'au moins 30 %, puis évacuées sur décharge sous forme de gâteau consistant. (Composition : environ 60 % de $Fe(OH)_3$; 30 % de $CaCO_3$ et 10 % de substances organiques, y compris le charbon actif ajouté.)
Il n'y a pas d'eaux résiduaires puisque tous les courants partiels circulent en circuits fermés (eau de rinçage des filtres, produit passé par les filtres-presses, courant partiel d'eau ozonisée).
L'ozone est produit à partir d'oxygène passé par un champ électrique de 200 Hz et 10 kV,



1. Colonne de lavage.
2. Réservoir de séjour.
3. Installation de ruissellement.
4. Bassin d'entrée.
5. Dispositif de floculation.
6. Filtre à gravier.
7. Production d'ozone.
8. Séchage à l'oxygène.
9. Épaississeur.
10. Filtre-presse à chambres.

par décharge électrique silencieuse, puis extrait à 99,8 % par lavage du mélange oxygène/ozone dans une colonne.
La production est réglée pour éviter dans l'air tout excédent d'ozone au moment d'équilibrer l'eau avant la floculation.

*
* *

Hoechst a, dès les années 1950, placé la lutte contre la pollution au centre de ses préoccupations. C'est ainsi que pour la France, la Société Française Hoechst a, depuis 1974, cumulé des investissements pour la protection de l'environnement qui avoisineront 40 millions de francs pour les quatre usines d'épuration de Cuise-Lamotte, Lillebone, Dijon et Stains, les deux premières stations étant dotées d'une installation de dégradation biologique ; en coûts d'exploitation, la protection de l'environnement s'élèvera en 1980 à, environ, 18 millions de francs, soit près de 2 % du chiffre d'affaires correspondant aux produits fabriqués.

Nominations

• M. W. Bass Watkins a été nommé au poste de Président du Conseil d'administration de Du Pont de Nemours International S.A. à Genève, Suisse, où il a succédé à M. Robert W. Grimble, à dater du 1er janvier 1980. M. Watkins est responsable des activités de Du Pont de Nemours pour l'Europe, l'Afrique et le Moyen Orient.
M. Grimble a fait valoir ses droits à la retraite.

• Lors de sa séance du 20 décembre 1979, le Conseil de surveillance de CdF Chimie a renouvelé pour quatre ans les mandats de membres du Directoire de MM. Jacques Petitmengin, Alain Stahl et Michel Therme, dont les fonctions étaient venues à expiration, reconduit M. Jacques Petitmengin en qualité de Président et nommé Michel Therme Directeur général. Il a également nommé, à titre de nouveau membre, M. François Paolini, précédemment Directeur du Groupe thermoplastiques de CdF Chimie.
M. Roger Loison, membre du Directoire de CdF Chimie depuis la création et Directeur général de la société, atteint par la limite d'âge en juin 1980, n'a pas sollicité la reconduction de son mandat. Le Conseil de surveillance a tenu à lui exprimer sa gratitude pour les services rendus au groupe CdF Chimie.

• M. Robert Cawthorn (Canada), a été élu Président de Biogen S.A. (organisme international dont le siège est à Genève) qui développe et commercialise des produits basés sur la recombinaison de l'ADN et les technologies de mutation.

Les trois premiers trimestres 1979 de Hoechst

La demande de produits chimiques s'est maintenue en général à un niveau élevé pendant les trois premiers trimestres de 1979 de Hoechst.
Le chiffre d'affaires du Groupe consolidé mondial pour cette période s'est élevé à 19,8 milliards de DM, ce qui représente une augmentation de 9,7 % par rapport à la période correspondante de l'année précédente. De bons chiffres d'affaires ont encore été réalisés en Europe occidentale et aux U.S.A. L'évolution des affaires a également été positive au Japon tandis qu'elle a fait apparaître des différences dans les pays d'Amérique latine où l'on enregistrait des ventes plus élevées en Argentine et au Mexique, et moins importantes au Brésil.
En substance, toutes les Divisions ont contribué à l'augmentation du chiffre d'affaires. Des taux d'accroissement supérieurs à la moyenne générale ont été réalisés par les Divisions Produits chimiques organiques, Matières plastiques, Fibres et Agriculture alors que ceux de la Division Construction d'installation ont été moins importants.
La société Hoechst AG fait apparaître un chiffre d'affaires de 8 milliards de DM ce qui correspond à une augmentation de 14,2 %. L'accroissement du C.A. depuis le début de l'année est dû pour plus de deux tiers à une augmentation des ventes. Les hausses de prix y ont participé pour environ 4 % ; cela n'a cependant pas encore permis de compenser le surcroît de dépenses résultant du renchérissement des matières premières et des énergies.
Dans l'ensemble, les ventes par quantités n'ont plus augmenté par rapport au 2e trimestre et la demande a diminué légèrement dans certains domaines d'activité.
Les stocks de l'entreprise sont demeurés inchangés pendant le 3e trimestre. L'utilisation des capacités de production s'élevait en moyenne à 79 % au 3e trimestre contre 85 % au 2e trimestre.

Restructuration du Groupe CdF Chimie

Lors de sa séance du 20 décembre 1979, le Conseil de surveillance de CdF Chimie a approuvé la modification des structures de la société qui lui a été proposée par le Directoire.
Cette modification, intervenant dès le 1er janvier 1980, se traduit principalement par le regroupement des activités pétrochimiques et plastiques qui, précédemment, relevaient directement de CdF Chimie, au sein d'une nouvelle filiale dénommée CdF Chimie Éthylène et Plastiques (CdF Chimie EP). Le capital sera détenu par la société-mère CdF Chimie S.A. ; celle-ci apportera à la nouvelle société sa participation dans la filiale Société Chimique de Dieuze (SoCD), qui assure la production de polystyrène.
L'apport à la nouvelle filiale par la société-mère CdF Chimie S. A. des installations concernées de la plate-forme de Carling/Saint-Avold et de l'usine de Lillebonne sera réalisé en février 1980. Entre le 1er janvier 1980 et la date de cet apport, CdF Chimie EP en assurera la gérance libre.
Pour leur part, les activités de la plate-forme pétrochimique de Dunkerque continueront jusqu'à nouvel ordre à relever de la filiale Copenor dont la part pourrait ultérieurement être reprise par CdF Chimie EP.
La création de CdF Chimie EP achève (à l'exclusion du secteur résines et thermodurcissables qui, pour le moment, reste du ressort de la société-mère) le regroupement d'activités de même nature dans des sociétés filiales dotées de la personnalité juridique, maîtres de leurs décisions dans le cadre des objectifs généraux du groupe, et responsables de la gestion de leur personnel. Cette structure décentralisée permettra au Groupe CdF Chimie d'accroître l'efficacité de ses moyens opérationnels, et de mettre en œuvre une gestion souple, bien adaptée à l'évolution des marchés. Cette filialisation doit également créer les conditions favorables à l'accueil éventuel de capitaux extérieurs.
La société-mère CdF Chimie S.A. aura notamment pour mission la coordination des politiques fondamentales du groupe CdF Chimie (sociale et humaine, stratégique, financière) et la gestion des moyens généraux. A partir du 1er janvier 1980, les activités

du Groupe CdF Chimie ont ainsi été réparties entre les six domaines suivants : Pétrochimie et plastiques, Engrais, Chimie organique, Produits acryliques, Peintures, International.
Le Conseil d'administration de CdF Chimie EP a désigné M. François Paolini en qualité de Président, confiant les fonctions de Directeur général à M. Alexandre Colin, également Directeur général de Copenor.

Prêts de la BEI pour la production d'engrais en Côte-d'Ivoire

Dans le cadre de la première Convention de Lomé, la Banque Européenne d'Investissement a octroyé deux concours d'un montant total de 5,72 millions d'unités de compte (5,85 F) pour l'extension d'une usine d'engrais dans la zone industrielle d'Abidjan, en République de Côte-d'Ivoire.
Sur ce total, 5,17 millions u.c. ont été prêtés pour 10 ans au taux de 7,15 %, compte tenu d'une bonification d'intérêt de 3 % sur les ressources du Fonds Européen de Développement, à la Société Ivoirienne d'Engrais (SIVENG), une société d'économie mixte qui est le seul producteur d'engrais en Côte-d'Ivoire.
D'autre part, la BEI a pris, pour le compte de la Communauté Européenne, une participation de 0,55 million u.c. dans le capital de la SIVENG sur les capitaux à risques prévus dans le Convention et dont la gestion est confiée à la Banque.
Les investissements auxquels la Banque apporte son concours visent à l'extension et à la rationalisation des capacités de production d'engrais complexes et d'acide sulfurique. L'usine de la SIVENG, dont la production sera portée à 120 000 tonnes d'engrais par an, pourra ainsi faire face à l'accroissement de la consommation non seulement en Côte-d'Ivoire, mais aussi en Haute-Volta et au sud du Mali.
Cette extension stimulera donc la coopération économique entre états ACP, conformément aux objectifs définis dans la Convention de Lomé ; en outre, ces investissements industriels, dont le coût est estimé à 18,5 millions u.c., amélioreront sensiblement les rendements agricoles dans les trois pays concernés.
La Caisse Centrale de Coopération Économique (France), par l'intermédiaire de la Banque Ivoirienne de Développement Industriel, la Société Financière Internationale et la Deutsche Entwicklungsgesellschaft participent également au financement.

