8e Congrès de la Société Française de Génie des Procédés (SFGP8)

Bilan et perspectives scientifiques

Nancy, 17-19 octobre 2001

A l'issue de chacun des congrès français de génie des procédés : Nancy (1987), Toulouse (1989), Compiègne (1991), Grenoble (1993), Lyon (1995), Paris (1997), Montpellier (1999), il est d'usage de dresser un bilan scientifique de la rencontre et d'esquisser certaines perspectives d'avenir.

La *figure 1* présente quelques données statistiques concernant la participation des pôles français de génie des procédés (75 % des 400 communications orales et par affiche, si l'on retire 62 communications de chercheurs étrangers et 37 communications de centres de recherches appliqués et d'industriels).

Si l'on prend en compte l'ensemble des 297 communications orales et par voie d'affiches, on constate la prééminence (impressionnante) de Nancy (31 %) devant Toulouse-Albi-Pau (16 %), Rhône-Alpes (14,5 %), divers (10 %), région parisienne (9,3 %), suivie par les autres pôles bien en-dessous de 10 %. L'organisation de ce congrès francophone à Nancy a motivé et « boosté » nos collègues nancéens (bravo pour cette performance).

L'aspect francophone du congrès a pour partie porté ses fruits avec la présentation de 62 communications en provenance de l'étranger dont bon nombre de pays francophones. (*figure 2*).

Il est important de souligner (et c'est bien dommage) que globalement les communications associant industriels et universitaires sont très minoritaires (pour ne pas dire inexistantes) (3 %) par rapport aux contributions purement académiques. Rappelons que ce pourcentage était de 56 % au congrès de Lyon (1995), 20 % au congrès de Paris (1997), à peine 20 % au congrès de Montpellier (1999). Je me demande comment on pourra enrayer cette chute.

Il est par contre intéressant de souligner la présence notable et réconfortante des instituts nationaux de recherche (IFP, CEMAGREF, INRA, INRETS, INRS, CEA, INERIS, IRSID...).

A la fin de ce congrès qui a été suivi par plus de 500 participants (*figure 3*), et compte tenu des grandes tendances mondiales que l'on voit se profiler depuis 6 ou 7 ans et que l'on a pu également constater cette année au 3e Congrès européen de génie des procédés (26-28 juin à Nüremberg) et au 6e Congrès mondial de génie des procédés (23-27 septembre à Melbourne), on peut dire que les spécialistes universitaires et industriels du génie des procédés concentrent leurs activités sur 4 objectifs.

Toujours au niveau français, la *figure 4* indique comment se répartissent les communications par grands domaines d'applications.

Si les méthodes et techniques générales viennent en tête, il ne faut pas s'étonner de la montée en puissance du thème énergie-environnement-sécurité, compte tenu de son importance actuelle et à venir. Il ne faut pas s'étonner non plus par le score moyen du thème procédés chimiques, ce qui souligne l'approche très pluridisciplinaire et plurifilière du génie des procédés que l'on retrouve dans les domaines bio-agroalimentaires et de l'élaboration des matériaux.

Voyons maintenant les perspectives que l'on peut dégager pour la recherche future en génie des procédés.

