

Science et technologie pour l'industrie chimique

Document* de l'Union des Industries Chimiques**

Science and technology for chemical industry

The Innovation-Research Commission of the French Union of Chemical Industries has worked on the adequation between the needs and the scientific surroundings of these industries.

This work has led to a publication, one part of which is an introducing paper, the other part being made of four documents in which are developed the subject described in the introducing paper.

The last one may be found below. It underlines the key research fields for industrial developments, and makes some suggestions to public research laboratories.

Relations, recherche, industrie.

Basic research, chemical industry

L'aptitude de l'industrie chimique à assurer son développement et à garantir son indépendance est conditionnée par le maintien de capacités scientifiques et techniques au meilleur niveau. Plus que beaucoup d'autres secteurs industriels, la chimie est en prise directe avec la recherche fondamentale : la

mise au point de ses produits et de ses procédés nécessite fréquemment l'exploration de zones encore laissées dans l'ombre par la science, la formation de ses chercheurs, identique à celle des scientifiques opérant dans la recherche publique, favorisant les échanges.

L'industrie chimique est ainsi particulièrement soucieuse de la qualité de l'environnement scientifique que lui assurent la recherche publique et les organismes de formation. La commission "Innovation-Recherche" de l'UIC s'est donc interrogée sur l'adéquation entre les besoins industriels et cet environnement scientifique.

Le présent document résulte de ce travail de réflexion. Il dresse un inventaire des domaines scientifiques et techniques qui concernent l'industrie chimique, en identifiant ceux qui sont les points clés du développement. Il propose des adaptations pour mieux prendre en compte ces besoins et favoriser les retombées pratiques des acquis scientifiques de nos laboratoires publics. Le document exprime, également, des recommandations au sujet des formations de chercheurs industriels dans

certaines disciplines.

La position discrète de l'industrie chimique, en amont des autres industries, ne lui permet pas d'avoir l'image que devraient lui conférer son importance économique et son rôle moteur dans le développement des autres activités industrielles. Sa nature d'industrie de haute technologie, en France, lui est souvent contestée, alors que sa recherche, souvent proche du niveau fondamental, conditionne toutes ses activités.

Nous avons pris soin, dans la première et la deuxième partie, d'éclairer le lecteur sur l'insertion de l'industrie chimique dans l'économie française et sur l'importance de son effort de recherche qui est un des tout premiers.

Les défis que l'industrie chimique doit relever pour rester compétitive et progresser ne sont pas non plus toujours clairement perçus. Nous y consacrons la troisième partie.

Les grandes lignes des appuis scientifiques nécessaires au développement de l'industrie chimique sont traités dans la quatrième partie, certains thèmes faisant l'objet d'un approfondissement dans des documents annexes.

Des propositions d'ordre général, concernant la recherche publique, sont avancées dans la cinquième partie.

* Ce document a été élaboré à l'initiative et sous la direction de la commission "Innovation-Recherche" de l'Union des Industries Chimiques, dont la composition est la suivante : M. Avenas, président (Elf Atochem), Mme Baumeige (Rhône-Poulenc SA), M. Blanc J.-H., ex-président (Elf Atochem), M. Brancq (Seppic), M. Brocart (SNPE), M. Buendia (Roussel-Uclaf), M. Cau (SNPE), M. Castro (Sanofi Chimie), M. Chalvidan (BP Chemicals), M. Jarry (Orsan), M. Job (Pechiney), M. Lauilhe (DRT), M. Mangin (BP Chemicals), M. Mattioda (Hoechst France), M. Milleliri (BP Chemical), M. Minoux (Mission scientifique et technique), M. Parenteau (UIC), M. Potin (UIC), M. Schapira (CFPI), M. Sicard (Roquette Frères), M. Strini (Rhône-Poulenc SA), M. Wiedemann (SNPE).

** Union des Industries Chimiques, 14, rue de la République, 92909 Paris-La-Défense.
Tél. : (1) 46.53.11.00. Fax : (1) 46.53.11.04.

Quatre thèmes font l'objet d'un document annexe particulier :

- Catalyse.
- Formulation.
- Génie des procédés.
- Interface chimie-biotechnologies.

Chacun d'eux représente le travail de réflexion d'un groupe de spécialistes industriels, assistés de scientifiques de la recherche publique qui ont témoigné de la potentialité des connaissances dans leur domaine et que nous tenons à remercier pour leur collaboration. Une meilleure valorisation de ces acquis scientifiques a été le souci essentiel des groupes de travail.

Trois thèmes n'ont pas été traités par un groupe de travail spécialisé, il s'agit de "analytique", "synthèse organique ou minérale" et "polymères". Ils sont abordés, sous forme de résumés, dans la quatrième partie de ce document. Ce n'est pas, bien entendu, une marque de moindre intérêt de la part de notre industrie, l'analytique étant un outil essentiel, la synthèse étant le cœur de son activité et les polymères générant un chiffre d'affaires considérable et en rapide croissance.

Pour l'analytique, les questions essentielles sont plus faciles à cerner. "Synthèse organique et minérale" et "polymères" sont en partie traités, respectivement, dans "catalyse" et "interface chimie-biotechnologies" et dans "catalyse" et "génie des procédés".

L'Union des Industries Chimiques espère que ce document pourra contribuer à une perception plus exacte de l'industrie chimique et à une meilleure adéquation du gisement de connaissances que représente la recherche publique, avec les besoins de cette industrie.

I - La position de la chimie dans l'économie

1. Le premier des secteurs où l'Europe conserve encore une position dominante (figure 1)

2. L'industrie chimique française en 1994

Une des toutes premières industries chimiques du monde

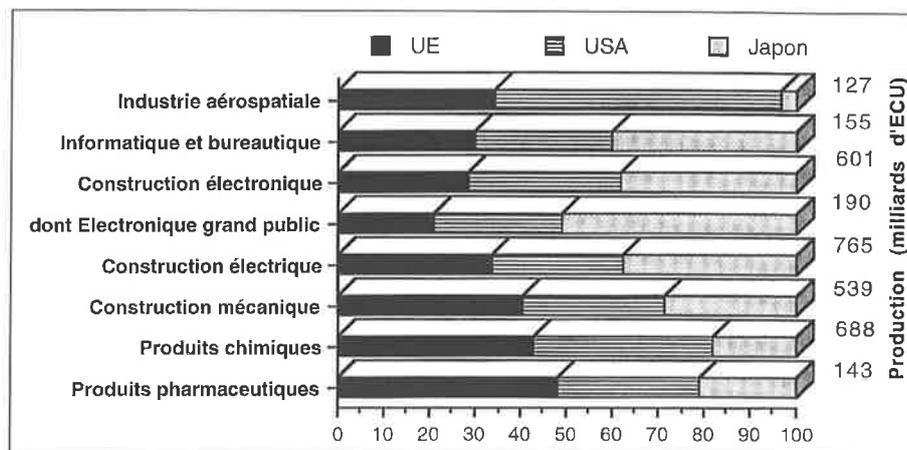


Figure 1 - Parts de marchés à l'exportation, des hautes technologies, entre Union Européenne, États-Unis, Japon montrant la position encore privilégiée de la chimie (année 1992). Source : Eurostat/Panorama 94.