Le Département Polymères de Du Pont

Du Pont de Nemours annonce la fusion, à partir du 1er janvier 1980, de ses départements Produits chimiques élastomères et Produits et matières plastiques, en un seul groupe qui sera dénommé Département Polymères.
Le nouveau groupe reprendra toutes les activités des deux départements fusionnés dans les domaines de la production, de la commercialisation et de la recherche. Le personnel actuellement affecté à ces différentes activités dans les deux groupes sera intégré dans le nouveau département. Cette fusion aura pour conséquence une plus grande efficacité et un renforcement de la position concurrentielle de la société dans les secteurs des élastomères, du film et des matières plastiques.
Parallèlement à ce changement aux États-Unis, les départements Produits chimiques élastomères et Produits et matières plastiques existant dans les filiales de Du Pont en Europe fusionnent également, à partir du 1er janvier 1980.

Implantation de L'Air Liquide à Porto Rico

A Porto Rico, L'Air Liquide S.A. et Cliff. C. Henderson (Texas) ont créé la société Puerto-Rico Cryogenics Corp (P.R.C.C.) dont L'Air Liquide détient une participation majoritaire et assure la direction.
P.R.C.C. a racheté les actifs d'une société locale de production de gaz : « General Gases » et signé avec celle-ci un contrat de distribution des gaz en bouteilles, P.R.C.C. se réservant la distribution des gaz sous forme liquide.
La capacité de production d'oxygène et d'azote liquides de P.R.C.C. qui est actuellement de 25 t/j, sera doublée prochainement. Le chiffre d'affaires annuel, qui dépasse 3 millions de dollars, devrait croître rapidement.

Contrats SIR/Euteco Impianti avec Petrobras Quimica

Un très important contrat, qui prévoit un programme de large collaboration scientifique et technologique, a été signé entre la SIR Consorzio Industriale SpA et l'Euteco Impianti SpA (sociétés du Groupe SIR) et la société pétrochimique d'État brésilien Petrobras Quimica SA (Petroquisa).
Ce contrat, quinquennal et renouvelable, comprend, entre autres choses, des programmes conjoints de recherche et de développement et de transfert de technologies.
Il est à relever qu'un accord de cette importance est le seul accord de ce genre réalisé avec une société étrangère par la plus grande société pétrochimique brésilienne.
Pour concrétiser ce que prévoit le programme de collaboration, un second contrat a été signé immédiatement après. Ce dernier contrat prévoit le transfert de la part d'Euteco Impianti à Petroquisa de la technologie d'une installation pour la production de éthylbenzol ayant une capacité de 140 000 t/a. Cette installation sera construite à Rio Grande Do Sul, le troisième complexe pétrochimique brésilien.

Badger France agréée par l'Agence pour les économies d'énergie

Badger France a été agréée par l'Agence pour les Économies d'Énergie au titre de la procédure instituée par cet organisme visant à aider à la réalisation d'études préalables au lancement d'investissements en vue d'économies d'énergie.
Au titre de cette procédure, les clients de Badger France peuvent obtenir le rachat par l'Agence pour les économies d'énergie des études qu'ils auraient fait effectuer par Badger France, en vue d'un programme d'investissement économisant l'énergie, si ces études ne sont pas suivies de réalisation.
Cette procédure mise au point après décision du Gouvernement illustre la volonté des autorités d'encourager les industries mettant en œuvre d'importantes quantités d'énergie à faire entreprendre par les sociétés d'ingéniérie agréées, ayant les compétences et le savoir-faire nécessaires, des études visant à réduire leurs consommations énergétiques.

Le laboratoire textile Degussa a 75 ans

Le laboratoire textile du Service technique d'application produits chimiques de la Degussa a célébré récemment son 75e anniversaire. La « station expérimentale de blanchissage » que la Degussa a fondée en 1904, à son siège principal de Francfort, a été le premier établissement de ce genre. Déjà à l'époque, le laboratoire disposait de tous les appareillages qui sont nécessaires pour les essais de blanchiment à l'échelle industrielle et pour les études des textiles en vue de déterminer, par exemple, la résistance à la traction ou le degré de blancheur des tissus. Il remplissait ainsi les conditions préalables nécessaires aussi bien pour des travaux scientifiques que pour un vaste service clientèle dans le domaine du blanchiment des textiles.
La consultation technique sur le blanchiment dans les usines des clients constitue aujourd'hui un élément central de l'activité du laboratoire textile qui a été transféré en 1969 au nouveau Centre de recherche et de technique d'application pour la chimie dans la succursale de la Degussa à Hanau-Wolfgang.

Recherches gazières en France

Le groupe Total CFP et la direction interdépartementale de l'industrie Nord Pas-de-Calais ont annoncé qu'une campagne de recherches de gaz naturel allait être menée dans la région Nord Pas-de-Calais. Celle-ci, qui doit durer 4 ans à compter de 1980, a pour objectif l'exploration des horizons primaires profonds situés dans le bassin charbonnier et dans lesquels il existe sans doute quelque chance de trouver du gaz, ont

expliqué ces responsables. L'exploitation intensive des couches superficielles du bassin charbonnier ayant à maintes reprises révélé la présence de grisou, mélange constitué d'une bonne part de méthane, il est pratiquement certain, selon les chercheurs, que du méthane a également été produit par la carbonification des couches profondes. C'est là, jusqu'à 6 000 ou 7 000 m de profondeur, que la campagne de recherches Boulogne-Maubeuge va tenter de localiser des poches importantes dans lesquelles le gaz serait retenu.

Nouvelles de Rhône-Poulenc

Progression de R.-P. dans les pays de l'Est

Malgré une conjoncture difficile, le montant des échanges (achats + ventes) de Rhône-Poulenc avec les pays de l'Europe de l'Est atteindra en 1979 environ 1,6 milliard de francs, ce qui représente une progression de l'ordre de 20 % par rapport à 1978.
Si la tendance générale des neuf premiers mois se confirme sur toute l'année, la progression des exportations du groupe vers cette zone se situera aux environs de 13 % en 1979.
Au cours de l'année 1979, M. Jean Gandois, Président directeur général de Rhône-Poulenc, s'est rendu en U.R.S.S. et en Pologne où il a eu de nombreuses rencontres avec différents ministres et personnalités de l'économie et de l'industrie soviétiques et polonaises. Dans ces deux pays, les accords cadres signés en 1976 ont permis de développer considérablement les courants commerciaux. Rappelons également qu'en 1979, un accord cadre a été signé avec la R.D.A.
Les résultats obtenus cette année marquent d'une façon très significative la continuité d'une politique volontariste menée par Rhône-Poulenc depuis 1975, vis-à-vis des pays de l'est européen. Celle-ci a permis d'aboutir sur ces quatre dernières années à un doublement des échanges du groupe Rhône-Poulenc avec les pays de l'Europe de l'Est.

Regroupement des activités en Hongrie

Rhône-Poulenc a décidé d'implanter à Budapest un bureau visant à regrouper à terme, l'ensemble des activités du Groupe avec ce pays. Ce bureau constituera d'autre part une instance permanente de contact avec l'industrie chimique hongroise.
Les échanges commerciaux traditionnels entre Rhône-Poulenc et la Hongrie ont été jusqu'ici conduits par des agents à la commission. En 1978, le chiffre d'affaires réalisé par les sociétés françaises du Groupe dans ce pays a atteint environ 100 millions de francs.
Les échanges devraient se développer dans le contexte d'un accord cadre signé en octobre 1978 entre Rhône-Poulenc et la Hongrie.

Rhône-Poulenc Pharma

A l'occasion de son 10e anniversaire, Rhône-Poulenc Pharma, filiale de Rhône-Poulenc en R.F.A. (Norderstedt, près de Hambourg) dans le domaine de la santé, vient d'annoncer qu'elle commercialiserait désormais elle-même les nouvelles spécialités pharmaceutiques issues de la recherche Rhône-Poulenc. Jusqu'ici, en effet, des accords de licences confiaient ce rôle à la firme Bayer.
Rhône-Poulenc Pharma a réalisé en 1978 un chiffre d'affaires de 26 millions de D.M. et emploie aujourd'hui 180 personnes. Dans l'avenir, aux secteurs traditionnels de la filiale allemande, s'en ajouteront deux autres : la lutte contre les infections anaérobies et la cancérologie.

Rhône-Poulenc Inc.

Après la récente fusion avec Anken, Rhône-Poulenc Inc. met en place une nouvelle organisation aux États-Unis. Deux unités se partageront les activités de la filiale américaine du groupe : Rhône-Poulenc Chemical Co. pour la chimie et Rhône-Poulenc Systems Co. pour l'information communication.

Investissement dans les gommes silicones

Dans le domaine des gommes silicones, le Groupe Rhône-Poulenc a décidé d'investir 8 millions de francs pour l'implantation d'une unité de polymérisation en continu dans son usine de Saint-Fons (Rhône). Cette unité, d'une capacité de 3 000 t/an, entrera en service dans une dizaine de mois environ. Elle permettra de répondre au fort accroissement des besoins du marché que l'on constate en ce moment.
Actuellement, la fabrication de gommes silicones s'effectue d'une manière discontinue. La nouvelle unité qui sera mise en place permettra une fabrication en continu. Ce procédé, plus industriel, permettra de fournir à la clientèle des élastomères silicones de qualité plus constante.
Rappelons que les gommes silicones sont des polycondensats de très haut poids moléculaire. Elles entrent dans la fabrication des élastomères vulcanisant à chaud, commercialisés sous le nom de Rhodorsil EVC.
Les Rhodorsil EVC sont constitués par des gommes ou des mélanges de gommes silicones auxquelles sont incorporées, outre divers additifs, des charges minérales leur conférant les propriétés mécaniques adaptées aux emplois en câblerie et en caoutchouterie industrielle qui sont les principaux marchés utilisateurs.

