J.-B. Donnet

Les moyens de la recherche en France

Riche d'un prestigieux passé, la recherche a constitué une véritable priorité en France depuis les années 1930 qui ont vu la naissance du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et elle a reçu un fort appui des pouvoirs publics, à l'exception de la période très difficile 1939-1945, après laquelle la recherche tant civile que militaire, tant publique que privée a connu un essor considérable.

La *figure 1* montre que le pourcentage du produit national brut (PNB) affecté à la recherche est actuellement compris entre 2,3 et 2,8 % pour cinq grands pays (USA (2,69 %), Japon (2,67 %), RFA (2,81 %), RU (2,36 %) et France (2,29 %), mais que la faiblesse de l'effort de défense au Japon (1 %) et en RFA (2 %) donne à ces deux pays, pour ce qui est de la recherche non militaire, un net avantage, les efforts français, britanniques et américains étant, en pourcentage, assez voisins avec cependant une nette ascension continue pour le Japon.

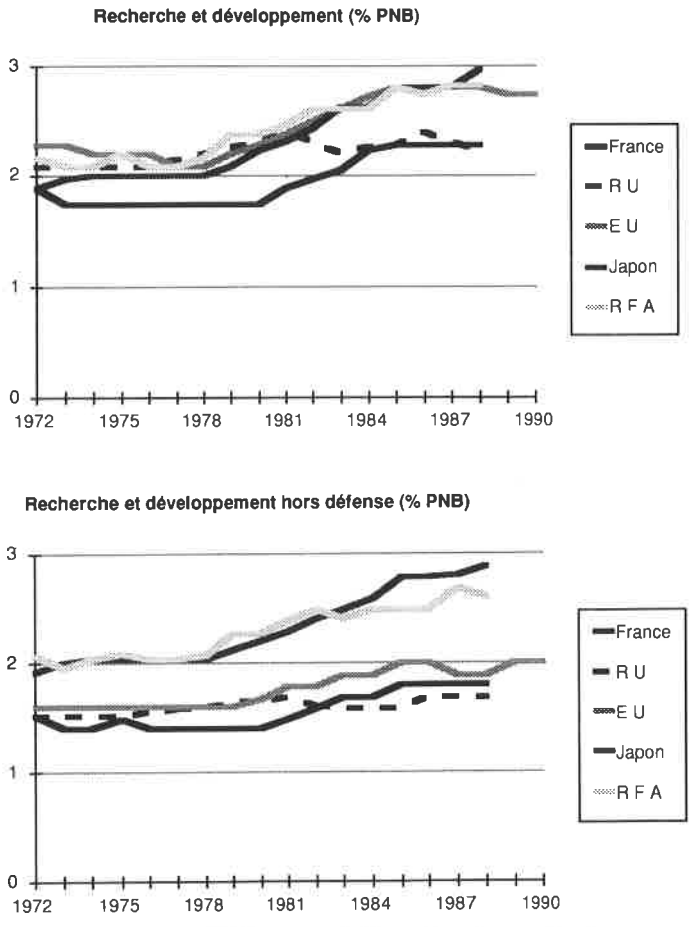

FIGURE 1. - *La part du PNB consacrée à la recherche et au développement est similaire aux États-Unis, au Japon et en RFA, mais hors défense, le Japon et la RFA sont en tête.*
(Source : National Science Foundation).

Par rapport à la population active, la France avec 4,14 chercheurs pour mille est au quatrième rang derrière le Japon (6,8 %), les USA (6,6 %) et la RFA (5,6 %). On comptait en France en 1985 environ 140 000 chercheurs, aux USA 806 000, on en dénombrait environ 150 000 en RFA et, approximativement, 100 000 en Grande-Bretagne (hors université), l'effectif Japonais étant de l'ordre de 410 000.

Les dépenses de recherche et développement des cinq principaux acteurs mondiaux sont données par le *tableau I*, la *figure 2* représentant le pourcentage de ces dépenses prises en charge par les gouvernements.

"La recherche est une priorité en France" comme le notait en 1985 un article de Lederman [1], qui soulignait que "même les plus sceptiques des observateurs remarquaient que des progrès réels avaient été faits et que la coopération avec d'autres pays, notamment au sein de la Communauté Européenne, avait été accrue", le même auteur soulignait "qu'une série de colloques nationaux et d'efforts de sensibilisation visaient à obtenir un consensus sur l'importance de la recherche et de la technologie pour le progrès économique et social".