Au quatrième rang après celle des États-Unis, du Japon et de l'Allemagne.

Avec 43 % de ses ventes réalisées hors du territoire national, elle place la France au troisième rang des pays exportateurs, après l'Allemagne et les États-Unis.

Un rôle capital dans l'économie française

Deuxième secteur industriel par l'importance de son chiffre d'affaires, l'industrie chimique (données 1993) :

- emploie 9 % de la main d'œuvre travaillant dans toute l'industrie,
- représente 15 % de la valeur ajoutée de l'industrie nationale,
- effectue 18 % de l'ensemble des investissements industriels,
- effectue 17,9 % de l'ensemble des recherches de l'industrie française (1992).

Une contribution déterminante au développement des autres secteurs de l'économie

En amont, l'industrie chimique est liée aux secteurs fournisseurs de matières premières, notamment les produits pétroliers, le gaz naturel, l'électricité, les produits agricoles etc., aux autres industries et aux services.

En 1993, la chimie a ainsi acheté (taxes comprises et en milliards de francs) pour (source : Insee/UIC) :

Produits énergétiques	26,6
Équipements, fournitures, construction	83,9
Produits agricoles	11,5
Transport	15,1
Produits divers	30,4
Services divers	51,3

En aval, ses produits contribuent à l'activité de l'ensemble des secteurs industriels et interviennent dans les

domaines aussi divers que l'alimentation, l'habitat, la santé, l'hygiène, les transports, la culture, les sports, les loisirs, la communication et bien d'autres encore.

En 1993, les ventes (hors taxes et hors marges) de produits chimiques en France, fabriqués sur le territoire ou importés, se sont réparties entre :

- la consommation des ménages : 106 milliards de francs,
 - l'agriculture, les industries, les services : 146 milliards de francs dont (source : Comptes de la Nation, 1993) :
- | | |
|--|------|
| Agriculture, industries agro-alimentaires..... | 32,2 |
| Automobile..... | 5,4 |
| Bâtiment, génie civil..... | 7,6 |
| Construction électrique et électronique..... | 3,1 |
| Métallurgie, construction mécanique..... | 10,3 |
| Textile, habillement..... | 5,3 |
| Transformation des matières plastiques..... | 27,7 |
| Autres industries..... | 16,9 |
| Services..... | 37,7 |

Taux de croissance

Depuis 1980, la production de l'industrie chimique se développe à un rythme

L'industrie chimique française en 1994

Chimie de base, parachimie, pharmacie (source UIC) :

- 1200 entreprises de plus de 20 salariés
- 255 000 salariés
- 404 milliards de francs de chiffre d'affaires

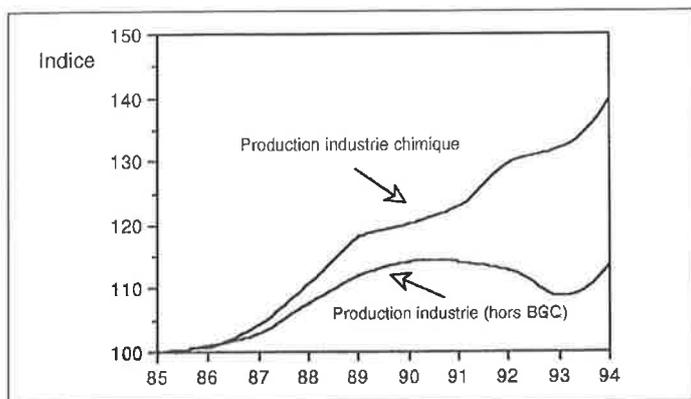


Figure 2 - Croissance de la production de l'industrie chimique et de l'ensemble de l'industrie, en volume, de 1985 à 1994, en France (base 100 en 1985). Source : UIC/Insee.

Années	France	Allemagne (11 landers)	Grande-Bretagne	Italie	Europe Ouest	États-Unis	Japon
1986	100,6	99,3	101,7	101,8	110,5	103,5	103,2
1987	104,3	101,8	110,0	105,7	104,4	109,4	111,1
1988	110,8	107,6	116,0	112,5	110,7	115,9	120,4
1989	118,2	109,3	121,8	114,6	115,1	119,6	128,7
1990	120,1	112,2	120,9	116,7	116,9	122,2	134,4
1991	122,9	114,7	124,0	114,0	118,0	121,6	137,4
1992	129,8	115,9	126,6	116,3	121,0	125,4	140,0
1993	131,7	113,4	129,9	113,4	120,7	130,2	136,8
1994	139,9	120,7	137,9	117,3	128,9	135,5	142,9

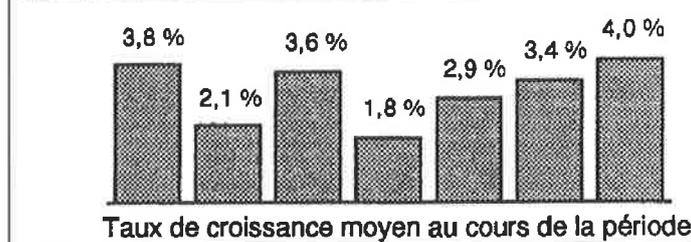


Figure 3 - Évolution comparée de la production en volume de l'industrie chimique dans les principaux pays industrialisés, de 1985 à 1994 (base 100 en 1985). Source : Cefic.

Tableau I - Dépense de recherche fondamentale (source : MESR, 1992).

	Dépense intérieure de R & D (millions de francs)		Dépense intérieure de recherche fondamentale (%) (millions de francs)	
	(MF)	(% budget total R&D)	(MF)	(% budget total R&D)
Industrie aéronautique & spatiale	17 973	1,4	252	1,4
Instruments de précision	12 335	3,5	432	3,5
Industrie automobile	11 567	0,4	46	0,4
Équipements radio, télé & com	10 436	3,9	407	3,9
Industrie pharmaceutique*	10 019	13,4	1342	13,4
Industrie chimique*	7 335	8,5	623	8,5
Caoutchouc et plastiques	2 134	7,7	164	7,7

* selon la nouvelle nomenclature en vigueur depuis 1992, la fabrication des principes actifs a été transférée de la chimie à la pharmacie

Tableau II - Dépense de recherche sous-contrat (source MESR, 1992).

	Dépense extérieure (MF)		Financement direct de l'État (MF)	
	(MF)	(% budget total R&D)	(MF)	(% budget total R&D)
Ind. aérospatiale	8 020	30,8	10 010	38,5
Instr. précision	1 480	10,7	4 309	31,2
Ind. automobile	1 700	12,8	126	0,9
Eqts radio, télé, com.	1 848	15	1 941	15,8
Ind. pharm.	3 979	28,4	92	0,7
Ind. chimique	1 970	21	495	5,3

sensiblement supérieur à celui de l'ensemble de la production industrielle nationale (figure 2).