Naphtachimie offre de la chaleur à l'agriculture

Naphtachimie, complexe pétrochimique situé à Lavéra (Bouches-du-Rhône) est une filiale du Groupe Rhône-Poulenc (57,2 %). Les unités principales de ce complexe sont de grosses consommatrices d'énergie qui, après utilisation, restituent une énergie dégradée sous la forme de vapeur ou d'eaux chaudes difficilement réutilisables dans le complexe. Ainsi, plus de 91 millions de calories sont disponibles toutes les heures. Ce qui représente environ 70 000 tonnes d'équivalent pétrole chaque année.
L'utilisation de l'eau chaude dans un réseau de chauffage urbain est une possibilité qui fait l'objet actuellement d'une étude en association avec la raffinerie B.P. et la société SPIE Batignolles. (Rappelons qu'avec une année de production d'eau chaude, il serait possible de chauffer 70 000 logements.)
Toutefois, cette utilisation ne permettra pas d'épuiser totalement la chaleur disponible. La chaleur de restitution serait encore de 60 °C, de quoi intéresser une autre catégorie d'utilisateurs : les agriculteurs.
La production importante et continue d'eau chaude, facilement transportable, intéresse les zones agricoles ou cultivables proches de Lavéra (Plaine de Ponteau, Saint-Pierre, Saint-Julien-les-Martigues, Vallon de Valtrède). Ces conditions permettraient de développer des activités agricoles en bordure de la zone urbaine.

Vaccin Mérieux pour l'UNICEF

Neuf millions et demi de doses de vaccin contre la rougeole seront fournis par l'Institut Mérieux à l'UNICEF (Organisation des Nations Unies pour l'Aide à l'Enfance) en réponse à un appel d'offre mondial de cet organisme. Le vaccin Mérieux a été préféré en raison de ses caractéristiques techniques (notamment sa thermostabilité).

Grace va produire des catalyseurs en Europe

La société W.R. Grace and Co. va construire, en Europe, une unité de production de catalyseurs pour craquage fluide. Dans un premier temps, Grace stockera en Europe des catalyseurs en provenance de sa division chimique Davison, qui est le plus gros producteur U.S. de catalyseurs de craquage fluide pour les raffineries mondiales.
La division chimique européenne de Grace, Grace GmbH à Worms, Allemagne de l'Ouest, sera chargée de la vente et des services techniques pour les marchés européen et du Moyen Orient. L'usine de Worms fournit déjà le marché européen en silices micronisées et en adsorbants de Davison.

Par ailleurs la division chimique européenne de Grace a démarré la construction d'une nouvelle unité chimique à Worms. Celle-ci fabriquera des produits pour l'industrie de transformation du papier.

Extension de capacité d'acrylates à Saint-Avold

Poursuivant l'essor qui la maintient au rang des principaux fournisseurs européens de monomères acryliques et méthacryliques, Norsolor (du Groupe CdF Chimie) développe sa capacité de production, conformément au programme annoncé en avril 1977.
En septembre dernier, la société a mis en route la première tranche de sa nouvelle usine d'acrylates de Saint-Avold (Moselle).
Le démarrage s'est effectué dans d'excellentes conditions et il sera suivi, au milieu de l'année prochaine, par la mise en service de la seconde étape.

Cette nouvelle usine fera appel à un procédé moderne d'oxydation directe du propylène, qui présente de nombreux avantages (meilleure productivité et performances accrues, moindres risques de pollution acide).
Les nouvelles installations, qui ne constituent qu'une première phase, assurent d'ores et déjà à Norsolor un doublement de capacité d'acrylates.
Rappelons que les acrylates connaissent des utilisations très diversifiées dans de nombreuses industries : peintures, papiers, textiles, cuirs, colles et adhésifs, etc. Les qualités qu'ils confèrent aux produits finis justifient le maintien d'un bon taux de croissance.

CdF Chimie étend sa gamme de polystyrène

Le Groupe CdF Chimie, premier producteur français de polystyrène, commercialisé sous la marque Gédex, vient d'élargir sa gamme de qualités d'ores et déjà disponibles à la clientèle :
Le Gédex 6, polystyrène cristal de haute masse moléculaire, possède de bonnes propriétés mécaniques et une température de ramollissement vicat élevée. Sa viscosité à l'état fondu est particulièrement adaptée à la fabrication de plaques et à la dilution des Gédex super-chocs pour extrusion.
Le Gédex 10, polystyrène demi-choc fluide pour l'injection de pièces à parois minces, apporte l'avantage d'une bonne brillance et d'une transparence de contact appréciées pour certains emballages alimentaires.
Le Gédex 3231, polystyrène choc, allie à de bonnes propriétés mécaniques une très bonne tenue à la chaleur, ce qui le rend particulièrement apte à la réalisation d'appareils électriques pour l'audio-visuel.
Le Gédex 260, polystyrène super-choc fluide, possède une bonne souplesse et permet la fabrication d'articles de grandes dimensions.
Le Gédex 9100, polystyrène choc de très haute fluidité, permet le moulage par injection de pièces de formes compliquées ou présentant de longs parcours de matières. Pour les formes plus simples il autorise des gains de cadence appréciables par la possibilité de le travailler à plus basse température. Le Gédex 9100 convient aussi parfaitement à la réalisation de mélanges maîtres colorés.
Le Gédex 4501, polystyrène super-choc de très haute fluidité permettant le mélange de pièces résistantes à parois minces. Conservant ses excellentes propriétés mécaniques même à très basse température. Il est particulièrement indiqué pour toutes les applications de l'industrie du froid.

Nouvelle technologie pour la récupération de l'hydrogène des mélanges gazeux

Monsanto annonce la mise sur le marché d'un dispositif permettant de séparer d'une façon efficace, et particulièrement économique, l'hydrogène des gaz de process et des

effluents industriels. Ces appareils sont commercialisés sous la marque Séparateurs Prism. Utilisant le principe d'un faisceau de fibres creuses, et ne renfermant aucune partie mobile, ils sont d'un fonctionnement simple et pratiquement sans entretien et n'exigent qu'un apport minime d'énergie. Cette technologie brevetée est appelée à trouver de larges applications dans le raffinage, la pétrochimie et la production d'ammoniac.

Par rapport aux méthodes classiques de séparation des gaz, les séparateurs Prism permettent d'importantes économies d'énergie : le fonctionnement de l'unité ne nécessite normalement aucune énergie supplémentaire autre que la pression partielle de l'hydrogène existant dans les débits gazeux d'alimentation. Ils mettent à profit le principe de la pénétration sélective des gaz à travers les membranes poreuses pour séparer l'hydrogène des autres gaz.
Les faisceaux de fibres Monsanto sont contenus dans des capsules en acier, de 10 à 20 cm de diamètre et de 2 à 6 m de longueur. La disposition et le nombre d'unités nécessaires pour chaque installation sont à déterminer cas par cas. Les séparateurs seront commercialisés sous forme de systèmes sur glissières, d'installation aisée. Si nécessaire, des dispositifs de pré-traitement des gaz sont incorporées, pour assurer une durée d'utilisation maximale des fibres.

Un service technico-commercial Monsanto, uniquement consacré aux systèmes de séparateurs Prism, a été mis en place pour commercialiser directement cette technologie auprès de la clientèle industrielle. Des prototypes de séparateurs fonctionnent avec succès depuis deux ans, notamment sur des unités pétrochimiques dans les usines Monsanto de Texas City (Texas) depuis mars 1977, et de Pensacola (Floride) depuis avril 1978. Une autre installation, montée sur un débit d'épuration d'une unité d'ammoniac à Luling (Louisianne), fonctionne avec succès depuis son démarrage, début 1979.

Selon des estimations du fonctionnement industriel des filtres, ce nouvel équipement peut produire de l'hydrogène, avec une pureté pouvant atteindre 99 %, à partir de débits gazeux contenant de l'hydrogène sous une pression partielle suffisante. Étant donné que les séparateurs Prism ont été conçus pour que l'entrée des gaz s'effectue par la capsule métallique et la sortie de l'hydrogène par les tubes, l'équipement admet des pressions d'alimentation pouvant aller jusqu'à 150 kg/cm^2.

Les unités sont construites après étude expérimentale en usine ; elles sont montées et prétestées en atelier avant d'être livrées, sur glissières, sur le site d'utilisation. Ceci permet une mise en place rapide, en utilisant une rampe de montage bétonnée, préparée à l'avance. Le captage d'hydrogène peut normalement commencer aussitôt après le raccordement des conduites d'alimentation et de sortie des gaz.

D'après Monsanto, le gaz récupéré par les séparateurs Prism est de qualité convenable pour être recyclé dans les circuits de fabrication, ce qui permet à l'utilisateur, soit une économie de matières premières par unité produite, soit une augmentation de production pour une même quantité de matières. Ce succès dans le domaine de la technologie des fibres pourrait éventuellement conduire Monsanto à travailler à la séparation d'autres gaz. Les domaines visés sont ceux des débits gazeux de grande valeur qui ne sont pas séparés économiquement par les technologies actuelles. La recherche est en cours sur plusieurs applications de ce genre.

Du Pont présente un nouveau Teflon

Du Pont a achevé la mise au point d'une nouvelle résine fluorocarbonée thermoplastique, qui doit être commercialisée sous la

marque « Teflon ». Elle possède de meilleures propriétés mécaniques et thermiques que le FEP et coûte moins cher que le PFA.
Aux températures d'utilisation normales, la nouvelle résine, connue sous le nom de Teflon EPE, présente les mêmes propriétés électriques, mécaniques et chimiques générales que le FEP (éthylène-propylène fluoré) et le PFA (perfluoro-alkoxy). Aux températures plus élevées, toutefois, ses propriétés sont supérieures à celles du FEP. Dans ces conditions, ses propriétés mécaniques atteignent 70 à 80 pour cent de celles du PFA.
Son prix se situe entre ceux du FEP et du PFA de Du Pont.
La résine fluorocarbonée Teflon EPE sera disponible sous deux formes : TE-9800, résine destinée aux applications générales de moulage et de revêtement de câbles, et TE-9805, résine de viscosité plus élevée destinée aux applications d'extrusion et de moulage, surtout dans l'industrie chimique.