En fait, ce consensus a été largement atteint et les changements politiques l'ont clairement montré, de plus l'effort de recherche français connaît depuis 1982 une composante régionale grâce aux efforts de financement des conseils régionaux [2] et à la régionalisation des grands organismes de recherche. Cet effort, bien que relativement faible par rapport au total des dépenses de recherche en France (moins de 1 %), joue un rôle incitatif certain.

Traditionnellement, la recherche en France est conduite par les grands organismes de recherche, les universités et les entreprises

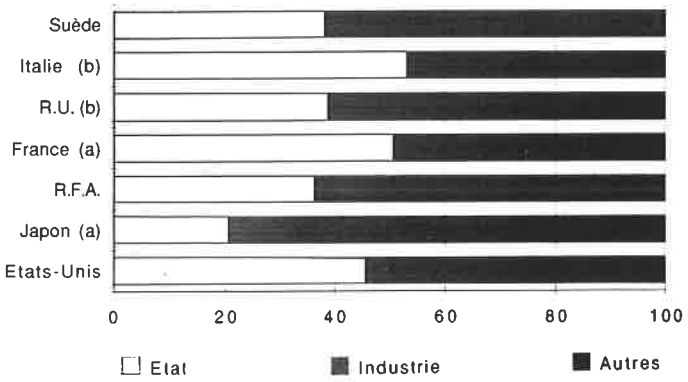

FIGURE 2. - *Recherche et développement : la participation de l'État est la plus importante en France et en Italie.*
(a) estimation, (b) données de 1987 (source : OCDE).

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

TABLEAU I. - *Recherche et développement. Les dépenses en recherche et développement du Japon augmentent plus vite que celle des États-Unis.*

Milliard $ (constant 1982)	1988	1987	1986	1985	1984	1983	1982	1981	1980	1979	1978	Variation annuelle %	
												1987-88	1978-88
Total R & D													
États-Unis	111.5	108.4	105.3	102.6	93.9	85.8	80.0	76.4	73.0	69.9	66.7	3	5
Japon	42.3	39.2	36.6	36.1	32.4	29.9	27.4	25.5	23.1	21.0	19.1	8	8
Allemagne de l'Ouest	19.4	19.4	18.6	18.5	16.9	16.4	16.3	15.9	15.3	15.0	13.3		4
France	14.6	14.0	13.6	13.1	12.6	11.9	11.5	10.8	9.8	9.4	8.9	4	5
Royaume-Uni	13.8	13.8	13.6	12.8	–	11.9	–	12.2	–	–	11.1		2
Hors défense R & D													
États-Unis	80.3	78.0	73.7	71.8	66.7	61.8	58.4	57.3	54.8	51.7	48.7	3	5
Japon	42.0	38.9	36.4	35.9	32.4	29.9	27.5	25.7	23.3	21.1	19.1	8	8
Allemagne de l'Ouest	19.1	18.5	17.4	17.1	16.2	15.3	15.8	15.2	14.5	14.2	12.5	3	4
France	11.3	11.0	10.7	10.5	9.9	9.4	9.1	8.1	7.6	7.4	7.2	3	5
Royaume-Uni	10.5	10.3	10.2	9.1	na	8.5	na	8.7	na	na	8.0	2	3

Source : National Science Foundation.

TABLEAU II. - *Les grands organismes de recherche en France*[1] *(liste non exhaustive).*

	Effectifs* 1990 (chercheurs + techniciens)	Budget[2] (millions de francs)
CNRS Centre National de la Recherche Scientifique	26 392	10 301
CEA[2] Commissariat à l'Energie Atomique	5 687*	6 284
INRA Institut National de Recherche Agronomique	8 295	2 453
INSERM Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale	4 575	1 790
CNET Centre National d'Etudes des Télécommunications	4 211	1 858
CNES Centre National d'Etudes Spatiales	1 945	8 083
ORSTOM Institut Français de Recherche Scientifique pour le développement en coopération	1 588	786
IFREMER Institut Français pour l'Exploitation de la Mer	1 116	862
CIRAD Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement	1 153	579
INRIA Institut National de la Recherche en Informatique et en Automatique	587	326
CEMAGREF Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural, des Eaux et Forêts	593	155