Le taux de croissance moyen annuel de la chimie française, après s'être longtemps situé dans la moyenne des taux de croissance des chimies de l'Europe de l'Ouest, est maintenant supérieur (figure 3).

Emploi

La baisse des effectifs de la chimie a été sensiblement moins importante (- 6,2 %) que celle de l'ensemble de l'industrie manufacturière (-19 %) entre 1985 et 1994.

Les effectifs de l'industrie chimiques

(source Insee) sont :

	1985	1994
Chimie	272 340	255 500
Ensemble de l'industrie	3 493 000	2 824 230

II - La chimie, un des secteurs dont la dépense en R&D est parmi les plus élevées

En 1992, date des données les plus récentes disponibles, avec 17 354 millions de francs, la dépense intérieure de recherche et développement en chimie et pharmacie représente 16,4 % de celle de l'ensemble des industries. Elle se situe au deuxième rang derrière les dépenses de R & D de l'industrie aérospatiale.

La dépense de recherche fondamentale, menée en interne, est de loin la plus importante de celle de toutes les autres industries (tableau I).

La recherche sous contrat, financée par l'industrie chimique, est l'une des plus élevée, la pharmacie se situant au deuxième rang et la chimie au troisième.

Par contre le financement de l'État reste à un niveau modéré qui ne représente, pour l'ensemble chimie et pharmacie, que 2,9 % des aides à la recherche industrielle (tableau II).

• Un effort de recherche maintenu pendant la crise

Alors que les investissements productifs ont été freinés pendant la crise, il n'en a pas été de même pour les investissements de recherche dont les résultats sont le plus souvent à moyen terme. Le graphique ci-joint (figure 4) montre l'évolution jusqu'en 92, date des statistiques les plus récentes. D'après les responsables de recherche, cette tendance s'est maintenue en 93 et 94.

L'industrie chimique est tenue de maintenir un tel niveau de dépenses. La recherche est non seulement le moteur de son développement, mais également la garantie de sa survie sur le sol national.

Actuellement, la demande de produits chimiques en Asie reste supérieure à l'offre. Dans un futur proche, les projets en cours seront mis en service et l'Asie, qui est une zone de grande

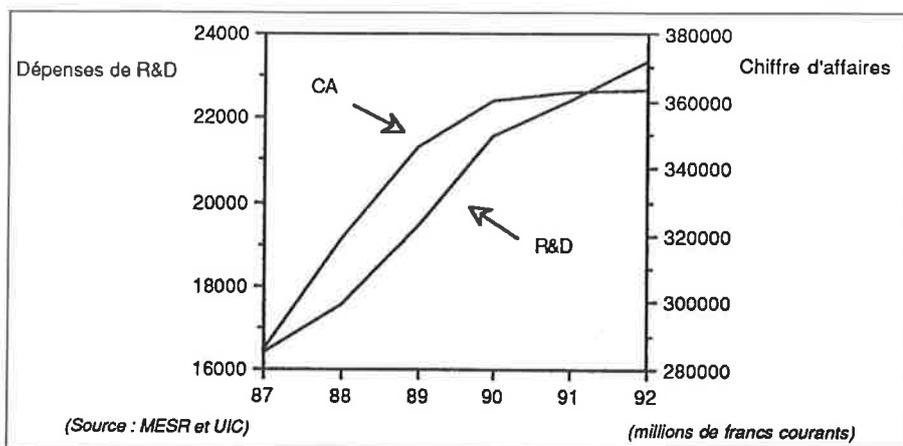


Figure 4 - L'évolution des dépenses de R & D par rapport au chiffre d'affaires entre 1987 et 1992 (source : MESR/UIC).

exportation pour les chimistes européens, sera elle-même exportatrice et viendra les concurrencer sur leurs propres marchés, avec des prix plus bas. L'industrie chimique doit donc jouer à fond la carte de l'innovation pour faire face à cette montée en puissance.

Entre pays développés, la compétition technologique est très forte et susceptible de conduire à des situations de maîtrise de marchés, à l'intérieur comme à l'extérieur. Des prises de contrôle récentes d'actifs français par des groupes étrangers montrent l'érosion de notre compétitivité dans certains domaines comme la catalyse ou les biotechnologies.

Les besoins de la société évoluent, de même que les exigences internationales en matière d'environnement. Pour y faire face, la recherche doit assurer l'adaptation permanente de l'outil industriel et commercial.

La recherche doit être, pour l'industrie chimique, un instrument essentiel de sa stratégie.

III - Les défis que l'industrie chimique doit relever

Avant de passer en revue les défis particuliers que l'industrie chimique doit relever, nous devons nous arrêter sur le défi global qui se pose à elle, celui du maintien de son niveau scientifique et technique.

Si l'on retient le critère de la balance commerciale, notre industrie a, manifestement, renforcé ses positions par rapport à la plupart des pays concurrents.

Par contre, si l'on regarde la situation et l'évolution de notre balance des

échanges techniques (brevets et licences de brevets, marques, dessins et modèles, savoir-faire et logiciels, frais d'étude, assistance technique) qui représente, en quelque sorte, la compétitivité de notre potentiel de création et, à terme, la compétitivité et l'indépendance de notre industrie, on ne peut que s'interroger.

Il y a, bien entendu, une certaine incertitude dans les chiffres communiqués par les entreprises, la part de ces échanges n'étant pas toujours facile à cerner. Les résultats varient de façon erratique et dépendent de la politique la plus généralement adoptée par les entreprises du pays : si celle-ci correspond plutôt à une diffusion restreinte de technologie, ce sera au détriment du solde des échanges.

Il n'en reste pas moins que les niveaux médiocres vis-à-vis de tous les pays industrialisés (hormis Italie et Japon) et l'orientation à la baisse, observée entre 1985 et 1993, ne peuvent pas être expliqués, seulement, par un manque de fiabilité des données ou par un changement de la politique des entreprises (tableau III et figure 5).

Tableau III - Taux de couverture (%) des échanges techniques avec les principaux pays industriels, en 1993 (chimie de base, parachimie, pharmacie) (source : INPI).

Allemagne	43,4
Belgique	38
États-Unis	37,7
Italie	4580
Japon	128,1
Pays Bas	17,2
Royaume Uni	25,9
Suisse	93,2

1. Une adaptation croissante des produits aux besoins

Des industries clientes

L'industrie chimique a développé ses recherches d'application pour faire face aux besoins de plus en plus précis et diversifiés des industries clientes, mais au détriment de la mise au point de molécules nouvelles.

La coopération plus fréquente et plus étroite avec ces industries est une source de progrès technologique mutuel.

Du client final

L'industrie doit résoudre le problème de la diversification et de la précision de la demande, tout en maîtrisant le prix du produit. La réponse apportée conduit à assurer l'adaptation du produit aux besoins, par le jeu de la formulation, à partir de matières de base de plus en plus standardisées.

Ceci a une conséquence fondamentale sur l'évolution de la recherche industrielle qui glisse de la recherche de création de nouvelles molécules vers la conception de nouveaux produits par le jeu de la formulation, des alliages ou des mélanges.