Station expérimentale pour la gazéification souterraine

L'Institut pour le Développement de la Gazéification Souterraine réalisera à Hensies, près de Mons, une station expérimentale pour démontrer la faisabilité de la gazéification souterraine du charbon à grande profondeur.
La Division de Liège de la société d'ingénierie Coppée-Rust a été chargée d'une mission couvrant l'étude et la supervision de la construction des installations de surface nécessaires à la conduite de l'expérience.
La gazéification se fera au moyen d'un mélange air-vapeur ou oxygène-vapeur, à haute pression, constante ou variable, en vue de produire un gaz de synthèse ou un gaz de combustion.
La station expérimentale, qui représente un investissement de près de 200 millions de FB, sera mise en route fin 1981. Les résultats des expériences seront exploités par l'Institut en vue d'une utilisation ultérieure à l'échelle commerciale.
Ce projet fait suite à l'accord intergouvernemental signé le 1er octobre 1976 entre la Belgique et la République Fédérale d'Allemagne ; les coûts sont partagés entre les gouvernements de ces deux pays. Le projet bénéficiera d'un financement partiel de la Commission des Communautés européennes.

Installation de traitement de gaz et de pétrole au Sahara

Des compresseurs centrifuges Sulzer seront installés dans l'un des plus importants complexes de traitement de gaz associé et de réinjection de gaz de la Sonatrach (Société pétrolière nationale algérienne pour l'exploitation, la production et le traitement des hydrocarbures). L'installation, située au Sahara, à proximité de la frontière Algérie-Libye, est en cours de construction par Fluor Inc., Houston. Elle est destinée à être utilisée pour l'exploitation du champ de gaz naturel d'Alrar et des champs pétrolifères de Stah et Mereksen.
Les compresseurs seront entraînés par des turbines à gaz de type industriel General Electric. Au total 13 groupes différents de turbocompresseurs de gaz, d'une puissance totale de compression installée de 145 000 kW, seront nécessaires.
Le pétrole provenant des puits de Stah et Mereksen sera recueilli et traité dans des installations de séparation de gaz et de pétrole locales. Le gaz associé sera lui comprimé dans un groupe de compresseurs à deux bâtis et refoulé par gazoducs à Alrar.
L'installation de traitement d'Alrar sépare les hydrocarbures lourds du gaz associé des champs pétrolifères de Stah et Mereksen, ainsi que du gaz naturel des champs d'Alrar.
Des cycles de réfrigération par propane seront utilisés pour assurer la capacité de réfrigération nécessaire. Les gaz d'hydrocarbures lourds ainsi traités seront envoyés par gazoducs, conjointement avec le brut, au nord de l'Algérie.
Le gaz résiduel, principalement du méthane, sera d'abord comprimé à 80 bars dans quatre groupes de surcompresseurs et ensuite à 320 bars dans trois groupes de compresseurs à deux étages pour être réinjecté dans les champs de gaz naturel d'Alrar.

Nouvelle unité Johns-Manville pour matériaux isolants

Une nouvelle unité de production vient d'être mise en route par la société Johns-Manville dans son usine italienne pour accroître sa production européenne de matériaux isolants en fibres céramiques. Cette unité est considérée comme étant la seule du genre existant en Italie.
Isolant à haute température, le Ceraform[R] est maintenant produit à Casalpusterlengo, au sud de Milan. Ce matériau est moulé sous vide, pour produire toutes sortes de pièces de forme telles que pavés creux, tubes ou pièces moulées destinés aux industries métallurgiques, céramiques et pétrochimiques.
Utilisé à des températures s'élevant jusqu'à 1 260 °C, il est employé dans l'industrie de la céramique notamment pour le revêtement de fours et les wagonnets de four tunnel. Dans l'industrie de la fonderie, il est utilisé pour le calorifugeage des masselottes.
Le Ceraform est moulé sous vide à partir de fibres d'alumine et de silice agglomérées par divers liants organiques et inorganiques. Les fibres céramiques en vrac sont fabriquées par Johns-Manville à Saint-Marcellin-en-Forez, près de Saint-Etienne.
L'installation de Casalpusterlengo a été inaugurée en 1967 pour assurer principalement la production de briques isolantes et autres pièces de forme réfractaires.

Borg-Warner Chemicals inaugure un centre technique

Borg-Warner Chemicals Europe a inauguré un nouveau et important centre technique dans l'enceinte des installations de production de la société à Grangemouth en Écosse.
La principale fonction de ce centre est d'apporter un soutien technique et un appui commercial pour la nouvelle usine voisine de production d'agents modifiants MBS (vendus sous la marque Blendex BTA) d'une capacité de 22 000 tonnes par an. Les bureaux d'études développeront de nouveaux polymères, amélioreront les procédés et formules de PVC incorporant ces agents modifiants.
Outre les constructions de l'usine d'agents modifiants MBS et du Centre technique, Borg-Warner Chemicals a augmenté sa capacité européenne de production de thermoplastiques Cycolac ABS à Grangemouth, qui atteint maintenant 140 000 tonnes par an.

Oligopoles en série sur le marché japonais

Une étude récemment menée par le magasin japonais The Orient Economist montre le degré élevé de concentration de l'offre dans de nombreux secteurs de l'économie japonaise. Dans six catégories industrielles, un seul fournisseur contrôle plus de 80 % du marché intérieur. Ce sont la fabrication de boissons lactées, de boissons au cola, de gin, de papiers carbone, de papier d'imprimerie en couleur et de lingots de nickel. Dans 22 autres catégories, le plus important fournisseur détient encore 60 % du marché. Au nombre de celles-ci : la bière, le whisky, les montres et les carbures.
Dans le textile, Toray Industries détient 31,9 % du marché du nylon, suivi de Asahi Chemical Industries (18 %) et Unitika (17,5 %). Pour le polyester, c'est Teijin qui vient en tête avec 24,9 % du marché, devant Toray (23,9 %) et Nippon Ester (13 %).
Dans la chimie, Denki Kagaku Kogyo domine le marché des carbures avec 64,8 % du total. La production d'engrais se répartit ainsi : 38,8 % du marché pour UBE Industries, 12,7 % pour Sumitomo et 12,6 % pour Mitsubishi. Nippon Steel domine évidemment toute la sidérurgie, avec cependant une baisse de sa part de production d'acier brut (passée de 34,4 % en 1973 à 30,6 % en 1978).

La page du C.N.R.S.

Bourses de Docteur-ingénieur

Les bourses de Docteur-ingénieur (B.D.I) ont pour but de contribuer, par la recherche, à la formation d'ingénieurs destinés à faire carrière dans l'industrie. Ces bourses sont réservées aux élèves des écoles d'ingénieur agréées, qui doivent en outre pouvoir justifier d'une bonne scolarité.

Les laboratoires d'accueil dans lesquels les candidats peuvent être intégrés doivent, pour leur part, avoir des contacts avec le secteur industriel. Ils sont en outre tenus de proposer au boursier un sujet susceptible de lui donner une qualification supplémentaire dans le domaine choisi.

Dans le secteur chimie, la moitié des postes de B.D.I est attribuée à des laboratoires prioritaires dont la liste est donnée ci-après. L'autre moitié des postes reste disponible pour les laboratoires non affichés, présentant les critères énumérés ci-dessus, et qui peuvent proposer un candidat avec des chances non négligeables d'acceptation du dossier. La liste de ces formations non prioritaires peut être consultée auprès des Administrateurs Délégués du CNRS.

Laboratoires d'accueil prioritaires

Laboratoires propres et formations du C.N.R.S.

- Institut de Chimie des Substances Naturelles (Gif); M. Barton.
- Centre d'Études et de Recherches de Chimie Organique Appliquée (Thiais), M. Le Goffic.
- Service Central de Microanalyse (Villeurbanne); M. Lamotte.
- Centre de Biophysique Moléculaire (Orléans); M. Hélène.
- Centre de Recherches sur les Macromolécules Végétales (Grenoble); M. Gagnaire.
- Laboratoire des matériaux organiques (Villeurbanne); M. Guyot.
- Laboratoire des sciences du génie chimique (Nancy); M. Villermaux.
- Centre de Thermodynamique et de Microcalorimétrie (Marseille); M. Mathieu.
- Physique des liquides et électrochimie (Paris); M. Epelboin.

Formations associées au C.N.R.S.

- LA « Intermédiaires à courte durée de vie en synthèse organique » (Marseille); M. Bertrand.
- LA « Catalyse appliquée et cinétique hétérogène » (Villeurbanne); MM. Germain et Teichner.
- LA « Laboratoire de chimie de coordination organique » (Orsay); M. Kagan.
- LA « Physico-chimie des polymères (Paris) »; M. Monnerie.
- LA « Structures bidimensionnelles et stéréochimie des doublets » (Nantes); M. Rouxel.
- LA « Matériaux haute température et désordres structuraux » (Paris); M. Livage.
- LA « Laboratoire des réactions sélectives » (Paris); M. Julia.
- ERA « Laboratoire de cristallochimie et de chimie structurale » (Strasbourg); M. Weiss.
- ERA « Stéréochimie dynamique » (Paris); M. Levisalles.
- ERA « Laboratoire de chimie organique physique » (Strasbourg); M. Lehn.
- ERA « Laboratoire de chimie des organo éléments » (Paris); M. Normant.

Postes d'accueil

Un ou deux postes d'accueil seront vraisemblablement vacants dans le secteur chimie à la rentrée 1980.
Ce sont des postes CNRS, réservés à des enseignants titulaires de leur poste dans l'enseignement supérieur, qui désireraient, avec l'accord de leur université, se consacrer à temps plein à la recherche pendant une période de un à quatre ans.