[1] *Source :* projet de loi de finances pour 1990 - rapport annexe sur l'état de la recherche et du développement technologique (BCRD : budget civil de la recherche et de la technologie).
* Effectif concernant les crédits relevant du budget civil de recherche et de développement (BCRD).
[2] Les budgets indiqués comprennent les dotations au titre du ministère de la Recherche et de la Technologie (MRT) et du budget civil de la recherche et de la technologie et sont extraits du projet de la loi des finances pour 1990 (Rapport annexe sur l'état de la recherche et du développement technologique).

industrielles, plus particulièrement les grandes entreprises, le *tableau II* donne une liste non exhaustive des grands organismes publics de recherche avec les effectifs (chercheurs et techniciens) et le budget 1990 correspondant pour ce qui est de la part prise en compte par le budget civil de l'Etat (BCRD).

L'activité scientifique traduite par les brevets et publications est régulièrement évaluée, la part des auteurs français dans la littérature chimique mondiale est de l'ordre de 5 %, la moitié environ étant publiée en français, l'autre moitié en anglais, l'indice d'impact de ces articles étant à un bon niveau, excellent pour les articles publiés en anglais [3] ; en ce qui concerne les brevets, le taux de couverture des redevances s'est beaucoup amélioré passant en 15 ans, de 1974 à 1988, de 38 à 51 %.

La recherche chimique en France

a) L'industrie chimique française

L'industrie chimique française a représenté un chiffre d'affaires de près de 350 milliards de francs en 1989, elle emploie près de 270 000 personnes et son effort de recherche, qui est illustré par le *tableau III*, s'élève à 27 % de la valeur ajoutée en pharmacie et 10 % en chimie ; rapportées au chiffre d'affaires, les dépenses de recherches représentaient 5,7 % en 1987, l'effectif total employé en recherche développement dans l'industrie chimique s'élevant à environ 25 000 personnes la même année dont 7 235 cadres (docteurs, ingénieurs, techniciens supérieurs-cadres).

L'effort de recherche de l'industrie chimique au cours des douze années 1976-1988 a été particulièrement intensif, la *figure 3* illustre cette évolution comparée à celle du PNB et de la production industrielle pour l'industrie chimique européenne en général, et les *figures 4 et 5* illustrent bien l'accentuation marquée de la chimie et de sa recherche en France où, tandis que, entre 76 et 88, la production augmentait de 30 %, les dépenses de recherches étaient plus que doublées.

Les domaines de recherche industrielle ont été ceux des procédés en général et du génie chimique, de la catalyse, de la synthèse chimique des monomères, des grands intermédiaires, des polymères, des molécules actives en biochimie, santé, phytosanitaire et agrochimie. Une recherche très active s'est développée également dans le domaine des applications. De

TABLEAU III. - *Département "Chimie" du CNRS. Effectifs et budgets par thèmes scientifiques.*

Thèmes	Nombre estimé	Effectifs CNRS	Budget hors personnel (MF-HT)	
Scientifiques	en 1989	Catégories de personnel	1989	Prévisions 1990
Total	4 902,1	Chercheurs	1 903	175,6
		ITA	1 515	-
		BDI : effectif total	216	-
		(coût CNRS en MF)	(14,6)	
1) Chimie physique	650,5	Chercheurs	314	29,9
		ITA	240	-
		BDI : effectif total	30	-
		(coût CNRS en MF)	(2,1)	-
2) Coordination et catalyse	814,2	Chercheurs	312	29,8
		ITA	248	-
		BDI : effectif total	37	-
		(coût CNRS en MF)	(2,6)	-
3) Electrochimie - Photochimie	656,4	Chercheurs	257	17,1
		ITA	177	-
		BDI : effectif total	14	-
		(coût CNRS en MF)	(0,095)	-
4) Chimie du solide et matériaux	1 053	Chercheurs	373	41,7
		ITA	342	-
		BDI : effectif total	50	-
		(coût CNRS en MF)	(3,25)	-
5) Chimie organique et macromolécules biologiques	838,8	Chercheurs	329	30,9
		ITA	261	-
		BDI : effectif total	44	-
		(coût CNRS en MF)	(2,8)	-
6) Chimie organique	868,2	Chercheurs	308	21
		ITA	148	-
		BDI : effectif total	38	-
		(coût CNRS en MF)	(2,7)	-
7) Services	21	Chercheurs	10	5,2
		ITA	99	-
		BDI : effectif total	3	-
		(coût CNRS en MF)	(0,2)	-