Aussi bien vis-à-vis de la clientèle industrielle que grand public, il se dégage une notion nouvelle et essentielle qui est

Tableau IV - Réduction des émissions dans l'air et dans l'eau avant 1990 (sources : Ministère de l'Environnement, CITEPA, UIC).

	Réduction toutes origines (%)	Réduction d'origine chimie (%)	Responsabilité actuelle de la chimie (%)
dans l'air (de 1980 à 1990)			
Dioxyde de soufre	64	68	8
Oxydes d'azote	10	49	3
Poussières	35	44	3
dans l'eau (de 1976 à 1990)			
Matières en suspension	39	47	22
Demande chimique en oxygène	41	59	14
Rejets toxiques	59	59	51

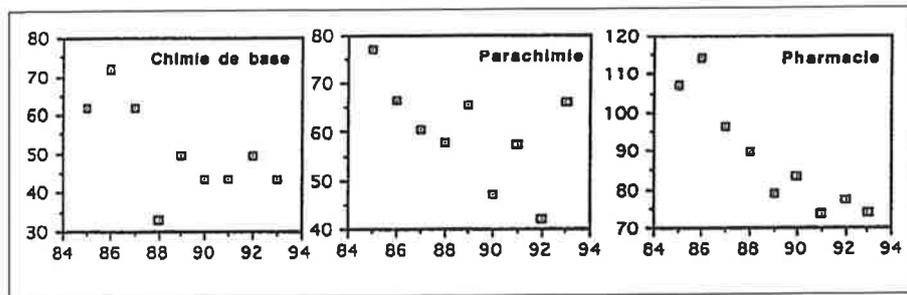


Figure 5 - Évolution du taux de couverture (%) des échanges techniques de la France (1985-1993). Source : INPI.

celle de la valeur d'usage, ce que l'on peut définir comme étant le surcoût accepté pour une fonction nouvelle ou une amélioration apportée par un produit.

2. Des procédés de plus en plus performants pour résister à des contraintes économiques toujours plus fortes

Les économies d'échelle

Les économies d'échelle sont un moyen essentiel pour la chimie lourde et pour une part de la chimie fine. Mais, dans bien des cas, ce moyen atteint sa limite :

- problèmes de sécurité posés par les installations de grande taille,
- procédé plus difficile à maîtriser et nécessitant une automatisation souvent trop complexe,
- répercussion économique, parfois jusqu'au niveau mondial, d'un incident de fonctionnement sur une très grosse unité.

La flexibilité des installations

C'est une voie qui peut être retenue dans certains cas, en chimie fine, pour minimiser les coûts d'investissement. Elle est surtout applicable en chimie de spécialités.

Influence des technologies

Le génie des procédés incluant la cinétique chimique, la catalyse et les moyens de mise en œuvre a un rôle primordial, non seulement dans l'amélioration de la productivité, mais également dans la qualité des produits, en minimisant les sous-produits. En ce sens, qualité et moindre impact des productions sur l'environnement sont liés.

3. Des réponses aux questions de sécurité et d'environnement qui conditionnent son avenir

C'est pour l'industrie chimique une question d'éthique et la condition de l'ac-

ceptation de son activité par la population. En 1990, les entreprises chimiques ont signé une charte - *l'engagement de progrès* - par laquelle elles s'engagent à conduire leurs activités de production et distribution avec le souci permanent d'améliorer la sécurité, la protection de la santé et de l'environnement. Elles s'engagent à y associer non seulement leur personnel, mais également leurs sous-traitants et leurs clients.

Cet engagement se traduit par des investissements lourds qui, par exemple en 1991, ont représenté 1,5 milliard de francs, soit 6,5 % de ses investissements, contre 2,8 % pour l'ensemble des industries françaises.

Les résultats des efforts accomplis antérieurement à cet engagement sont illustrés par le *tableau IV*.

Une obligation de sécurité

L'obligation à laquelle l'industriel doit répondre, ne s'arrête pas à la sécurité des installations de production. Elle concerne toutes les étapes de la vie du produit, ce qui englobe également, les stockages, le transport, l'utilisation, la destruction, ainsi que les effets toxicologiques et environnementaux de ce produit éventuellement répandu dans la nature.

Une conception des procédés et des produits nécessitant la connaissance des risques toxicologiques vis-à-vis des individus et des écosystèmes

Pour porter les efforts là où ils sont réellement nécessaires, implique la connaissance des risques toxicologiques et des impacts envi-

ronnementaux. Il est évident que ces connaissances sont, actuellement, très insuffisantes.

En toxicologie, le plus souvent, elles ne vont pas au-delà de la détermination des doses létales et nous manquons d'informations sur les risques réels en fonction des doses, des durées et des fréquences d'exposition. Les connaissances en écotoxicologie, sont encore plus fragmentaires.

Ces manques de connaissances sont préjudiciables pour l'industriel qui ne dispose pas des données suffisantes pour décider où et comment porter son effort pour concevoir des procédés et des produits dont l'impact environnemental sera minimal.

Ces manques de connaissances sont préjudiciables à la qualité des décisions prises par les responsables politiques qui sont conduits à légiférer d'après des prises de positions émotionnelles et non pas en fonction de données scientifiques.

Moindre consommation d'énergies non renouvelables et de matières premières.

Pour des raisons économiques, depuis le milieu des années 70, l'industrie chimique recherche la meilleure efficacité énergétique (*figure 6*). Avec la baisse du coût du pétrole, depuis 1989, d'autres actions sont devenues prioritaires, mais l'économie d'énergie reste un objectif à long terme.

La réduction de ses consommations de matières premières, ce qui revient à améliorer rendements et sélectivités, a toujours été un objectif poursuivi par l'industrie chimique.

Dans l'état actuel des connaissances, l'extension de l'utilisation de matières

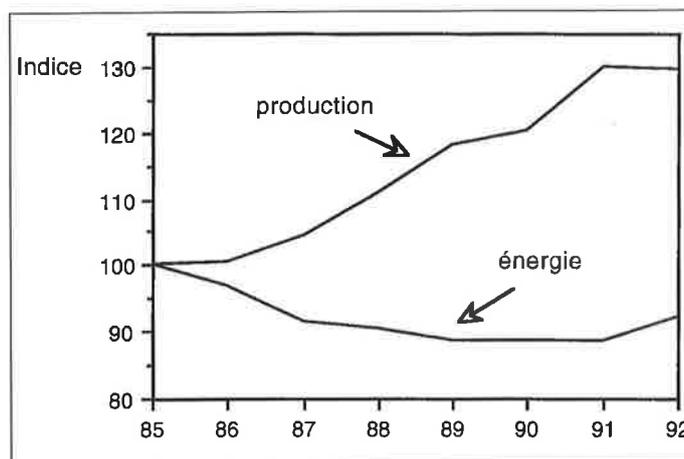


Figure 6 - Évolution du coût production et énergie (entre 1985 et 1992). Source : UIC.

premières renouvelables et d'énergies de substitution, n'est concevable qu'avec l'association de subventions. Mais, tout au moins pour certaines matières premières, les progrès dans l'adaptation des plantes et leur culture, peut faire évoluer la situation.