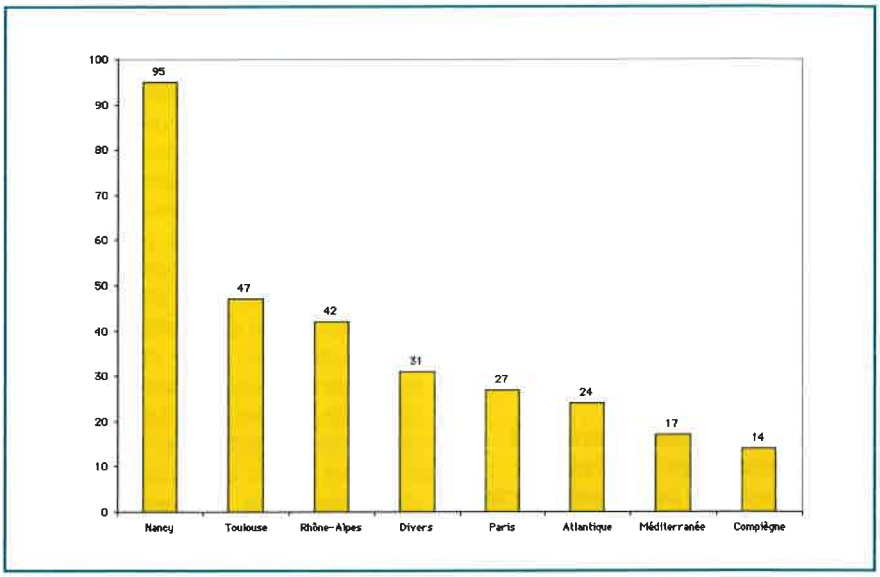

Figure 1 - Communications au 8e congrès de la SFGP.

Algérie	13	Espagne	2
Angleterre	4	Hollande	1
Belgique	11	Maroc	2
Brésil	3	Russie	8
Cameroun	1	Suisse	3
Canada	4	Tunisie	10

Figure 2 - Nombre d'articles étrangers.

Figure 3 - La répartition des 515 participants par pays.

Universitaires français	290
Participants industriels et Centres techniques	62
Universitaires étrangers	63
Algérie	6
Allemagne	1
Angleterre	3
Belgique	16
Brésil	1
Cameroun et Côte d'Ivoire	10
Canada	3
Chine	2
Liban	1
Maroc	2
Pologne	1
Russie	1
Suède	1
Suisse	3
Tunisie	12
Planète Jeunes	100

Le génie des procédés : quo vadis ?

1. La maîtrise totale du procédé via une interaction réversible homme-procédé pour améliorer la productivité et la sélectivité sous contraintes sociales (hygiène, sécurité, environnement, qualité)

Cette maîtrise passe par une « intensification » des processus moléculaires par apport d'énergie informée agissant sélectivement à l'endroit et à l'instant requis ou par une répartition étagée de l'apport en réactifs et en calories. Cette maîtrise nécessite la mise en œuvre de nano- et microtechnologies de précision pour façonner sur mesure (« tailoring ») des matériaux poreux et/ou structurés (à structures contrôlées) offrant des propriétés ciblées pour les réactions catalytiques et les séparations : pour ce façonnage de matériaux à structure contrôlée, les spécialistes de génie des procédés sont concernés maintenant par les événements intervenant aux nanoéchelles d'espace et de temps pour contrôler les évènements intervenant à l'échelle moléculaire. Ce génie de l'information à l'échelle moléculaire nécessite un développement de modèles mathématiques adaptés au contrôle et à la commande avec mise au point d'un réseau d'actionneurs et de capteurs miniaturisés. Il fait également appel à des techniques de visualisation pour suivre *in situ* le déroulement des processus de transformation de la matière et de l'énergie.

2. La conception de nouveaux équipements fondés sur des bases scientifiques et la mise en œuvre de nouveaux modes de fonctionnement et de production : l'intensification des procédés