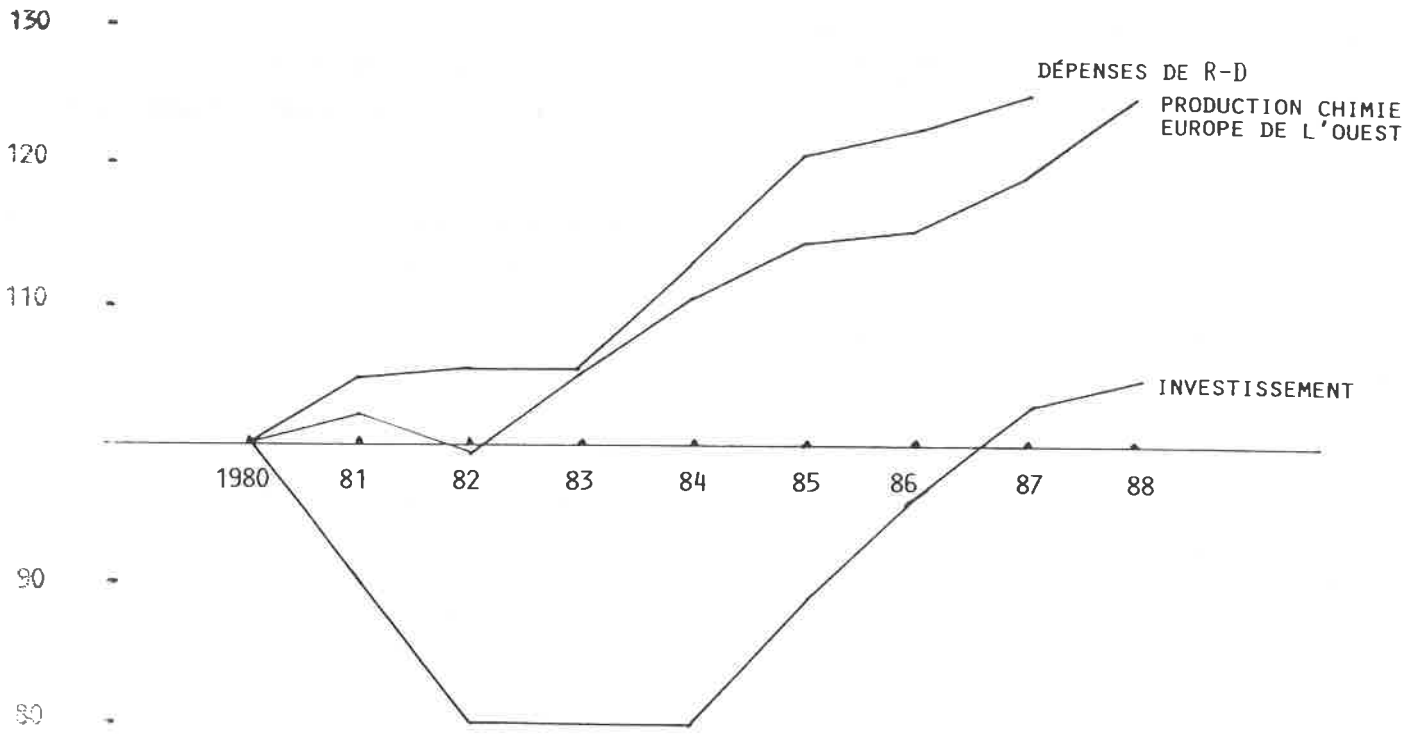

FIGURE 3. - *Chimie européenne : fonction investissement : production, recherches, évolution en volume.*

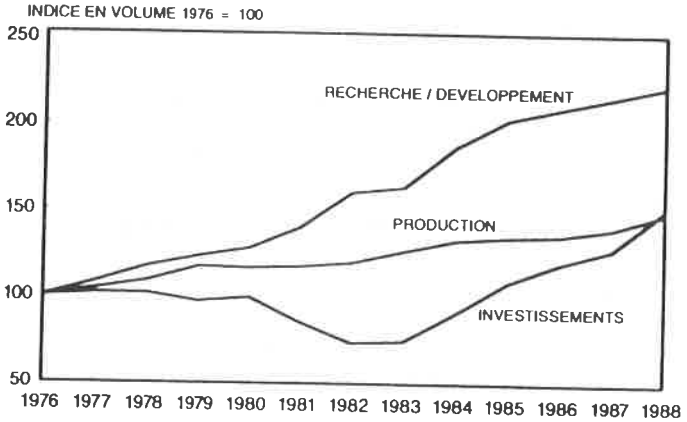

FIGURE 4. - *Croissance comparée des dépenses de l'industrie chimique française.*