IV - Les domaines de recherche essentiels pour faire face à ces défis

Ce chapitre traite sept thèmes : analytique, synthèse organique et minérale, polymères, catalyse, formulation, génie des procédés, interface chimie-biotechnologie.

Les trois premiers n'ont pas fait l'objet d'un document séparé, les positions de la commission "Innovation-Recherche" sont consignées, dans ce chapitre, sous forme résumée.

Comme il est mentionné dans l'avant-propos, ce n'est pas une marque de moindre intérêt de la part de notre industrie, l'analytique étant un outil essentiel, la synthèse étant le cœur de son activité et les polymères générant un chiffre d'affaires considérable et en rapide croissance. Mais les questions principales sont plus faciles à cerner pour l'analytique et les thèmes synthèse et polymères sont, en partie, développés dans les autres thèmes.

Les quatre derniers thèmes ont été traités par un groupe de travail spécialisé et chacun a fait l'objet d'un document séparé. Le résumé et les idées forces dégagées par les groupes de travail sont consignés dans ce chapitre.

Nous avons regroupés, à la fin, les avis concernant deux questions communes à tous les thèmes : l'écotoxicologie, l'information.

1. Analytique

L'indispensable caractérisation et évaluation de nos produits repose sur des moyens analytiques performants. Les moyens analytiques classiques sont devenus d'un niveau de performance et de fiabilité remarquables, d'où, peut être, le relatif désintérêt de la recherche publique pour cette discipline.

Les besoins d'analyse en continu et *in situ*, dans des conditions particulières, devraient conduire à de nouveaux déve-

loppements de l'instrumentation, basés sur l'adaptation de moyens classiques aussi bien que de moyens alternatifs. Mais il s'agit là de problèmes que la recherche publique ne peut pas identifier seule et qui devraient faire l'objet de concertation avec les industriels.

De nombreux résultats, touchant aux problèmes d'environnement, pourraient être remis en question par une analyse approfondie des mécanismes mis en jeu, le problème étant d'identifier, dans l'environnement, les espèces chimiques sous leurs formes actives.

Le concept de chimie analytique doit donc être élargi et inclure aussi bien la conception de molécules utiles à l'analyse que le développement d'une nouvelle instrumentation et la mise en place de systèmes de simulation, afin d'étudier la dynamique moléculaire dans des conditions reproduisant les conditions naturelles.

On a constaté un affaiblissement de la recherche analytique, en France, peut-être lié à celui de l'industrie de l'instrumentation. Il convient de redynamiser ce secteur et on ne peut que se féliciter du soutien du département "Chimie" du CNRS à l'émergence de pôles de compétences tels qu'à Lille-Thiais, Lyon ou Bordeaux.

2. Synthèse organique et minérale

L'importance de la chimie de synthèse est évidente puisqu'elle se situe au cœur de l'activité de notre industrie. Ce domaine a pu être considéré par certains comme un ensemble achevé, peu susceptible de progrès.

Nous pensons qu'il n'en est rien et que, en particulier, les appuis de disciplines connexes, telles que la chimie théorique dont le potentiel est multiplié par l'informatique, la modélisation moléculaire, les biotechnologies qui peuvent atteindre des structures nouvelles et fournir de nouvelles molécules, la supramolécularité et la catalyse sous ses diverses formes, sont de nouveaux outils pour de nouveaux développements.

3. Polymères

Avant les années 30, la chimie macromoléculaire était un espace presque vierge. Mais l'enjeu économique et stratégique était tel que l'effort d'exploration qui a été entrepris et accentué par la

guerre de 39-45, a abouti à la découverte de l'essentiel des polymères actuellement connus dès le début des années 60.

La recherche en chimie macromoléculaire n'en est pas pour autant victime de son succès, bien que le pronostic de l'époque, selon lequel il n'y aurait plus de grands polymères nouveaux - il aurait été préférable de parler de monomères nouveaux - se soit, pour l'essentiel, vérifié.

Depuis cette époque pionnière et jusqu'à un terme qui reste lointain, les progrès représentant les enjeux majeurs pour l'industrie chimique sont et seront obtenus par des voies allant de la synthèse à l'application, à partir des éléments de base connus que sont les monomères. Essayons d'en dresser une liste.

- Organisation structurale des polymères, en particulier grâce à la catalyse.
- Assemblage de monomères différents par copolymérisations de natures variées.
- Connaissances des processus de polymérisation et polycondensation.
- Modifications chimiques des polymères.
- Alliages de polymères.
- Additifs et formulations permettant de pallier les défauts des polymères, d'en orienter la structure et même de créer une variété de matériaux à partir d'un polymère de base.

• Jeu de la transformation qui, non seulement crée des produits de plus en plus sophistiqués, mais permet également d'intervenir sur la morphologie et donc les propriétés des polymères.

L'application de tous ces apports scientifiques et techniques n'est possible qu'à la condition que soient associés la physique des polymères et le génie des procédés.

Cet ensemble de considérations concerne les polymères de grande diffusion et les polymères techniques qui, par leur volume de production et le chiffre d'affaires qu'ils génèrent, conditionnent l'existence d'une part majeure et sans cesse croissante de l'industrie chimique.

Parallèlement, se développe une chimie macromoléculaire répondant à des besoins particuliers et limités. Cette chimie donne naissance à des polymères nouveaux, souvent de nature chimique complexe, essentiels pour d'autres secteurs d'activité. C'est le cas, par exemple, des polymères pour l'électronique ou la chirurgie.

4. Catalyse

Pour l'industrie chimique, la catalyse est un moyen :

- d'accéder à de nouvelles structures,
- d'améliorer la productivité des installations, souvent au moindre coût,
- de diminuer les consommations de matières premières et d'énergie,
- de diminuer l'impact des procédés sur l'environnement, en minimisant les sous-produits ou en traitant gaz, fumées et rejets divers.

L'industrie chimique fournit également, à ses industries clientes, des moyens de résoudre des problèmes de dépollution. C'est le cas, par exemple, de l'automobile ou du traitement des eaux.

D'une façon générale, la catalyse est, par excellence, la voie privilégiée d'accès à une chimie propre et performante.

La recherche publique

Les études mécanistiques effectuées à l'échelle moléculaire et les études portant sur la réaction catalysée sont le point fort de la recherche française en catalyse.

Par contre, beaucoup de chemin reste à parcourir pour assurer le passage des études de réactivité à l'application. La communication ne passe pas entre la recherche fondamentale en catalyse et le génie du réacteur qui devrait se situer en aval : catalyse et génie chimique doivent être couplés, y compris, d'ailleurs, dans l'industrie.

Autre couplage indispensable : catalyse et chimie du solide.

Dans le domaine des polymères, les chercheurs en catalyse et les polyméristes gravitent dans deux mondes qui s'ignorent, alors qu'il devrait y avoir des relations intimes entre chimie de coordination, synthèse organométallique, modélisation moléculaire et polymérisation.