Les candidatures doivent être envoyées d'urgence à la Direction scientifique chimie du CNRS, pour être examinées à la session de printemps du Comité national.

A.T.P. Stockage chimique de l'énergie

Un colloque final franco-suédois de l'A.T.P. s'est tenu à l'École Nationale Supérieure de Chimie et l'Institut du Radium à Paris, les lundi 16 et mardi 17 décembre. Ce colloque était consacré aux comptes rendus des contrats d'A.T.P. pour les participants français et des contrats de recherche annuels pour les participants suédois. Les communications se rapportaient à trois thèmes principaux, correspondants aux contributions de :

- la chimie du solide;
- l'électrochimie;
- la photochimie

à la résolution des problèmes liés au stockage de l'énergie.

Environ 20 participants, dont une vingtaine de suédois conduits par J. Grenthe, ont assisté à ces séances de communications. Ces dernières ont été suivies par une discussion générale pour évaluer les résultats obtenus dans les deux pays et dégager les collaborations présentes suscitées par cette A.T.P. mixte franco-suédoise.

Après avoir reconnu l'aspect positif de ce type d'échange, les comités scientifiques français et suédois ont abordé les moyens nécessaires au maintien de ces collaborations très fructueuses.

Fédération Française de Chimie

G.A.M.S.

Congrès de spectrométrie de masse fondamentale et appliquée

Ce congrès, organisé conjointement par le Groupement pour l'Avancement des Méthodes Spectroscopiques et physicochimiques d'analyse (G.A.M.S.) et l'université de Dijon, se tiendra, du 9 au 11 avril 1980, à la Faculté des Sciences-Mirande (Campus universitaire Montmuzard, Dijon).

Le programme scientifique comprendra :

- des conférences sur invitation portant sur des thèmes généraux, notamment une conférence plénière du Pr Evan C. Horning (Houston, USA) sur : *L'état actuel et perspective des méthodes de l'instrumentation en spectrométrie de masse dans le domaine biomédical*, ainsi qu'une conférence plénière du Pr Marjorie C. Horning (Houston, USA) sur : *Les récents progrès apportés par la spectrométrie de masse dans le domaine des métabolismes de substance à effets pharmacologiques,*

- des communications par affichage pouvant aborder tous les domaines de la spectrométrie de masse fondamentale ou appliquée,

- des tables rondes organisées sur des sujets définis à partir des thèmes mentionnés ci-dessous,

- des démonstrations ou des essais dans le domaine de l'analyse organique réalisés sur plusieurs types d'instruments,

- des exposés techniques présentés par les constructeurs qui seront donnés lors de la session de posters et de tables rondes spécialisées.

Les quatres thèmes sont :
1. *Instrumentation.*
2. *Spectrométrie de masse organique : mécanismes d'ionisation ; analyse par collision.*
3. *Spectrométrie de masse biochimique : analyse du métabolisme des médicaments et de leurs actions pharmacologiques.*
4. *Spectrométrie de masse minérale : les techniques d'analyse des surfaces.*

Exposition de matériel

Du matériel relatif à la spectrométrie de masse, à la chromatographie gazeuse et au couplage de ces deux méthodes sera exposé pendant le congrès.
Des démonstrations auront lieu l'après-midi.

Inscriptions

Les inscriptions sont individuelles et doivent être envoyées *avant le 15 février* au Secrétariat du Congrès de spectrométrie de masse, Laboratoire de spectrométrie de masse, Faculté des Sciences-Mirande, Université de Dijon, BP 138, 21004 Dijon Cedex. Tél. : (80) 66.64.13, postes 679 et 712. Les droits d'inscription sont de 350 à 250 F pour les membres du G.A.M.S. Ces droits incluent en particulier le recueil des résumés des conférences et des communications par affichage. Pour les étudiants de 3e cycle et de thèse les droits sont de 100 F.

Pour tous renseignements complémentaires s'adresser au G.A.M.S., 88 Bd Malesherbes, 75008 Paris. Tél. : (1) 563.93.04.

Journées d'étude sur la spectroscopie ESCA et Auger

Ces Journées auront lieu, les 12 et 13 mai 1980, à l'École Supérieure de Physique et de Chimie, 10, rue Vauquelin, Paris (5e).

Les questions traitées concerneront essentiellement les aspects de l'analyse quantitative des spectroscopies électroniques, du tracé des profils de concentration, des problèmes liés à l'abrasion ionique. Un accent particulier sera mis sur l'analyse des surfaces industrielles : métaux, aciers, catalyseurs, polymères...

Des conférences générales de mise au point seront données par les Dr. S. Hofmann (Max Planck, RFA), J. P. Langeron (C.N.R.S., Vitry), V. Leroy (CRM, Liège), M. Seah (Teddington, G.B).
Des communications (20 minutes) seront incluses dans le programme. Les auteurs sont invités à soumettre un résumé d'une page avant le 30 mars 1980. L'acceptation de la communication sera notifiée aux auteurs avant le 20 avril 1980.

Frais d'inscription

Le montant des frais d'inscription s'élève à 150 F. Ils sont gratuits pour les membres du G.A.M.S. Ces frais comprennent le fascicule des résumés remis à chaque participant à leur arrivée et le recueil des textes complets qui sera envoyé ultérieurement.

Le secrétariat des Journées sera assuré par Mme D. Sandino, G.A.M.S., 88 Boulevard Malesherbes, 75008 Paris. Tél. : 563.93.04.

Prix du GAMS 1980

Le GAMS décerne chaque année un prix, le Prix Bardet, du nom de son premier Président, destiné à récompenser un travail expérimental d'appareillage ou de méthode présentant un incontestable caractère novateur et ayant fait l'objet d'une publication en langue française. Le montant en sera, pour 1980, de 3 000 F.
Le travail doit s'inscrire dans le cadre des activités du GAMS, c'est-à-dire concourir au perfectionnement des méthodes spectroscopiques et physicochimiques d'analyse, notamment dans les domaines suivants (sans que cette énumération soit limitative) :

- Spectrométrie d'émission,
- Spectrométrie de flamme, d'absorption ou de fluorescence atomiques,
- Spectrométrie moléculaire (absorption IR, visible, effet Raman, RMN, ...),
- Fluorimétrie,
- Spectrométrie X (émission X, fluorescence X, diffraction X),
- Spectrométrie de masse,
- Spectrométrie photoélectronique (ESCA), spectroscopie Auger,
- Chromatographie,

Il peut s'agir d'un travail de thèse, ou d'une recherche effectuée dans des laboratoires universitaires, industriels ou d'administration, que ces laboratoires soient adhérents ou non au GAMS.
Les travaux publiés devront être adressés, en trois exemplaires, au Secrétariat du GAMS, 88 Boulevard Malesherbes, 75008 Paris, et postés au plus tard le 31 mai 1980 (le cachet de la Poste faisant foi). Joindre un curriculum vitae.

Société de Chimie Biologique

Congrès d'automne de la Société de Chimie Biologique sur les glycoconjugués (glycoprotéines et glycolipides)

Ce congrès se tiendra, du 22 au 24 septembre 1980, à l'Université des Sciences et Techniques de Lille I, (Laboratoire de chimie biologique) à Villeneuve d'Ascq.

Les deux thèmes suivants ont été retenus :
1. *Structure et métabolisme normal et pathologique des glycoconjugués,*
2. *Biologie moléculaire des glycoconjugués, (en particulier : glycoconjugés des biomembranes, lectines membranaires, récepteurs de nature glycoprotéinique et glycolipidique).*

Il comportera des conférences générales, des communications par affiches et des Tables rondes.

L'inscription est gratuite pour les membres de la Société de Chimie Biologique à jour de leur cotisation. Le droit d'inscription est de 200 F pour les participants extérieurs et de 100 F pour les non-membres de moins de 30 ans.
Les frais de séjour, incluant les repas et le logement (en résidence universitaire), seront de l'ordre de 200 F.

Les personnes intéressées par le Congrès sont invitées à s'inscrire, avant le 1er juin 1980, auprès du Secrétariat du Congrès à l'adresse suivante : USTL, Laboratoire de chimie biologique, Congrès d'Automne, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex. Tél. : (20) 91.92.22, poste 2455.

Les résumés des communications (une page dactylographiée) doivent parvenir à la même adresse, avant le 1er juin 1980. Ils mentionneront, dans l'ordre, la liste des auteurs, le titre de la communication et l'adresse du laboratoire.

Société Chimique de France

67 Réunions

Division Chimie organique : Journée parisienne du jeudi 13 mars 1980.

Division Enseignement de la chimie : Journées sur l'enseignement expérimental de la chimie, du 6 au 9 mai 1980, à Montpellier.

68 Communiqués

Prix de la S.C.F. 1980.
Instructions aux auteurs du BSCF et du JCR.
Prix de la Fondation Dina Surdin.

68 Nouveaux Membres

69 Fiche de demande d'adhésion

Réunions

Division Chimie organique

Journée parisienne du jeudi 13 mars 1980

La journée parisienne de la Division se tiendra dans l'amphithéâtre A de l'École Nationale Supérieur de Chimie, 11, Rue Pierre-et-Marie Curie, Paris (5e).
Les quatre conférences suivantes seront présentées :

- 9 h 30, D. Mansuy (E.N.S., 24 Rue Lhomond, Paris V) :
Importance des processus radicalaires dans les hydroxylations biologiques.

- 11 heures, B. Ganem (Dep. Chemistry, Baker Lab., Ithaca, New-York 14853, USA) :
Synthetic explorations along the shikimic acid pathway.

- 14 h 30, G. Teutsch (Centre de Recherche Roussel-Uclaf, BP 9, 93230 Romainville) :
Quelques réactions d'époxydes allyliques en série stéroïde.

