

Le 7^e Congrès français de génie des procédés

Bilan et perspectives scientifiques

Jean-Claude Charpentier* directeur de l'École Supérieure de Chimie Physique Électronique de Lyon-CNRS, président du comité scientifique et technique de la Société Française de Génie des Procédés

A l'issue de chacun des Congrès français de génie des procédés : Nancy (1987), Toulouse (1989), Compiègne (1991), Grenoble (1993), Lyon (1995), Paris (1997) et maintenant Montpellier (simultanément 7^e congrès français et 2^e congrès européen ECCE2), il est d'usage de dresser un bilan scientifique de la rencontre et d'esquisser les perspectives d'avenir.

La figure 1 présente quelques données statistiques concernant la participation européenne. Comme pour les congrès précédents, notamment Lyon et Paris, la rigueur et l'indépendance du comité scientifique de sélection des contributions (comité cette fois-ci européen et qui a conduit à ne retenir que 50 % des propositions) permettent de tirer de ces statistiques quelques constatations marquantes : 237 des 460 propositions proviennent d'universitaires, de centres de recherches et d'industriels français, mais 36 nations étaient présentes avec une participation notable de collègues allemands, anglais, tchèques et italiens. Enfin, 20 % des communications présentent des travaux effectués en collaboration avec des industriels européens (grandes entreprises et PME/PMI) et des centres de recherches appliquées (IFP, CEMAGREF, CIRAD...).

Par ailleurs, la figure 2 présente des données concernant la participation des pôles français de génie des procédés. Sur la base de l'ensemble des communications orales et par voie d'affiche

* École Supérieure de Chimie Physique Électronique de Lyon, BP 2077, 69616 Villeurbanne Cedex. Tél. : 04.72.43.17.02. Fax : 04.72.43.16.70. E-mail : jcc@cpe.fr

Number of articles per country			Number of articles per topic			
Country	Articles	Orals	Topic	Orals	Posters	Articles
France	240	131	1 (I.1)	21	16	37
Germany	50	34	2 (I.2)	9	5	14
UK	28	18	3 (I.3)	9	6	15
Italy	16	10	4 (II.1.a)	18	22	40
Czech Rep.	11	7	5 (II.1.b)	47	44	91
Poland	9	5	6 (II.1.c)	14	7	21
Russia	9	5	7 (II.1.d)	25	17	42
Spain	9	6	8 (II.2)	26	27	53
Brazil	8	1	9 (II.3)	44	26	70
Belgium	8	5	10 (II.4)	39	30	69
Switzerland	7	4	11 (III)	8	-	8
The Netherlands	7	6	Total	260	200	460
Slovenia	5	2	1 Product engineering : end-use properties			
Argentina	4	1	2 Complex fluid processing			
Croatia	4	2	3 Advanced processing for high performance materials			
Sweden	4	3	4 Chemical thermodynamics, kinetics, catalysis, chemical reaction engineering, method for scaling up and down			
Venezuela	4	2	5 Heat and mass transfers, fluid mechanics (multiphase reactors, rheology, reactive fluids...), interfacial phenomena			
Yugoslavia	4	2	6 Unit operations : principles and technology, distillation, absorption, extraction			
Finland	3	1	7 Separation : filtration, permeation, adsorption, ion exchange, industrial chromatography, electro dialysis...			
Hungary	3	2	8 Tools for process Understanding and Control			
Portugal	3	1	9 Process System Engineering			
Greece	3	1	10 Specific Processes and Technologies			
Algeria	3	1	11 Chemical engineering education, now.			
Australia	2	2				
Roumania	2	1				
Canada	2	2				
Albania	1	0				
Austria	1	0				
Bulgaria	1	1				
Tunisia	1	1				
Ukraine	1	0				
Slovakia	1	0				
Denmark	1	1				
Korea	1	1				
China	1	0				
Mexico	1	1				
Total	460	260				

Figure 1 - Balance sheet of articles.