Enfin, la catalyse est bien un domaine où l'exploration de voies nouvelles et la prise de risque peuvent être payantes. Le statut de nos chercheurs publics s'y prête et devrait les aider à privilégier la conception de nouveaux catalyseurs, plutôt que l'explication du fonctionnement de catalyseurs existants.

Recherche publique et industrie

Il y a là un problème d'organisation de la recherche publique, mais, il faut bien l'avouer, également une frilosité de l'industrie française qui n'a pas toujours la vue stratégique et à long terme que le

sujet impose. Les nombreuses restructurations qui ont été nécessaires pour remettre notre industrie à niveau, avec la dispersion des équipes qui en a résulté, n'y est sans doute pas étrangère.

L'industrie a besoin de recréer des équipes centrales de catalyse et qu'entre ces équipes et les chercheurs publics s'établisse un échange dynamique et permanent, avec définition claire des objectifs et des rôles de chacun.

Il faudrait que les échanges de chercheurs, à titres permanent ou temporaire, deviennent beaucoup plus fréquents qu'il ne le sont actuellement, malgré l'adaptation du statut des chercheurs publics.

L'enseignement

La catalyse est l'un des points faibles de l'enseignement de la chimie en France. Elle n'est pas enseignée avec l'approche globale, réunissant tous les aspects - mécanismes, réactivité, modélisation, génie chimique, applications - seul moyen de donner aux étudiants, une connaissance complète, claire et stratégique de la question. On retrouve dans la formation, la dichotomie observée en recherche entre génie chimique et chimie. Ceux qui ont été formés par la recherche en catalyse sont très spécialisés, souvent essentiellement théoriciens, alors que l'industrie recherche des candidats plus expérimentaux, un peu plus généralistes, aptes à interpréter, à concevoir et à réaliser dans un large domaine.

L'expérimentation devrait avoir une meilleure place dans la formation. Dans

Catalyse : idées forces

- Il paraît souhaitable que l'industrie chimique s'implique dans le développement de la production de catalyseurs.
- La part de la recherche exploratoire doit être accrue : exploration de voies nouvelles et prise de risque sont payants.
- Catalyse, chimie du solide et génie chimique doivent être liés.
- Les progrès impliquent le lien entre chimie de coordination, synthèse organométallique, polymérisation et modélisation moléculaire.
- La catalyse de traitement des effluents (post-traitements) doit être affichée comme axe de recherche prioritaire par le CNRS
- La catalyse est l'un des points faibles de l'enseignement de la chimie en France..

ce domaine, les nouveaux supports didactiques seraient de puissants moyens de formation, en offrant la possibilité de visualiser des phénomènes complexes ou de simuler des expériences impossibles à reproduire en travaux pratiques.

5. Formulation

La formulation intervient pratiquement chaque fois que l'on utilise des produits chimiques. Elle concerne donc non seulement la branche de la chimie que l'on appelle la chimie de spécialités ou parachimie, mais également un grand nombre d'autres industries non chimiques.

Une activité proche du marché

Les produits doivent répondre à des demandes de plus en plus diversifiées, ce qui conduit à un développement important de la chimie de spécialités qui représente maintenant un chiffre d'affaires aussi important que celui de la chimie de base.

Les technologies d'élaboration sont, en chimie de spécialités, à la taille des entreprises modestes, autant d'opportunités pour les PMI pour assurer leur développement.

La pression du marché vers des produits de plus en plus diversifiés et performants et les progrès dans la connaissance des phénomènes qui la régissent, font que le contenu scientifique de la formulation s'accroît. L'appui de la recherche fondamentale est donc nécessaire pour soutenir l'évolution de cette activité.

Recherche publique et industrie

La formulation est un carrefour de sciences et de techniques. L'approche transversale des problèmes, favorable à la créativité dans toutes les disciplines, est la démarche normale de la recherche en formulation.

La recherche publique française est de très bon niveau dans tous les disciplines scientifiques qui sous-tendent les divers types de formulations. Mais la transposition des résultats de ces recherches par l'homme de l'art, dans son travail quotidien, n'est guère possible. Entre la démarche sectorielle qui est actuellement celle de la recherche publique et la recherche appliquée, il y a nécessité d'une recherche intermédiaire, assurée par des organisations pluridisciplinaires, opérant sur des modèles plus globaux et tenant compte de l'interactivité des phénomènes unitaires.

Formulation : idées forces

- L'industrie chimique évolue d'une chimie de produits vers une chimie de fonctions d'usage :
 - Le poids économique des activités de formulation est, maintenant, proche de la moitié de celui de l'ensemble des activités de l'industrie chimique.
 - La formulation est une activité :
 - . proche du marché,
 - . à l'échelle des PMI,
 - . répartie dans toutes les industries.
- La formulation est un carrefour de sciences et de techniques, il convient de l'aborder avec une démarche de plus en plus scientifique.
- L'approche transversale des problèmes, favorable à la créativité dans toutes les disciplines, est la démarche normale en formulation.
- La formulation doit être enseignée en tant que telle, son enseignement doit s'appuyer sur des bases scientifiques larges.

Mais cette activité de recherche est proche de l'application, ce qui est un frein à la publication des résultats qui, souvent, ne peuvent pas contribuer à la carrière des chercheurs publics. Il y a là un problème de fond qui rejoint le problème général de la non-prise en compte, pour les carrières, des efforts consacrés au transfert de technologie.

Le potentiel de créativité de ce domaine est sous-estimé et même inconnu de beaucoup de chercheurs qui pourraient l'exploiter. La seule façon d'en assurer la promotion est de reconnaître la formulation en tant que telle, au même titre que les sciences de base.

L'industrie doit jouer son rôle dans cette promotion, en aidant à fédérer les actions d'équipes de disciplines différentes, grâce à la proposition de projets ciblés, de recherche précompétitive, conduits au sein de groupements de recherche.

L'enseignement

L'importance accrue des approches scientifiques pour la préparation de produits formulés répondant toujours mieux aux besoins, impose aux ingénieurs qui se destinent à ce type d'activité, une connaissance élargie des divers domaines chimiques et physico-chimiques qui régissent la formulation et les applications. L'enseignement dispensé dans les écoles de chimie peut

constituer cette base scientifique, le complément étant assuré sous la forme d'une spécialité de 3e année ou d'un enseignement de troisième cycle.

6. Génie des procédés

Les conditions de l'activité de l'industrie chimique ont évolué et ont induit des orientations de fond, privilégiant :

- l'adaptation des produits par le jeu de la formulation, plutôt qu'une innovation portant sur la création de molécules nouvelles, et
- l'innovation de procédés pour diminuer les coûts, la consommation de matières premières et d'énergie, les effets sur l'environnement, tout en améliorant la sûreté.

L'industrie chimique, qui se développe dans la production de produits à haute valeur ajoutée, a besoin de procédés de formulation lui permettant de mieux maîtriser les propriétés de valeur d'usage. Le génie des milieux complexes est, par exemple, un domaine trop peu exploré.