Ainsi, les équipements « multifonctionnels » qui couplent ou découplent les processus élémentaires (transfert-réactions-séparations) pour améliorer la productivité et la sélectivité en produits désirés par le consommateur ou pour faciliter les séparations des sous-produits font l'objet de nombreuses recherches-développements. Ils offrent des avantages majeurs par rapport aux opérations unitaires conventionnelles telle l'absence de limitations dues aux équilibres thermo-dynamiques ou bien de limitations imposées par des réactions réversibles. Ils conduisent à la réduction du nombre d'équipements, donc des coûts d'investissement, et à la réduction des coûts de fonctionnement par des économies d'énergie et de matières premières. Une telle hybridation des procédés peut conduire globalement à des diminutions des frais d'investissement et opératoires pour les unités industrielles de production de l'ordre de 10 à 20 %. C'est le cas de distillations réactives ou extractives, de couplage réaction-membrane, de chromatographie réactive, de cristallisation réactive, voire même de couplage cristallisation-distillation pour s'affranchir de barrières thermodynamiques (eutectiques, azéotropes). Il faut toutefois préciser et souligner que l'utilisation industrielle de ces technologies hybrides est encore limitée aujourd'hui par des problèmes de contrôle et de simulation nécessitant des modèles sophistiqués de contrôle robustes, prédictifs et adaptatifs.
L'intensification des procédés se fait également à l'aide de nouveaux équipements ou bien de nouveaux modes opératoires d'équipements existants : opération en régimes transitoires, cycliques, à flux renversé pour réactions-régénérations, à flux pulsé induits en lits fixes, dans des conditions extrêmes de pression et de température, en milieux supercritiques.

Un grand nombre de recherches en génie des procédés porte maintenant sur des modes de production fondés sur la miniaturisation, la décentralisation et la modulation. C'est la conséquence des progrès technologiques en micro- et nanotechno-logie qui conduisent à la réalisation et au fonctionnement de micromélangeurs, microréacteurs, microséparateurs et de microanalyseurs pour un contrôle fin des conditions réactionnelles, par exemple pour des opérations de « quenching » ou de mélanges pour un criblage rapide de catalyseurs et de produits, ou bien encore pour suivre des profils de température dans les unités de production.

3. La maîtrise des structures et des fonctions d'usage des produits, notamment dans le cas des fluides complexes et des solides divisés : formulation ou génie orienté produit

C'est la réponse à la demande croissante du marché en produits sophistiqués combinant plusieurs fonctions et propriétés : détergents, cosmétiques, tensio-actifs, textiles, plastiques, aliments, produits agrochimiques, médicaments... Pour la perception du consommateur, la propriété d'usage de tels produits est souvent plus importante que sa composition chimique.
Ces fonctions d'usage doivent être construites à partir de nano- ou microstructures liquides ou solides maîtrisées. Ainsi, la synthèse des propriétés par un génie orienté produit est la traduction des processus moléculaires en lois phénoménologiques macroscopiques. Cela concerne les milieux complexes pour lesquels la rhéologie et les phénomènes interfaciaux jouent un rôle majeur (gels, mousses, colloïdes, dispersions, micro(émulsions), suspensions...) ou les solides mous comme les pâtes céramiques, les aliments ou les boues de forage.
Cela concerne également la technologie des solides divisés : cela englobe à

Figure 4 - Les domaines d'applications.

Domaines d'applications	Lyon	Paris	Montpellier	Nancy
Méthodes et techniques générales	26 %	32 %	35 %	27,50 %
Bio-agro-alimentaires	6 %	28 %	14 %	20,50 %
Énergie, environnement sécurité	12 %	15,50 %	25 %	27 %
Procédés chimiques	34 %	15,50 %	13 %	15,50 %
Élaboration de matériaux	22 %	9 %	13 %	9,50 %

Figure 5 - Les thèmes du Congrès.

	Conférences d'introduction Communications orales	Communications par affiches	Total
1 Génie de la réaction chimique et des réacteurs	19	47	66
2 Génie de la séparation	14	37	41
3 Information, modélisation, simulation, optimisation	22	41	63
4 Apport de la physique et de la thermodynamique au GP	6	16	22
5 Génie des produits et formulation	8	15	23
6 Sûreté - Sécurité (avec INRS)	8	16	24
7 Eau-air-sol-environnement (avec NANCIE)	29	36	65
8 Matière biologique et systèmes vivants (avec INRA)	20	25	45
9 Élaboration et traitement des matériaux (avec IRSID)	19	10	39

la fois la maîtrise de la création et du dimensionnement des particules (cristallisation, précipitation, granulation, formation d'aérosols et de nanoparticules) et le contrôle de la morphologie et de la présentation finale (agglomération, « prilling », calcination, encapsulation, compaction) qui conditionnent les propriétés d'usage comme le goût, l'odeur, la couleur, le maniement ou la biocompatibilité.