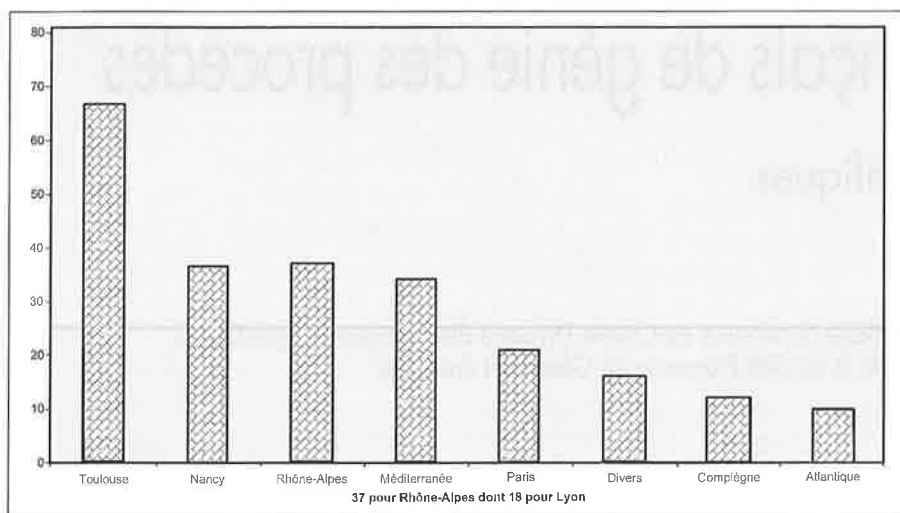


Figure 2 - Répartition des 260 communications orales + affiches.

(460 dont 260 par communications orales), on constate pour la participation française la prééminence de la région Midi-Pyrénées (Toulouse, Albi, Pau) avec 67 communications, suivie de Nancy (37 communications), la région Rhône-Alpes (37 communications dont 18 pour Lyon), la façade méditerranéenne (le groupe GIMPEP, Odeillo, Perpignan, Montpellier, Marseille, Alès) (34 communications), la région parisienne (21 communications), les divers (16 communications), Compiègne (12 communications) et la façade atlantique (Nantes, Saint-Nazaire, Rennes, La Rochelle et Bordeaux) (10 communications).

La percée de la région méditerranéenne s'explique par l'effet d'entraînement sur les équipes organisatrices et traduit également la bonne santé du génie des procédés méditerranéen en étroite collaboration avec des organismes de recherche comme l'INRA, le CIRAD, le CEMAGREF et le CEA.

Il est important et surprenant de souligner que globalement les communications associant industriels et universitaires sont très minoritaires (à peine 20 %) par rapport aux contri-

butions purement académiques. Si ce pourcentage était de 56 % au congrès de Lyon, avait chuté à 20 % au congrès de Paris, il ne s'est pas amélioré au congrès de Montpellier : c'est un vrai problème posé à la communauté française de génie des procédés et il faudra enrayer cette chute dans les prochains congrès de Nancy et de Nantes-Saint-Nazaire. Il est par contre très intéressant et réconfortant de souligner la forte présence des instituts de recherche comme l'INRA, le CEA et l'IFP.

Toujours au niveau français, la figure 3 indique comment se répartissent les communications par grands domaines d'application.

Si les méthodes et techniques générales viennent en tête, il ne faut pas s'étonner de la montée en puissance des thèmes énergie, environnement, sécurité, compte tenu de leur importance actuelle. Il ne faut pas être surpris non plus par le faible score 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-agro-alimentaires et de l'élaboration des matériaux.

Domaines d'application	Lyon	Paris	Montpellier
Méthodes et techniques générales	26 %	32 %	35 %
Bio-agro alimentaires	6 %	28 %	14 %
Énergie, environnement	12 %	15,5 %	25 %
Procédés chimiques	35 %	15,5 %	13 %
Élaboration de matériaux	22 %	9 %	13 %

Figure 3 - Répartition des communications au niveau français.

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

Le génie des procédés : quo vadis ?