Aujourd'hui, le marché exige que les produits et les procédés soient conçus pour satisfaire, sans défaillance et au moindre coût, les besoins du consommateur ultime. La traduction de ces besoins en termes techniques et le développement des procédés associés, est un axe d'action pour la recherche publique.

Dans le domaine des technologies industrielles, l'amélioration de technologies existantes et la création de nouvelles technologies doivent être menées de front, afin de répondre aux évolutions de l'industrie, mais, également, de restaurer une industrie d'équipements sinistrée, ce qui implique une association tripartite entre la recherche publique, l'industrie chimique et les PME actives dans ce type de production.

Le développement des bioindustries est, en partie, conditionné par les progrès de technologies spécifiques ; l'extrapolation des réactions, l'isolement et la purification des produits posent, en effet, des problèmes particuliers. La formation des ingénieurs qui se destinent à ce domaine, doit être plus spécifique.

Les systèmes de conduite avancée, mettant en jeu des capteurs originaux, de nouvelles architectures et systèmes informatiques, sont l'une des réponses

clés aux contraintes que les procédés doivent respecter.

Il n'est guère pensable que nous puissions combler notre retard dans le domaine des grands logiciels de calculs et de simulation, mais nous avons des atouts du meilleur niveau pour développer des niches, à la condition d'assurer la coordination nécessaire entre les spécialités.

L'information par l'intermédiaire de banques de données doit être développée, en particulier en matière de données de base et constantes physiques, nécessairement couplée avec un développement de la métrologie, trop négligée dans notre pays.

Les défis posés par la protection de l'environnement sont des opportunités de progrès technique et de promotion de nos produits qui vont bien au-delà du simple respect des réglementations.

Bien entendu celà passe, en amont, par la conception de procédés très sélectifs et peu consommateurs d'énergie. Mais en aval, il faut agir sur le contrôle et le traitement des émissions atmosphériques, le traitement des eaux et des effluents liquides, la rémédiation des sols pollués, le recyclage et la valorisation des déchets.

Génie des procédés : idées forces

- Développer un génie catalytique, incluant tous les aspects, y compris la conception du réacteur.
- Étendre le génie chimique :
 - à la formulation,
 - à la finition des produits sous les différentes formes physiques,
 - aux biotechnologies.
- Développer des méthodes de mesure de grandeurs physiques et établir des banques de données de références.
- Assurer une information sur les conséquences potentielles des percées scientifiques.

7. Interface chimie-biotechnologie

Les premiers résultats de recherche fondamentale, apparus au début des années 70, ont suscité de grandes espérances de développement qui n'ont pas été suivies de réalisations industrielles du même niveau et une certaine désillusion s'en est suivie. A l'époque, les progrès scientifiques à accomplir étaient trop importants.

Depuis le début des années 80, les connaissances ont beaucoup progressé et l'on sait maintenant où porter les efforts de recherche pour atteindre les objectifs qui permettront aux chimistes de trouver, dans les biotechnologies, les outils efficaces, souples et souvent irremplaçables qui leur sont nécessaires.

Dans le domaine des bioconversions, la biologie moléculaire va, par exemple, permettre la découverte plus rapide d'enzymes adaptées et d'en améliorer la sélectivité ou la résistance aux facteurs de dénaturation. Encore faudrait-il que les spécialistes collaborent avec leurs collègues opérant dans des spécialités plus proches de l'application.

Le développement de la biologie moléculaire ne doit pas exclure la microbiologie qui est incontournable et qui, il est toujours bon de le rappeler, assure le développement des industries biotechnologiques au Japon ou en Corée, par exemple.

La recherche publique est notoirement insuffisante dans ce domaine et il est temps de réhabiliter une microbiologie française, tombée en désuétude au profit de disciplines plus avant-gardistes. Ce n'est pas aux laboratoires publics que revient de faire du criblage, les laboratoires industriels sont mieux outillés pour ça. Par contre, il revient à la recherche publique d'assurer le maintien de la biodiversité, de faire progresser la connaissance en physiologie microbienne, en maîtrise de la dynamique des populations et de perfectionner les méthodes de criblage.

Le biomimétisme est un axe de recherche fondamentale en catalyse, dont les retombées commencent à apparaître et peuvent être très importantes. C'est, pour l'industriel, l'espoir d'associer l'efficacité de la biocatalyse avec la largeur du spectre d'activités de la catalyse chimique.

Il est difficile, pour l'instant, de prévoir l'émergence de biopolymères susceptibles de concurrencer les polymères traditionnels. Par contre, des applications spécifiques pourraient être trouvées, à la condition que l'on développe une recherche, actuellement inexistante, sur la fonctionnalité des biopolymères.

Les matières premières agricoles sont déjà des bases de production très diversifiées, l'amidonnerie en est un exemple. La sucrochimie et la lipochimie peuvent offrir d'autres opportunités. Mais l'adap-

Interface chimie - biotechnologie : idées forces

Actions de recherche

Bioconversion

– Élargissement du champ d'activité des enzymes.

– Identification et sélection des microorganismes.

– Mise en place du procédé.

Microbiologie

– Physiologie microbienne.

– Dynamique des populations.

– Accessibilité des produits par les microorganismes.

Catalyse biomimétique

– Étude des sites actifs.

– Création de modèles simplifiés.

– Études d'application des modèles déjà existants.

Agroressources

– Les plantes : nouvelles sources de production.

Propositions d'organisation des structures de recherche

– Focalisation des actions pluridisciplinaires sur des projets précis.

– Nécessité d'élargir les actions de recherche au niveau européen.

– Maintien de la biodiversité par le renforcement et la coordination des souchothèques existantes (point fort du Japon et première démarche des pays émergents).

tation des plantes par mutagénèse dirigée devrait multiplier les applications des agroressources.

La production industrielle est concernée par les biotechnologies, mais également tous les aspects environnementaux des procédés et des produits : le traitement des effluents aussi bien en chimie minérale qu'organique, la réhabilitation des sols, l'analyse des polluants ou l'écotoxicologie.

8. Écotoxicologie

Le fait de minimiser l'impact environnemental des procédés et des produits, traiter les eaux, réhabiliter les sols, recycler les déchets conduit à se

poser deux questions de base :

– Sur quoi porter l'effort en priorité, étant donné que l'on ne pourra jamais tout faire, simultanément ?

– Jusqu'à quel niveau porter cet effort, étant donné qu'il y a toujours un seuil au-dessous duquel parler de pollution n'a plus de signification ?

L'industrie chimique doit donc disposer de systèmes qui lui permettent de mesurer les effets environnementaux. Elle a entrepris un travail considérable d'évaluation des consommations d'énergie, des consommations de matières premières, des rejets divers. Ce travail aboutit à l'élaboration des écobilans, mais ces écobilans ne peuvent être des outils de décision que s'il sont complétés par les données écotoxicologiques.

L'absence de ces données scientifiques ne permet pas à l'industrie de savoir où et jusqu'où porter son effort. Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre précédent, cette absence laisse, également, la porte ouverte à toutes les dérives réglementaires, particulièrement dangereuses pour l'avenir de notre industrie.