On doit souligner que de nombreux progrès ont été réalisés pendant les trois dernières années dans les domaines du génie orienté produit et du contrôle des procédés afférents et ce, par l'utilisation des méthodes scientifiques du génie des procédés : ainsi les processus de transports, les cinétiques réactionnels et les équilibres thermodynamiques sont analysés séparément et reliés ensuite entre eux avec l'aide de la modélisation moléculaire et les puissants outils informatiques pour la simulation, la modélisation et l'extrapolation aux différentes échelles de production des produits à la mésoéchelle du laboratoire. Mais il reste de nombreuses recherches à entreprendre pour le passage de l'échelle laboratoire à la macroéchelle de l'unité pilote et/ou industrielle pour ce qui concerne la conservation de la propriété d'usage en rapport avec la conception de l'équipement.

4. L'application des méthodes de modélisation et de simulation du génie des procédés à des situations réelles multiéchelles de temps et d'espace allant de la molécule jusqu'aux grands systèmes intégrés sur site de production

L'approche système intégré multiéchelle structure/propriété depuis les échelles moléculaires nano ou micro jusqu'à l'échelle méso de l'équipement qui fabrique le produit doit s'appliquer également pour l'équipement de production lui-même et pour l'organisation globale des unités de production au sein d'un énorme complexe industriel de production : cela concerne cette fois le passage des échelles méso aux échelles macro et méga de production optimisée.

Cela implique l'utilisation de l'outil informatique, à la fois pour la simulation moléculaire (mécanique quantique et mécanique statistique moléculaires - Monte Carlo et dynamique moléculaire), et pour la modélisation des propriétés physiques à l'échelle microscopique faisant appel à des bases de données thermodynamiques, cinétiques et rhéologiques : ainsi les équilibres gaz-liquide, les propriétés et structures de certains matériaux polymères, céramiques, alimentaires, sidérurgiques, l'adsorption sur les surfaces et l'influence d'impuretés sont aujourd'hui calculés et déterminés par modélisation moléculaire en utilisant des banques de données thermodynamiques, cinétiques ou rhéologiques. Mais cela concerne maintenant, et de plus en plus à l'avenir, l'utilisation de l'outil informatique aux échelles macro et méga de chaque procédé et des grands systèmes intégrés sur site industriel. Ainsi, la mécanique des fluides numérique permet des facteurs d'extrapolation considérables des résultats obtenus sur des équipements à l'échelle du laboratoire à partir de la modélisation de données de base sur les propriétés physico-chimiques, sur les bilans de population et sur les transferts d'extensités. Par exemple, la MFN, avec les développements considérables de codes de calcul, participe quotidiennement à la conception et l'extrapolation de

Figure 6 - Les tendances en génie des procédés.

	1995 Lyon CFGP5	1997 Paris CFGP6	1999 Montpellier CFGP7	2001 Nüremberg ECCE3	2001 Nancy CFGP8
Amélioration. Production sélectivité. Intensification Transfert d'information. Génie de l'information moléculaire Visualisation *in situ*	44 %	34 %	33 %	15 %	22 %
Nouveaux équipements et modes de production Procédés miniaturisés. Process intensification	12 %	21 %	25 %	39 %	23 %
Maîtrise des propriétés et fonctions d'usage des produits Milieux complexes et technologies des solides	12 %	16 %	22 %	25 %	20 %
Formulation : processus-produit-procédé Modélisation, méthodes numériques de simulation, du processus moléculaire à l'échelle de l'usine sûreté-sécurité	32 %	28 %	20 %	21 %	35 %