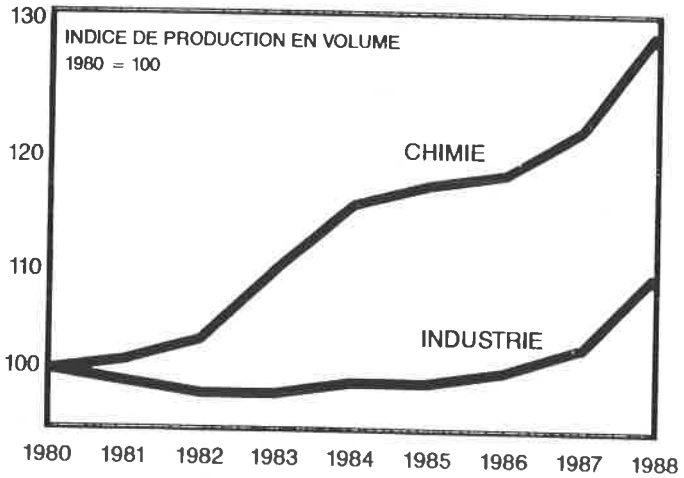

FIGURE 5. - *Croissance de l'industrie chimique et de l'ensemble de l'industrie en France de 1980 à 1988.*

nombreux succès ont jalonné la montée en puissance de la recherche dans l'industrie chimique en France.

Il faut souligner que la coopération avec les laboratoires de l'université et des grands organismes de recherche s'est beaucoup développée, il est maintenant très courant de voir financer des bourses de doctorat soit entièrement, soit en partenariat, par l'industrie ; des laboratoires communs CNRS-industrie ont vu le jour, des chercheurs de l'industrie sont couramment placés en laboratoire universitaire ou CNRS, enfin de très nombreux chimistes universitaires sont conseils des entreprises industrielles françaises de chimie, siègent dans les conseils scientifiques de ces entreprises et peuvent même, dans le cas de Rhône-Poulenc, être directeurs de recherche.

C'est dire que les relations entre l'industrie chimique et la communauté des chimistes fondamentaux sont devenues fréquentes, ouvertes, confiantes et fructueuses, c'est un changement profond avec la situation existant il y a une vingtaine d'années.

b) La recherche fondamentale en chimie

Elle est effectuée principalement dans les laboratoires des universités et des grands organismes de recherche.

L'une des originalités du système français est l'existence, à côté des laboratoires universitaires classiques, de laboratoires propres des grands organismes et de laboratoires associés (notamment CNRS et INSERM), qui fonctionnent au sein des universités et sont soutenus, en personnel et financièrement, par le CNRS ou l'INSERM. Ces laboratoires recouvrent actuellement la partie la plus active de la recherche fondamentale chimique française. D'autre part, des centres communs comportant les équipements lourds et mi-lourds indispensables à la recherche chimique se sont considérablement développés dans toute la France.

Il existe ainsi 28 laboratoires propres, 118 laboratoires associés auxquels s'ajoutent 36 groupements de recherche et 10 unités mixtes ou services de recherche dans le département chimie du

CNRS en 1990. Si l'on ajoute les structures diverses d'intervention et de service, c'est un total de 228 laboratoires de chimie qui constituent le département chimie du CNRS. Plus de la moitié, sinon la quasi-totalité de ces unités sont en très forte interaction avec les universités et écoles d'ingénieurs. Dans cet ensemble qui dispose d'un budget total de 1 217 millions de francs en 1990, on trouve 2 072 chercheurs et 1505 ingénieurs et techniciens. Il faut souligner qu'un autre département, le département sciences de l'ingénieur, a une forte activité de recherches en chimie (procédés, automatismes, etc.), son budget est de 751 millions de francs et l'effectif de 1 080 chercheurs et 1 122 ingénieurs, techniciens et administratifs. Bien entendu, la chimie n'est pas entièrement absente d'autres départements, notamment celui des sciences de la vie. Le *tableau III* qui donne les effectifs et les budgets par thème scientifique du département chimie du CNRS, permet une bonne appréciation de l'importance des différents domaines d'activité.