L'objectif est d'évaluer la toxicologie dans les conditions des milieux naturels. Mais il faut, au préalable, disposer de l'outil analytique permettant la mesure des traces et l'identification de la nature chimique sous laquelle se trouvent ces traces, pour en apprécier la biodisponibilité.

Le champ est immense, l'acquisition des résultats forcément lente, les conséquences dépassent le cadre national. Un tel domaine de recherche relève de la coopération européenne.

Mais notre industrie ne peut pas attendre et doit avoir accès aux résultats déjà acquis et aux conclusions qui peuvent en être dégagées. Il est nécessaire qu'en ce qui concerne les produits les plus sensibles, le point des connaissances soit fait et qu'il en soit tiré les conséquences par des instances scientifiques indépendantes.

On recommande un développement de l'écotoxicologie et de son enseignement.

9. Information

Nous ne pouvons pas terminer ce chapitre sans aborder la question de l'information qui touche à tous les domaines scientifiques et techniques et pour laquelle notre pays accuse un retard certain.

L'industrie chimique n'a pas toujours une vision claire et à long terme de certaines évolutions technologiques capitales, par exemple la supraconductivité ou, plus près de nous, les progrès fabuleux des technologies informatiques et leurs retombées dans le domaine du contrôle des procédés, la chimie supramoléculaire et ses applications en catalyse ou autres domaines. Comment favoriser au mieux leur émergence et leur prise en compte avec, comme toujours, une meilleure association de l'industriel aux programmes de R & D lorsqu'ils ont dépassé, à tout le moins, le stade du laboratoire ?

Dans ces domaines de pointe, mais aussi dans les domaines traditionnels, l'informatisation généralisée de l'information interne et externe, avec la participation des laboratoires publics, est indispensable pour assurer la diffusion des connaissances et le croisement des compétences, ainsi qu'une veille technologique répondant aux besoins actuels, c'est-à-dire rapide, large et interdisciplinaire.

V - Relations avec la recherche publique

En chimie, l'activité industrielle met en jeu des processus qui associent des connaissances techniques et des connaissances scientifiques proches du niveau fondamental et, plus que beaucoup d'autres industries, le développement de l'industrie chimique est conditionné par l'appui que peut lui apporter la recherche publique.

La France a su développer une recherche fondamentale dont la qualité est reconnue dans la plupart des disciplines, mais l'aide que cette recherche peut apporter à l'industrie dépend de son organisation et de la qualité des échanges entre les mondes académique et industriel.

Les laboratoires des grandes entreprises et les laboratoires publics ont une longue expérience du travail en commun, cette collaboration étant facilitée par une similitude d'activité et de culture. On peut cependant s'interroger sur l'adaptation des moyens dont ils disposent pour cette coopération. Les thèses sont difficilement à la portée des PME et ne correspondent pas toujours aux sujets à traiter par les grandes entreprises, la consultance est freinée par les lourdeurs administratives ; quant aux

échanges avec les PME, ils sont freinés par le manque de moyens humains de ces entreprises pour intégrer les connaissances scientifiques et technologiques.

Si les relations ponctuelles sont malgré tout satisfaisantes, tout au moins pour les grandes entreprises, on ne peut pas dire que la concertation soit suffisante pour définir des objectifs plus larges.

Devant la complexité croissante des problèmes scientifiques ainsi que des besoins des entreprises, la dimension stratégique de certaines compétences devrait être mieux connue des acteurs publics et ceux-ci devraient mettre à profit cette connaissance pour infléchir effectivement leurs propres orientations de recherche.

Le comité de relations industrielles du CNRS (Crin) a été créé, en 1973, avec cet objectif, mais les clubs qui le composent ont rarement ce rôle d'orientation stratégique. Ce sont en réalité, le plus souvent, de simples lieux d'échange d'informations, utiles pour la connaissance de l'activité des partenaires sur les thèmes concernés, mais sans réelle influence sur les orientations des organismes publics.

Cette insuffisance de concertation n'est pas sans relation avec les faiblesses du système académique pour aborder l'aspect technologique de la recherche. Il s'agit là d'un problème culturel, spécifique à notre pays, alors qu'ailleurs, l'absence de frontière entre recherche fondamentale et technologique assure la transition naturelle entre la conceptualisation et l'application.

Ce manque d'articulation entre la recherche fondamentale et les activités industrielles rend difficiles les transferts de technologies, notamment vers les PME, et a conduit parfois au déclin de certains secteurs de l'industrie. C'est également l'une des causes de la valorisation insuffisante des compétences de nos scientifiques ; une autre étant, il est toujours bon de le rappeler, le coût des développements qui, partant de 1 au laboratoire, passe à 10 à l'échelle pilote et à 100 au niveau de l'unité de production !

L'industrie a besoin de s'appuyer sur un certain nombre de domaines qui relèvent d'une recherche finalisée et le plus souvent pluridisciplinaire, tels que la microbiologie, l'écotoxicologie, le génie des procédés et les nombreuses technologies se rapportant aux matériels de

production ou de transformation. Des activités industrielles comme la catalyse ou la formulation tireraient mieux parti des acquis scientifiques fondamentaux s'il existait une recherche de base, pluridisciplinaire, le contact entre diverses disciplines ouvrant de nouveaux champs d'investigation.

Les inconvénients de cette situation ne sont pas à sens unique et l'absence d'une culture technique, suffisante et reconnue comme acquis scientifique, ne permet pas aux chercheurs publics de faire remonter de l'activité industrielle toutes les idées nouvelles qui s'y trouvent en germe. Il est certain qu'une recherche publique trop orientée vers l'application finirait par se dessécher, mais une relation équilibrée entre recherche académique et appliquée serait, au contraire, une assurance de renouvellement des thèmes.

La situation actuelle peut évoluer par les échanges de chercheurs entre entreprises et laboratoires publics ainsi que par une concertation sur des questions stratégiques.

La cohabitation de chercheurs universitaires et industriels au sein de mêmes équipes serait le meilleur moyen de faire évoluer les idées dans les deux mondes. Malgré l'accord mutuel sur le principe, les expériences restent marginales et leur nombre, depuis quelques années, est même en décroissance. Des analyses pertinentes ont été faites sur ce sujet et nous rappellerons seulement qu'il s'agit, pour beaucoup, d'un problème de volonté des intéressés et de leur hiérarchie, dû à une prise en compte insuffisante de cette mobilité dans la gestion des carrières.

La situation peut également évoluer par le développement d'un dialogue à caractère et à niveau stratégiques, impliquant d'un côté des responsables de recherche industrielle assistés de collaborateurs spécialistes, de l'autre des directeurs d'unités de recherche et des directeurs scientifiques d'axes de recherche ou de départements.

Mais avant d'être en mesure de proposer un tel dialogue, l'industrie chimique se doit de dresser un inventaire de ses besoins en appuis scientifiques et technologiques. C'est l'objectif poursuivi par la commission "Innovation - Recherche" de l'UIC et qui est, en partie, concrétisé par les documents par thèmes, résumés dans le chapitre précédent.