A la fin de ce congrès et compte tenu des grandes tendances mondiales que l'on voit se profiler depuis 4 ou 5 années, on peut dire que les spécialistes universitaires et industriels du génie des procédés se concentrent sur 4 objectifs.

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

Cette maîtrise passe par une « intensification » des opérations par apport d'énergie informée agissant sélectivement à l'endroit et à l'instant requis (rayonnements laser, ultrasons, microondes...) ou par une répartition étagée de l'apport en réactifs et en calories. Cette maîtrise nécessite également la mise en œuvre de nano- et microtechnologies de précision qui peuvent rendre possible le façonnage sur mesure (tailoring) de matériaux poreux offrant des propriétés intéressantes pour les réactions et les séparations, ce qui nécessite en quelques sorte un génie de l'information à l'échelle moléculaire et un développement de modèles mathématiques adaptés au contrôle et à la commande, avec une mise au point d'un réseau de capteurs et d'actionneurs miniaturisés.

Enfin, cette maîtrise totale du procédé fait appel à des techniques de visualisation permettant de suivre *in situ* le déroulement des opérations et la transformation de la matière et de l'énergie.

2. La conception de nouveaux équipements fondés sur des notions et bases scientifiques et de nouveaux modes de fonctionnement et de production

Ainsi, les équipements « multifonctionnels » qui couplent ou découplent

les processus élémentaires (transferts-réactions-séparations) pour améliorer la productivité, la sélectivité en produit désiré ou pour faciliter la séparation des sous-produits font de plus en plus l'objet de recherches-développements. Ils offrent des avantages majeurs par rapport aux procédés conventionnels tels l'absence de limitation d'équilibres thermodynamiques ou bien de limitations imposées par des réactions réversibles, la réduction et les facilités de séparation de sous-produits non désirés, ce qui peut conduire à des améliorations globales du rendement et à des diminutions des frais d'investissement et de fonctionnement de l'ordre de 10 à 20 %. C'est le cas de distillations réactives et extractives, de la chromatographie réactive, de l'extraction réactive voire même de la cristallisation réactive ou du couplage cristallisation-distillation pour s'affranchir de barrières thermodynamiques (eutectiques, azéotropes).

On voit également apparaître de nouveaux équipements ou de nouveaux modes de fonctionnement au stade du laboratoire, voire même au stade du pilote : opérations en régimes transitoires, cycliques, à flux renversé pour réaction-régénération, à flux pulsés induits, dans des conditions extrêmes de pression et de température, en milieux supercritiques...

On voit également se lancer un grand nombre de recherches portant sur de nouveaux modes de production fondés sur la miniaturisation, la décentralisation et la modulation. Cela est dû aux énormes avancées en microtechnologie conduisant à la réalisation et au fonctionnement de microréacteurs, microséparateurs et de micro-analyseurs pour contrôle fin des conditions réactionnelles, par exemple pour des opérations de mélange et de « quenching », ou bien pour suivre les profils de températures dans les unités de production.

3. La maîtrise des structures et des propriétés d'usage des produits notamment dans le cas des fluides complexes et des solides divisés.

C'est la réponse à la grande demande du marché en produits sophis-

	1995 Lyon SFGP 5	1997 Paris SFGP 6	1999 Montpellier SFGP 7 ECCE2
Increase Selectivity Productivity Intensification Information transfer	45 %	34 %	33 %
Design Novel Equipm. New modes of production	12 %	20 %	25 % ↗
Product Engng Manufacturing End-use property Numerical Methods Simulation Modelisation From the molecule to the optimally structured Production Complex	12 %	15 %	22 % ↗
	32 %	26 %	20 %

Figure 4 - Trends in chemical engineering : communications in congresses.

tiqués combinant plusieurs fonctions et propriétés : détergents, cosmétiques, lubrifiants, encres, peintures, décolorants, tensioactifs, mousses, plastiques, aliments, médicaments... Ces fonctions ou propriétés d'usage doivent être construites à partir de micro- ou nanostructures liquides ou solides qui donnent au produit la réponse à la demande du consommateur.