Le rapport de conjoncture publié récemment par le CNRS donne une excellente analyse de la recherche chimique et de sa prospective en France [4].

On relèvera d'abord que :

"En France, un tiers des jeunes ayant un doctorat sont chimistes et qu'il y a à peu près autant de chimistes de haut niveau dans le secteur public que dans le secteur privé (6 000 environ)".

Les grandes tendances de la recherche dans notre pays sont les suivantes :

- Maîtrise de la réaction chimique.
- Synthèse moléculaire et défi de la sélectivité.
- Chimie supramoléculaire - génie de l'architecture.
- Matériaux organiques et inorganiques.

En ce qui concerne la connaissance de la réaction chimique, on cherche à identifier au plus près "l'acte physico-chimique" qui initie la réaction et à comprendre l'influence des paramètres réactionnels sur la sélectivité. Un effort considérable est poursuivi en ce qui concerne l'approche théorique.

Les bases conceptuelles de la synthèse moléculaire sont étudiées par des équipes très actives tant en ce qui concerne l'approche moléculaire que supramoléculaire, enfin les matériaux, organiques et inorganiques, font l'objet de travaux poussés, souvent multidisciplinaires et très actifs qui vont de l'étude du précurseur à celui du matériau fini placé dans un environnement déterminé (par exemple un matériau composite). La chimie de l'état condensé, l'étude des interfaces et des phénomènes associés (adhésion par exemple) sont également des domaines très vivants et d'excellente qualité.

Du bilan présenté par le rapport de conjoncture CNRS, on peut retenir que : "La recherche française en chimie tient une place importante au niveau international... (avec) une situation sensiblement différente selon les domaines", les points forts et les faiblesses pouvant être résumées par :

- En ce qui concerne la compréhension de la réactivité, l'approche microscopique à dominante physique est très en pointe ; par contre, l'étude des mécanismes réactionnels et la chimie théorique appliquée à la réactivité comportent de remarquables réalisations, mais sont moins développées.

- L'approche microscopique du phénomène chimique, qui étudie les processus élémentaires isolés du point de vue physique, est devenue une spécialité française avec de nombreux points forts : diabatisation des surfaces de potentiel, dynamique quantique et hémiquantique, photochimie des complexes de Van der Waals, réactions ions-molécules à basse température, utilisation de la spectroscopie laser à haute résolution. Cet ensemble qui se situe au meilleur niveau international a obtenu quelques percées théoriques et technologiques spectaculaires.

L'approche macroscopique et les études de mécanismes réactionnels concernant l'ensemble de la chimie de synthèse repose sur quelques équipes trop peu nombreuses mais qui ont eu de nombreux succès concernant, parmi les plus récents, les mécanismes de transfert monoélectroniques induits électro- et

Thèmes principaux de la recherche chimique fondamentale française

- **Compréhension de la réactivité**
- **Approche microscopique du phénomène chimique :**

Les processus élémentaires :

- surfaces de potentiel
- dynamique quantique
- photochimie des complexes
- réactions ions-molécules à basse T
- spectroscopie laser haute résolution.

- **Approche macroscopique et mécanismes réactionnels**
  - transferts monoélectroniques
  - catalyse acide-base
  - échanges de ligands en organométallique
  - rôle du solvant dans l'addition électrophile.
- **Synthèse organique**
  - chimie organométallique
  - hétérochimie en synthèse asymétrique
  - hétérochimie du silicium, phosphore, étain, arsenic et métaux de transition.
- **Chimie minérale**
  - synthèse
  - structure et réactivité.
- **Chimie supramoléculaire**
  - structure des édifices, dynamique de l'organisation
  - reconnaissance chimique
  - application en synthèse, biochimie, catalyse, transfert de l'information, etc.
- **Chimie des polymères et des matériaux polymères**
  - polymères mésomorphes
  - optique non linéaire et optoélectronique
  - piézoélectricité
  - polymères conducteurs et semi-conducteurs
  - polymères fonctionnels pour traitements de surface
  - matrices polymères
  - polymères bio-actifs et pour génie biomédical
  - encapsulation-membranes
  - polymères organométalliques
  - adhésifs structuraux
  - oligomères (et polymères précurseurs pour fibres et matériaux spéciaux).
- **Transferts vers l'industrie**
  - molécules actives (pharmacologie, phytosanitaire)
  - matériaux hautes performances
  - supports de catalyseurs
  - stabilité des polymères
  - modélisation de cinétiques complexes (en vue de la maîtrise de procédés).

photochimiquement, la catalyse acide-base (importante en biochimie), les échanges de ligands en chimie organométallique et le rôle du solvant dans certaines additions électrophiles.