- 16 heures, J.-J. Tufariello (Dep. Chemistry, State University of New-York at Buffalo, Acheson Hall Buffalo, New-York 14214) :
Nitrones in synthesis.

Division Enseignement de la chimie

Journées sur l'enseignement expérimental de la chimie

Ces journées, organisées par la S.C.F., correspondent aux journées annuelles de la Division Enseignement de la chimie. Elles se tiendront, les 7, 8 et 9 mai 1980, à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, à Montpellier.
Elles s'adressent aux enseignants du 1er cycle universitaire, et auront

pour objet un échange de vues à partir de la présentation effective d'expériences de travaux pratiques et d'expériences de cours.
Ces journées seront utilisées dans la préparation d'un ouvrage en langue française de l'U.N.E.S.C.O.

Pour tous renseignements écrire à Mme D. Cros, Laboratoire de chimie physique, U.S.T.L., Place Eugène Bataillon, 34060 Montpellier Cedex. Tél. : (67) 63.91.30, poste 251.

Communiqués

Prix de la S.C.F. 1980

Conformément au règlement en vigueur (voir *L'actualité chimique*, 1977, **1**, janvier, p. 64) les prix suivants seront décernés par la S.C.F. en 1980 :
- Prix Le Bel
- Prix Süe
- Cinq Prix de Division.

Les dossiers devront parvenir avant la mi-mars aux Présidents des Divisions :

Chimie analytique et chimie des solutions
M J.-C. Merlin, Chimie analytique I, 43, boulevard du 11-Novembre-1918, 69100 Villeurbanne.

Chimie de coordination :
M. R. Poilblanc, Laboratoire de chimie de coordination du C.N.R.S., B.P. 42.42, 31030 Toulouse Cedex.

Chimie du solide et métallurgie
M. Deschanvres, Université de Caen, 14032 Caen Cedex.

Chimie organique
M. P. Potier, Institut de Chimie des Substances Naturelles, 91190 Gif-sur-Yvette.

Enseignement de la chimie
M. R. Viovy, École Normale Supérieure, 92211 Saint-Cloud.

Instructions aux auteurs (B.S.C.F. et J.C.R.)

Les auteurs désirant présenter des articles au *Bulletin de la Société Chimique* ou à *Journal of Chemical Research* sont invités :
- à harmoniser la présentation de leur manuscrit avec des articles très récents, en s'attachant, en particulier, à tous les « détails » tels que présentation des références et des figures, rédaction de la partie expérimentale, etc ;
- à consulter les « Instructions aux auteurs » détaillées, publiées dans *L'actualité chimique* (Février 1978) ;
- au besoin, à demander au Rédacteur en chef de la Société Chimique l'envoi de ces instructions.

Le temps « perdu » à réaliser directement un manuscrit conforme aux exigences rédactionnelles sera largement rattrapé par la suite !

Prix de la Fondation Dina Surdin

Sous le patronage de la Division Chimie organique de la Société Chimique de France, la Fondation Dina Surdin offre un prix de 5 000 F à un jeune chercheur, auteur d'un mémoire original en chimie organique (thèse de 3e cycle par exemple).

Les candidats doivent faire parvenir un exemplaire de leur mémoire et un curriculum vitae, avant le 30 avril 1980, à M. Pierre Potier, Président de la Division Chimie organique, ICSN-CNRS, 91190 Gif-sur-Yvette.

Nouveaux Membres

Sont nommés Membres de la Société Chimique de France :

MM. Amouyal Edmond, chargé de recherche CNRS.
Archelas Alain, étudiant.
Bottreau Christian, ingénieur.
Britto Filho Pilo, étudiant.
Carboni Bertrand, ingénieur.
Compérat Michel, ingénieur de recherche.
Deloffre André.
Elfarissi Mohamel, étudiant.
Foulon Jean-Pierre, professeur.
Melle Guiborel Christine, étudiante.
MM. Guo Jianquan, étudiant.
Jezequel Serge G. chimiste.
Melle Jouannetaud Marie-Paule, étudiante.
MM. Kacim Salah, étudiant.
Loche Jean-Pierre.
Marfisi Claude, étudiant.
Meghezzi, Hacène, étudiant.
Monpert André, étudiant.
Morgant Georges, assistant.
Mulanba Tshilundu, étudiant.
Nait Achour Madjid, étudiant.
Ouali Mohand-Saïd, étudiant.
Ouertani Mohsen, étudiant.
Perrocheau Jacques, dr. 3e cycle.
Queiroz Monte F. José, étudiant.
Richaud Michel, ingénieur.
Rieu Jean-Pierre, ingénieur de recherche.
Tchang Seng-Yong, étudiant.
Vercauteren Joseph, chercheur au CNRS.
Wintenberger Michel, directeur scientifique.
Yeung Lam Ko Yat Cheng, étudiant.
Melle Zenati Nadia, étudiante.

SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE FRANCE

DEMANDE D'ADHÉSION

Reconnue d'utilité publique par décret du 27 novembre 1864

Je demande mon admission au titre de Membre de la Société Chimique de France.

*Nom et prénom : M., Mme, Mlle * (en capitales)* _____

_____

Adresse : _____

Titres ou profession : _____

A _____ *le* _____ *198* _____

Signature du demandeur :

Je désire adhérer :

* *à la Division Chimie analytique et chimie des solutions.*
* *à la Division Chimie de coordination.*
* *à la Division Chimie du solide et métallurgie.*
* *à la Division Chimie organique.*
* *à la Division Enseignement de la chimie.*

* Rayez la mention inutile.

Cette demande d'adhésion doit être envoyée au Secrétariat de la S.C.F., 250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris, accompagnée du règlement correspondant aux options choisies.

M _____

Adresse _____

Désire s'inscrire à la Section régionale de :

Bordeaux-Pau	☐	Marseille-Nice	☐	Ouest (Rennes-Nantes-Angers-Brest)	☐
Caen-Le Mans	☐	Montpellier	☐	Poitiers-Limoges-Tours	☐
Clermont-Ferrand	☐	Mulhouse	☐	Reims	☐
Dijon-Besançon	☐	Nancy	☐	Rouen	☐
Grenoble	☐	Nord	☐	Strasbourg	☐
Lyon	☐	Orléans	☐	Toulouse	☐

A – PERSONNES PHYSIQUES (*)

– Cotisation simple		F 70 ☐	(**)
– Cotisation et abonnement préférentiel à *L'actualité chimique*		F 220 ☐	
– Cotisation complémentaire pour les couples		F 25 ☐	
– Abonnement préférentiel au B.S.C.F. (réservé aux Membres de la Société)			
Série A (partie Chimie physique, minérale et analytique)		F 100 ☐	à ajouter au montant de la cotisation
Série B (partie Chimie moléculaire)		F 100 ☐	
Série C (ensemble des deux parties A et B)		F 200 ☐	
– Abonnement préférentiel au J.C.R. (Réservé aux Membres de la Société)			
Partie S (abrégés)		F 165 ☐	à ajouter au montant de la cotisation
Partie S (abrégés) et Partie Mf (microfiches)		F 450 ☐	
Partie S (abrégés) et Partie Mp (mini-impression)		F 450 ☐	
Carnet(s) de 10 coupons	F 160 ×	F ☐	

B – PERSONNES MORALES (Sociétés, Laboratoires, Centres de documentation)

– Cotisation			
– Abonnement à *L'actualité chimique*			
– Abonnement au *Bulletin de la S.C.F.* (Série C)			
	France	F 700 ☐	
	Étranger	F 1 000 ☐	
– Abonnement au *Journal of Chemical Research*			
Partie S et Mf ou Partie S et Mp		F 950 ☐	
– Carnet(s) de 10 coupons	F 160 ×	F ☐	
Cette souscription au J.C.R. permet, en outre, de prendre un (des) abonnement(s) supplémentaire(s) aux diverses parties de cette revue dans les conditions suivantes :			
– Partie S	F 165 ×	= F ☐	
– Partie Mf	F 165 ×	= F ☐	
– Partie Mp	F 165 ×	= F ☐	

SUPPLÉMENT POUR LES MEMBRES RÉSIDANT A L'ÉTRANGER
(frais d'envoi des périodiques) F 70 ☐

TOTAL A VERSER F

VERSEMENT

– par chèque bancaire joint à l'ordre de la Société Chimique de France ☐

– par chèque ou virement postal, pour le compte 280-28W PARIS ☐

(*) Mettre une croix au niveau de chaque option choisie.
(**) Pour les étudiants préparant une thèse de 3e cycle ou de Docteur-ingénieur : cotisation et abonnement à *L'actualité chimique* gratuits.
Pour les étudiants préparant un doctorat d'État : cotisation demi-tarif (35 F) ou cotisation + abonnement préférentiel à *L'actualité chimique* à demi-tarif (110 F). Dans les deux cas, fournir annuellement une attestation de l'Université.

Société de Chimie Industrielle

71 Assemblée générale de la S.C.I.

72 ISCRE 6, 6e Symposium international sur le génie de la réaction chimique, 25-27 mars 1980, Nice.

72 XIIe Conférence internationale des Arts Chimiques, appel aux communications, 8-12 décembre 1980, Paris.

73 In memoriam : Georges Fleury.

73 Fédération Européenne du Génie Chimique :
2e Congrès mondial du génie chimique, 4-9 octobre 1981, Montréal.

73 Fédération Européenne de la Corrosion :
Journée d'étude sur l'électrochimie et ses applications pratiques dans l'industrie des peintures, Lyon, 5 mars 1980.
Colloque sur les relations entre les états de surface et la corrosion, 23-25 avril 1980, Compiègne.
5e Symposium européen sur les inhibiteurs de corrosion, 15-19 septembre 1980, Ferrare.

74 Sommaire de la revue Analusis.

Assemblée générale de la S.C.I.