nouveaux équipements ou bien d'unités multifonctionnelles par simulation des écoulements ou par traitement généralisé de l'information locale, ou bien encore pour la compréhension de l'impact de la géométrie complexe des écoulements sur le mélangeage et les phénomènes réactionnels à l'échelle des micro-tourbillons. Par ailleurs, à l'échelle de l'usine et des unités de production, la simulation dynamique et les outils informatiques sont de plus en plus utilisés pour analyser le fonctionnement de chaque équipement de l'unité de production, pour suivre la composition des produits et leur temps de transit dans chaque unité de la chaîne de production afin d'optimiser de façon interactive l'ensemble de la chaîne de production en temps, en matière et en énergie.
Mais pour mener à bien ce génie multiéchelle du triplé « processus-produit-procédé », il reste maintenant à standardiser et à rendre compatibles, interactifs et interopérables ces outils de simulation et de modélisation qui interviennent de façons indépendantes à différentes échelles d'espace et de temps. La communauté universitaire et industrielle de génie des procédés devra énormément s'investir sur le projet européen Computer Aided Process Engineering **Global Cape Open** (GCO) dans le cadre de réseaux de laboratoires (CO-LaN).

Où en sommes-nous aujourd'hui ?

L'analyse des communications au Congrès de Nancy (communications réparties selon 9 thèmes *(figure 5)* sous une thématique prometteuse intitulée « Pour la performance et la connaissance ») montre que les équipes françaises et pour la plupart francophones œuvrent largement dans ces objectifs.
Si l'on cherche à classer les conférences d'introduction et les communications orales et par affiches, on trouve en référence aux domaines précités *(figure 6)* :

- 22 % consacrés à l'amélioration de la productivité et de la sélectivité par une intensification du transfert d'informations,
- 23 % consacrés à l'intensification des procédés par de nouveaux modes de production et de nouveaux équipements,
- 20 % consacrés au génie orienté produit,
- et 35 % consacrés aux méthodes numériques de modélisation et de simulations, de contrôle et de sécurité à toutes les échelles de la molécule jusqu'au site de production.

Il reste à souhaiter que se poursuivent et s'intensifient les efforts de recherche dans ces directions avec l'appui des pouvoirs publics français et européens et, et, et... nous ne le répéterons jamais assez, avec la participation de nos collègues industriels.
Bravo encore à nos collègues nancéiens pour le programme scientifique et l'organisation du congrès sous les présidences de Daniel Tondeur et Joseph Boudrant, avec une solide équipe de coordonnateurs locaux de thèmes scientifiques, une intendance assurée par le CPIC et les partenaires locaux INRA, INRS, IRSID et NANCIE.
Bravo enfin pour l'initiative « planète jeunes » avec les présentations de 62 affiches et d'un panorama de thèses en cours et avec un débat en présence de professionnels sur le métier de jeunes chercheurs en génie des procédés.

Le point en septembre 2003 à Saint-Nazaire avec le 9e Congrès de la Société Française de Génie des Procédés, congrès organisé par nos collègues de la façade atlantique et congrès orienté sur les thèmes environnement, bio-agro-industrie et enjeux énergétiques. La trame en sera « Du rayonnement scientifique à la diffusion des technologies ».

Jean-Claude Charpentier
Président du Comité scientifique
et technique de la SFGP

L'Actualité Chimique est lue chaque mois par plus de 20 000 chimistes (étudiants, enseignants, ingénieurs et cadres du secteur public et de l'industrie, dirigeants d'entreprise...).

Profitez de ce lectorat ciblé et de qualité pour publier vos annonces.

Contact publicité
Céline Hoarau
Tél. : 01 55 42 80 52.
Fax : 01 46 33 21 06.
Portable : 06 84 76 01 99.
E-mail : hoarau@edpsciences.org

Index des annonceurs

EDP Sciences	IIe de couv.	SFC	IIIe de couv.
GFP	Encart destiné aux abonnés	SFCEurochem	IVe de couv.
Polymer Laboratories	p. 47		