Les théoriciens français, bien placés dans la communauté internationale, ont réalisé quelques belles avancées et souhaitent développer leur discipline, notamment en accroissant les moyens de calcul. Le développement de cette microdiscipline est, pour cette dernière décennie, le fait d'une meilleure définition de l'interface théoriciens-expérimentateurs et donc une meilleure compréhension mutuelle. Les théoriciens français, tout en continuant leurs travaux en chimie quantique fondamentale, ont suivi l'exemple anglo-saxon (selon notamment l'école de R. Hoffmann, Nobel 81) en s'attachant à la définition de modèles directement accessibles à la compréhension de non-spécialistes. A tel point que la recherche industrielle fait elle-même appel aux théoriciens.

En synthèse organique, le regroupement des équipes permet une bonne utilisation de l'équipement lourd et mi-lourd (RMN, IRTF, etc.) ; d'importants résultats ont été obtenus grâce à l'apport de la chimie organométallique et des hétérochimies en synthèse asymétrique. On souhaite cependant renforcer les équipes de chercheurs organiciens.

La communauté de chercheurs de la chimie du silicium, du phosphore, de l'étain, de l'arsenic et des métaux de transition faite de 200 chercheurs permanents est très active. On considère cependant que ce domaine reste une "spécialité" allemande, américaine et maintenant japonaise. Parmi les résultats français, signalons, outre la synthèse organique, la préparation de matériaux, la synthèse d'oligonucléotides et de peptides. Parmi les points faibles, la chimie de base.

La chimie supramoléculaire est très en pointe en France, comme l'a souligné le prix Nobel attribué à Jean-Marie Lehn.

Enfin, la chimie des matériaux est en France un domaine riche de bonnes équipes et dont l'activité se situe au niveau international. Le domaine sol-gel, d'apparition relativement récente, comporte maintenant une douzaine d'équipes ; dans le domaine des matériaux inorganiques et hautes performances, il faut citer les travaux sur les semi- et supraconducteurs, les piézoélectriques et les électrolytes solides, les verres, zéolithes, matériaux magnétiques, diélectriques et ferroélectriques.

Les transferts recherche fondamentale-industrie sont nombreux et importants ; sans être exhaustif, on peut citer, parmi les principaux champs d'activité de transfert : les molécules "actives" (pharmacologie, phytosanitaire), les "outils organoélémentaires, organométalliques" en synthèse de chimie fine, les matériaux haute performance, les supports de catalyseurs, la "modélisation" en cinétique complexe et, en mise au point de "procédés", les polymères (à fonctions multiples : mésophases, optoélectronique, piézoélectriques, conducteurs ou semi-conducteurs, polymères de traitements de surface, bioactifs, adhésifs précurseurs, etc.).

Il faut encore souligner l'effort d'équipement et de rationalisation des laboratoires d'interfaces et de transfert entre recherche fondamentale et industrie (bâtiment, équipement, caoutchouc et polymères, textile, etc.).

Prospective

L'état actuel de la recherche chimique en France laisse bien augurer de l'avenir ; il faut, cependant, souligner qu'il demeure lié à la conjoncture pour ce qui est de la recherche industrielle et à la capacité d'attraction des meilleurs étudiants pour ce champ d'activité, en ce qui concerne l'ensemble de l'activité tant fondamentale qu'appliquée.

Ce dernier point qui fait l'objet de grands soucis dans l'ensemble des pays développés et notamment aux USA [5] mérite certainement notre attention, la situation actuelle n'étant certainement pas très satisfaisante.

Bibliographie

[1] L. Lederman, *Science and Public Policy*, June **1985**, 131-143.
[2] J.-B. Donnet, Rapports du MRT "Contrats de plan Etat-Régions dans le domaine de la recherche", mars **1988** et juin **1989.**
[3] E. Garfield, *Current Contents*, **1988**, *23*, 3-10.
E. Garfield, *Current Contents*, **1990**, *31*, 3-17.
[4] Rapport de conjoncture CNRS - Presses du CNRS, Janvier **1990.**
[5] J.-B. Donnet, *L'Actualité Chimique*, **1990**, n°4, p. 147-148.