L'Assemblée générale de la Société de Chimie Industrielle se tiendra, le 23 avril prochain, à 18 heures, à la Maison de la Chimie à Paris. Maison de la Chimie, 28, rue Saint-Dominique, 75007 Paris.

- Recueil des conférences (vol. 1 : sections 1, 2 et 3; vol. 2 : sections 4 et 5):

5e Conférence européenne des plastiques et des caoutchoucs,
12-15 juin 1978, Paris.
Prix de chaque volume : 150 F.

- Recueil des communications:

Colloque « Apport de l'informatique à l'analyse industrielle pour le contrôle et la conduite des procédés,
18-19 septembre 1979, Villeurbanne.
Prix du recueil : 200 F.

- Recueil des communications :

Journées sur la technologie des lits fluidisés et dispersés, applications industrielles,

22-23 octobre 1979, Compiègne.
Prix du recueil : 250 F.

S'adresser à la Société de Chimie Industrielle,
28, rue Saint-Dominique,
75007 Paris.

Tél. : 555.69.46.

ISCRE 6

6e Symposium international sur le génie de la réaction chimique

25-27 mars 1980, Nice

Le 6e Symposium sur le génie de la réaction chimique se tiendra à Nice, du 25 au 27 mars 1980. Il fait suite aux symposiums de Washington, Amsterdam, Evanston, Heidelberg et Houston.

Ce 6e Symposium, ou ISCRE 6, est organisé par la Société de Chimie Industrielle sous le patronage de la Fédération Européenne du Génie Chimique (221e manifestation), de l'ACS (American Chemical Society), de l'AIChE (American Institute of Chemical Engineering) et de la CSChE (Canadian Society of Chemical Engineering). Il se tiendra à l'Hôtel Négresco, sur la Promenade des Anglais, à Nice, et au Centre Universitaire Méditerranéen, situé à 500 mètres de l'Hôtel Négresco.

Programme scientifique

Les conférences plénières se tiendront, le matin, à l'Auditorium du Centre Universitaire Méditerranéen :

- Conférence d'ouverture : *The coming of age of chemical reaction engineering.*
par O. Levenspiel, Oregon State University, U.S.A.
- *Current problems in the modeling of chemical reactors,*
par D. Thoenes, University of Technology, Eindhoven, Pays-Bas.
- *Biochemical reaction engineering and biochemical reactors,*
par J. Bailey, University of Houston, U.S.A.
- *Chemical reaction engineering and research and development of gas-solid systems,*
par D. Kunii, University of Tokyo, Japon.
- *Mass transfer and chemical reaction in multiphase reactors,*
par H. Van Landeghem, Institut Français du Pétrole, France.
- *Kinetics instabilities in man-trade and natural reactors,*
par L. M. Pismen, Technion, Israël.
- *Electrochemical reaction engineering,*
par R. F. W. Jansson, University of Southampton, Angleterre.
- *Possibilities and state of development of nuclear gasification processes,*
par K. Kugeler, Gesamthochschule, Duisburg, R.F.A.
- *Energetics and economics of chemical reactors,*
par P. Le Goff, Laboratoire des sciences du génie chimique, Nancy, France.

Les sessions de l'après-midi, réservées aux communications, se dérouleront à l'Hôtel Négresco. Les thèmes suivants ont été retenus par le Comité scientifique (le programme complet des communications est paru dans le numéro de décembre de *L'Actualité chimique*, p. 78 ; on peut également se le procurer auprès du secrétariat de la Société de Chimie Industrielle) :

- *Cinétique et catalyse.*
- *Modèles de réacteurs. Études de conception.*
- *Génie biochimique du réacteur.*
- *Applications industrielles. Traitement des déchets. Combustion. Gazéification.*
- *Transfert de masse et réaction. Mélangeage.*
- *Dynamique, stabilité et contrôle des réacteurs chimiques.*
- *Génie électrochimique des réacteurs. Métallurgie. Utilisation des nouvelles formes d'énergie.*

Sont également prévus des visites techniques (Grasse, avec la participation du Syndicat National Français des Producteurs d'Aromatiques, et les laboratoires et centres de recherches de Sophia-Antipolis), et un programme touristique.

Renseignements et inscriptions

Les droits d'inscription, comprenant les proceedings (communications et conférences plénières) ainsi que la participation aux manifestations officielles s'élèvent à 1 200 F (pour les auteurs de communications : 800 F, pour les étudiants : 150 F, sans droit au recueil).
Secrétariat du Symposium : Société de Chimie Industrielle, 28, rue Saint-Dominique, 75007 Paris. Tél. : 555.69.46.
Les réservations pour le logement, les visites techniques et touristiques, ont été confiées à l'agence Allied Travel France, 1, Promenade des Anglais, 06000 Nice.

XIIe Conférence internationale des Arts Chimiques

Appel aux communications

Du 8 au 13 décembre 1980 se tiendront dans un même lieu, au Parc des expositions de la Porte de Versailles de Paris, trois salons intéressant les industries chimiques :

- Interchimie, l'exposition internationale des procédés et matériels du génie chimique,
- le Salon international du laboratoire,
- la 4e Semaine internationale de l'environnement (3e Salon international Pollutec, 6e Salon international Internet'expo, 3e Assises internationales de l'environnement).

A cette occasion la Société de Chimie Industrielle organise la XIIe Conférence internationale des Arts Chimiques qui se déroulera à Paris, à la Porte de Versailles, du 8 au 12 décembre 1980.

La dernière manifestation des Arts Chimiques, qui a eu lieu les 6-9 décembre 1977, a eu pour thème général : Le génie chimique et le traitement des déchets. En 1980, la XIIe Conférence, comportera :

1) Un colloque d'une journée ou deux sur le séchage, patronné par le Groupe de travail « Séchage » de la Fédération Européenne du Génie Chimique.

2) Deux journées où l'on traitera « Le génie chimique et le stockage de l'énergie » (stockages chimique, électrochimique, par l'hydrogène et ses dérivés, par chaleur latente et sensible, conditions de développement pour les procédés industriels).

3) La journée habituelle consacrée aux aciers spéciaux dans le génie chimique, organisée conjointement par la S.C.I. et la Chambre Syndicale des Aciers Fins et Spéciaux.

4) Deux journées internationales, consacrées pour la première fois en France au génie biologique.

5) Une série d'exposés présentés par le Centre de Perfectionnement du Génie Chimique de Nancy pour célébrer le 20e anniversaire de sa fondation, le 12 décembre.

Les personnes désirant présenter une communication aux journées consacrées au génie chimique et au stockage de l'énergie doivent faire parvenir un résumé du sujet choisi au secrétariat de la Société de Chimie Industrielle, avant le 20 avril 1980 (sur un formulaire à demander au secrétariat de la S.C.I.). Acceptation des communications le 30 mai. Le texte de la communication devra être envoyé avant le 31 octobre.

Pour tous renseignements s'adresser au secrétariat de la Société de Chimie Industrielle, 28, rue Saint-Dominique, 75007 Paris. Tél. : 555.69.46.

In memoriam

Georges Fleury

En ouvrant la séance du Conseil d'administration du 10 janvier dernier, le Président Denivelle a rappelé le décès, en juillet dernier, de l'Ingénieur général Georges Fleury, Président d'honneur de la Société de Chimie Industrielle, ancien Directeur des Poudres, ancien Président Directeur général de la Société d'Études de Propulsion par Réaction (S.E.P.R.), de France-Atome, SOCABU,...

Il a souligné les services rendus par M. Fleury comme Président de la Société de Chimie Industrielle de 1964 à 1970. Le Conseil, unanime, s'est associé à l'hommage rendu à son ancien Président.

Fédération Européenne du Génie Chimique

2e Congrès mondial du génie chimique

4-9 octobre 1981, Montréal

Le 2e Congrès mondial du génie chimique, « Le génie chimique au service du développement mondial », aura lieu à Montréal du 4 au 9 octobre 1981. Il coïncidera avec le IXe Congrès interaméricain du génie chimique. Le 1er Congrès mondial s'est tenu à Amsterdam, en 1976, et était organisé par l'Institution royale des ingénieurs néerlandais (KIVI) et la Société chimique royale néerlandaise (KNCV). Le Congrès de Montréal favorisera de façon unique le dialogue entre ingénieurs chimistes venus de tous les coins du monde.

La Confédération Interaméricaine du Génie Chimique a chargé la Société Canadienne du Génie Chimique de l'organisation de ce congrès, qui sera placé sous le patronage de la Confédération Interaméricaine du Génie Chimique, de la Fédération Européenne du Génie Chimique et l'Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering, avec qui collaboreront des sociétés de génie chimique indépendantes de ces associations centrales.

Les séances plénières et les communications porteront sur un vaste éventail de sujets, dont :

- l'évolution récente des principes de base du génie chimique,
- le développement des ressources : énergie et matières premières,
- les nouveaux procédés et produits de l'industrie de transformation,
- les procédés chimiques en présence de conditions extrêmes,
- l'écologie et l'environnement,
- les facteurs économiques et internationaux,
- l'organisation et la gestion,
- la formation.

En outre, le programme prévoit des rencontres d'informations, des cours de formation professionnelle et continue, des visites techniques et touristiques.

Le Salon mondial de la chimie industrielle se tiendra en même temps que le congrès, les 6, 7 et 8 octobre. Plus de 500 exposants y participeront et présenteront les derniers produits, équipements, procédés, instruments et services utilisés dans les secteurs suivants : chimie industrielle, pétrochimie, énergie et autres branches connexes. Quelque 50 pays seront représentés. Les droits d'entrée au Salon sont inclus dans les frais d'inscription au Congrès.