Le génie du produit (ou formulation) caractérisé par la maîtrise des structures et des propriétés d'usage est la traduction des processus moléculaires en lois phénoménologiques macroscopiques. Il concerne les milieux complexes pour lesquels les phénomènes interfaciaux jouent un rôle majeur (gels, mousses, polymères hydrosolubles, colloïdes, dispersions, micro-émulsions...). Il concerne également la technologie des solides divisés : maîtrise de la création des solides (précipitation, cristallisation, granulation, formation d'aérosols et de nanoparticules) et maîtrise de la morphologie, de la granulométrie et de la présentation finale (agglomération, « prilling », calcination, encapsulation, compaction) qui conditionnent les propriétés d'usage.

4. L'application des méthodes de modélisation et de simulation

du génie des procédés à des situations réelles, multi échelles allant de la molécule jusqu'aux systèmes intégrés

L'approche système intégré multi échelle structure/propriété, depuis les échelles nano ou micro jusqu'à l'échelle méso de l'équipement qui fabrique le produit, doit s'appliquer également pour le procédé 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.

On voit donc l'utilisation de l'outil informatique à la fois pour la simulation moléculaire et la modélisation des propriétés physiques à l'échelle microscopique, les modélisations faisant de plus en plus appel à des bases de données thermodynamiques, cinétiques et rhéologiques.

Mais on voit également l'utilisation de l'outil informatique aux échelles macro et méga de chaque procédé et des grands systèmes intégrés sur site industriel. La mécanique des fluides numérique permet des facteurs d'extrapolation considérable des résultats obtenus 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 de masse, de chaleur et de quantité de mouvement. Par exemple, la mécanique des fluides numérique avec les développements considérables des codes de calcul (Fluent, Phoenics, Flow 3 D, Fidap...) participe quotidiennement dans l'extrapolation de nouveaux équipements ou bien d'unités multifonctionnelles par simulation des écoulements ou par traitement généralisé de l'information locale, ou bien par la compréhension de l'impact de la géométrie complexe des écoulements sur le mélange et les phénomènes réactionnels à l'échelle des microtourbillons, ou bien encore pour la simulation numérique de l'hydrodynamique complexe des écoulements dans les réacteurs polyphasiques gaz-liquide-solide.

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 connaître la composition des produits et

leur temps de transit dans chaque unité de la chaîne de production et, ce, afin d'optimiser l'ensemble de la production (en temps et en énergie). Cela permet en effet une démarche interactive pour prévoir en quelques secondes les nouvelles performances (qualité et coût du produit) obtenues par exemple après tout changement consécutif à un point de blocage ou à un goulot d'étranglement sur une unité de la chaîne de production.

Où en sommes-nous aujourd'hui ?

L'analyse des communications au congrès de Montpellier montre que les équipes françaises et européennes relèvent pleinement ces quatre défis (figure 4).

Si l'on cherche à classer les contributions orales et par affiches, on trouve en référence aux domaines-phares ci-dessus :

- 33 % des contributions consacrées à l'amélioration de la productivité et de la sélectivité et à l'intensification du

transfert d'information,

- 25 % des contributions consacrées aux nouveaux modes de production et aux nouveaux équipements,

- 22 % des contributions consacrées au génie du produit et à la maîtrise des propriétés d'usage. L'augmentation marquée du nombre des contributions dans ce domaine résulte clairement de la volonté des organisateurs qui en avaient affiché la propriété,

- et 20 % des contributions consacrées aux méthodes numériques de simulation appliquées à toutes les échelles de la molécule jusqu'à l'énorme complexe industriel.

Il est à souhaiter que se poursuivent et s'intensifient les efforts dans ces directions avec l'appui des pouvoirs publics européens et français (à l'image du programme de recherche CNRS Génie des procédés chimiques, physiques et biotechnologiques) et avec la participation de nos collègues industriels.

Le point dans deux ans à Nancy avec le 8^e Congrès français de génie des procédés et à Nuremberg avec le 3^e Congrès européen de génie des procédés.