Renseignements : Société de Chimie Industrielle, 28, rue Saint-Dominique, 75007 Paris. Tél. : 555.69.46 et Société Canadienne du Génie Chimique, 151, rue Slater, bureau 906, Ottawa, Ontario, Canada K1P 5H3.

Fédération Européenne de la Corrrosion

Journée d'études sur l'électrochimie et ses applications pratiques dans l'industrie des peintures

5 mars 1980, Lyon

Les progrès récents dans des domaines fondamentaux, tels que l'électrochimie ont permis de concevoir des méthodes d'essais pour apprécier les qualités et performances des diverses techniques de protection contre la corrosion.
La commercialisation de ces méthodes, leurs conditions d'emploi et l'usage qui en est fait dans certains secteurs, comme par exemple celui des peintures, a incité le Centre Français de la Corrosion (Cefracor) et le Centre d'Étude et de Recherches des Industries de Peintures, Encres et Couleurs fines (CERIPEC) à envisager une Journée d'études afin de provoquer une prise de contact entre experts et utilisateurs de ces techniques et appareils.

Au programme provisoire :

Introduction générale, par M. J. Montuelle.
Présentation des méthodes électrochimiques :
Méthodes par mesure d'impédance, par M. Keddam.
Méthodes par mesure de résistance de polarisation, par M. Vu Quang Kinh.
Application aux revêtements filmogènes :
Détermination de la porosité des revêtements filmogènes, par M. Laout (CERIPEC).
Table ronde.

Renseignements : Cefracor, 28, rue Saint-Dominique, 75007 Paris. Tél. : 750.10.73.

Colloque sur les relations entre les états de surface et la corrosion.

23-25 avril 1980, Compiègne.

L'Association des Ingénieurs en Anticorrosion (A.I.A.C.) et le Centre Français de la Corrosion (Cefracor) organisent un colloque à l'Université de Technologie de Compiègne, les 23-25 avril 1980, sur les relations entre les états de surface et la corrosion. Cette manifestation est la 104e de la Fédération Européenne de la Corrosion.

Programme

Mercredi 23 avril
Définition et caractérisation des différents états de surface, par G. Béranger.
Les méthodes optiques et la caractérisation des états de surface. Application aux phénomènes de corrosion, par M. Froment.
Apport des techniques modernes d'analyse des surfaces à l'étude des phénomènes de corrosion, par J. C. Charbonnier.
Structure des couches passives sur acier inoxydable par ESCA, par H. Fischmeister (Autriche) et I. Olefjord (Suède).
Les possibilités offertes par la spectroscopie Auger dans la caractérisation des films de corrosion, par J. P. Langeron.
Analyse des couches passives des aciers inoxydables, par G. Blanc, B. Baroux et Ph. Maitrepierre.
Étude de la composition des couches passives formées en milieu $MgCl_2$ à 153 °C sur les aciers inoxydables, par A. Desestret, R. Oltra et J. C. Colson.
Caractérisation de la surface des alliages légers, par C. Vargel.

Jeudi 24 avril
Le traitement de passivation de la tôle galvanisée, par J. P. Servais, V. Polard et V. Leroy (Belgique).
Le vieillissement du film de passivation du fer blanc, par G. Pennera.
Caractérisation des états de surface du titane, par D. David et G. Béranger.
Corrosion sous contrainte en relation avec les états de surface, par R. N. Parkins (Royaume-Uni).
Influence du frottement et de l'érosion superficielle sur la corrosion humide, par J. Galland.
Préparation des surfaces par décapage et fragilisation par l'hydrogène, par M. Aucouturier.
Influence de l'écrouissage superficiel des aciers inoxydables austénitique sur résistance à différents types de corrosion, par M. Ph. Berge.
Influence du grenaillage de précontrainte sur la résistance à la corrosion sous contrainte, par A. Niku-Lari.
Présentation par le Professeur S. L. Leach du film de la Fédération Européenne de la Corrosion : États de surface et Corrosion.

Vendredi 25 avril
Évolutions des impératifs des états de surface dans le domaine de la protection par peintures, par M. Joly.
Préparation des fonds dans l'industrie automobile; solutions industrielles à la Régie Renault, par J. Marchon.
Avenir des peintures en milieu aqueux pour l'anti-corrosion, par Y. Ballet.
Table ronde débat.
Après-midi : visite du Centre de Recherches de l'Université de Technologie de Compiègne.

Parallèlement au colloque, la Fédération Européenne de la corrosion réunira le groupe de travail « Influence de l'état de surface sur la corrosion » présidé par Monsieur le Professeur J. Oudar, jeudi 24 avril à 9 h.

Des communications par affiches sont également prévues; les personnes souhaitant participer à cette séance doivent adresser leur proposition avant le 1er mars.

Une exposition de matériels sera organisée dans l'enceinte du colloque.

Renseignements : Secrétariat du colloque, Université de Technologie de Compiègne, B.P. 233, 60206 Compiègne Cedex. Tél. : 420.99.77 (Frais d'inscription : 800 F, avec déjeuners et dîner-spectacle).

5e Symposium européen sur les inhibiteurs de corrosion

15-19 septembre 1980, Ferrare (Italie)

Le 5e Symposium sur les Inhibiteurs de corrosion est organisé à Ferrare, les 15-19 septembre 1980, par le Centre d'étude de la corrosion A. Daccò de l'Université de Ferrare, avec la participation du Groupe de travail Inhibiteurs de la Fédération Européenne de la Corrosion. Cette manifestation est la 107e de la Fédération.

Les thèmes spécifiques du symposium sont les suivants :
- les nouveaux aspects fondamentaux de l'inhibition ;
- l'inhibition en solutions aqueuses (avec référence à l'échange de chaleur, aux conditions hydrodynamiques, à la corrosion localisée, aux méthodes d'essais) ;
- l'inhibition de la corrosion atmosphérique ;
- l'inhibition dans l'industrie pétrolière et pétrochimique.

Renseignements : 5 SEIC, Corrosion Study Center A. Daccò, University of Ferrara, via L. Borsari, 46, I-44100 Ferrara.

Sommaire de la revue Analusis

Vol. 7, n° 11, décembre 1979

Couplage microthermogravimétrie-spectrométrie de masse, par B. Courtault.
L'auteur décrit un couplage microthermogravimétrie-spectrométrie de masse quadripolaire répondant au double problème d'identification et de dosage des gaz émis par l'échantillon.

Dispositif de détection de gaz sélectif au dioxyde de soufre et au dioxyde d'azote, par R. Lalauze, J. Meunier, J.-M. Reymond, M. Soustelle.
Le détecteur utilise les propriétés semi-conductrices de certains oxydes métalliques dont la conductivité électrique varie en présence de gaz chimisorbés à leur surface.

Étude et mise au point de deux types d'électrodes spécifiques à élément sensible polycristallin pour la détermination des ions thallium (I), par J.-J. Fombon, Y. Oddon, J. Tacussel, A. Tranquard.
Les deux électrodes sont basées respectivement sur les mélanges pastillés Tl_2S/matrice conductrice et Tl_4HgI_6/matrice conductrice.

Étude critique de méthodes de détermination potentiométrique en milieux aqueux et hydroalcooliques des constantes d'acidité de certains benzamides substitués, par M. Van Damme, M. Hanocq, L. Molle.
Les deux techniques, appliquées à certains benzamides substitués, démontrent qu'en milieu aqueux le manque de sensibilité conduit à des résultats peu précis, tandis qu'en milieux hydroalcooliques ceux-ci s'avèrent inexacts.

Chromatographe en phase gazeuse conçu pour l'utilisation de colonnes capillaires en verre, par B. Brander.
Un système capillaire verre universel est décrit. L'injection peut être manuelle ou automatique.

Sur une absorptiométrie et une fluorimétrie des acides dihydroxy-2,3 carboxyliques-1, par J. Bartos, M. Pesez.

Demandes et offres diverses

Donne : Bulletin de la S.C.F., années 1957, 1959, 1964 à 1972 en fascicules brochés. Écrire Soc. Chim. n° 266.

« Importante Société Internationale recherche pour son laboratoire de synthèse organique fine un scientifique expérimenté de haut niveau. Écrire à Soc. Chim. n° 267.

Étudiant ouest-allemand, diplômé Université de Munich (Diplomchemiker), actuellement au Dep. de chimie de McGill University (Montreal) jusqu'en juin 1980 (Ph. D. de grec), recherche situation en France. Écrire S.C.F. n° 268.

J. F. 23 ans, ing. chimiste ESCOM, anglais et allemand courants, actuellement ing. documentaliste, cherche emploi (ind. chimique ou pharm.). Paris ou région parisienne. Écrire à : Mireille Watier, 73 bis rue du Colonel Fabien 95100 Argenteuil. Tél. : 961-35-79.

Chromatographe en phase gazeuse : cherche occasion en parfait état de marche, de préférence équipé d'un détecteur à ionisation de flamme. Écrire : Mac Leod/E.P.H.E., CENFAR, PB 6, 92260 Fontenay-aux-Roses.

Offre : Bull. Soc. Chim. 1965 et 1966 reliés. Journal Chim. phys. 1965 et 1966 reliés. S'adresser Dr. Charcosset. Tél. : (78) 84.34.71.

A céder : Bulletin de la Sté de Chimie Biologique, années 1945 à 1975 inclus. Tél. : 577.28.38.

Table des annonceurs

J.C.R. . . . . Couv. II
COULTRONICS 4
TOUZART-MATIGNON 6
VARIAN 19
ANALYTICA 80 33
I.S.F. 34
VERLAG-CHEMIE 45-49
G.T.A. 53

Directeur de la publication : Fernand Gallais, Président de la S.C.F.
Imprimerie Durand, 28600 Luisant, France (1980). Tél. : (37) 21-14-87.
Commission Paritaire : 53953.
Dépôt légal 1976 : 2599.