

*séance du lundi 8 février 1999*

## **NOUVELLES TENDANCES DU GENIE DES PROCÉDES**

*Hubert CURIEN*

Le « génie des procédés » est l'art de produire industriellement des matériaux ou des objets destinés au marché. C'est le savoir-faire qui permet de concrétiser, d'industrialiser toute idée ou tout concept nouveau issu des laboratoires ou provenant de la demande du marché. En aval de l'invention, le génie des procédés est au cœur du processus d'innovation, dans les domaines d'activités les plus variés : pétrole, chimie, pharmacie, métallurgie, alimentation... De sa maîtrise dépendent les coûts et la qualité de la production, mais aussi son acceptabilité par l'environnement.

### **LES JEUX D'ÉCHELLES**

Classiquement, une étude de procédé pour la production d'un matériau repose sur la maîtrise théorique et pratique des échanges de matière, de chaleur et de quantités de mouvement. En bref, c'est ce qu'il est convenu d'appeler la thermodynamique. Mais voilà une science qui a bien changé de contenu dès lors qu'il est possible d'observer les phénomènes à toute échelle, depuis celle de la molécule à celle des cuves de réacteurs industriels. Le jeu d'échelle est particulièrement éclairant.

La connaissance des réactions au niveau des molécules est à la base de la découverte de matériaux originaux qui sont dotés de propriétés nouvelles ou de combinaisons nouvelles de propriétés classiques. La recherche en chimie n'est plus seulement une démarche de constat (telle substance a telle propriété), ni d'explication (telle molécule a telle propriété parce qu'elle a telle structure), mais de prédiction (si vous voulez telle ou telle propriété, essayez de synthétiser et produire telle ou telle structure). La chimie prédictive est d'abord ancrée à l'échelle moléculaire et la biologie relève aussi, au moins partiellement, de la même logique...

A l'autre extrémité de la gamme est l'échelle macroscopique, celle des appareils industriels. Ici, le remarquable développement des méthodes numériques de modélisation joue un rôle de premier plan, en complément à l'expérimentation, pour la conception et l'analyse des procédés. La complexité des cas à traiter exige un grand raffinement des programmes et un fréquent recalage des modèles sur les constats expérimentaux. D'ailleurs, ici comme dans bien d'autres domaines, l'apport de la modélisation numérique est d'autant plus efficace que les capteurs de mesures sont performants. Un modèle, même excellent, qui tourne sur des données insuffisantes en nombre et en qualité ne peut que décevoir.

Micro et macro ne sont plus les seules échelles utiles aux débats des chercheurs et des ingénieurs. La méso-échelle a fait, depuis quelque temps déjà, une percée remarquable. L'échelle mésoscopique est celle qui permet de traiter des poudres, des solides divisés, des agrégats. La mécanique des tas de sable est loin d'être simple, mais sa maîtrise n'est pas inutile ! Les processus industriels traitent beaucoup de liquides et de gaz. Ils partent parfois et aboutissent souvent à des solides dont il n'est pas rare qu'ils soient pulvérulents. Les poudres constituent une matière sur laquelle les physiciens savent maintenant dire beaucoup de choses intelligentes et utiles

Les défauts ponctuels à l'échelle atomique règlent une bonne part des propriétés des semi-conducteurs. Les défauts à une dimension (1D), telles les dislocations dans les cristaux, jouent un rôle essentiel dans la plasticité des métaux. Les phénomènes à deux dimensions (2D) ont permis d'imaginer des matériaux nouveaux porteurs de propriétés électriques, magnétiques ou mécaniques originales. Les surfaces, les interfaces, les membranes relèvent de la connaissance de la physico-chimie à deux dimensions. On en imagine les conséquences, non seulement en chimie industrielle, mais aussi en biologie.

## **LA MACHINE ET L'HOMME**

La conception et la réalisation d'un complexe de production industrielle conduisent à une réflexion économiquement et philosophiquement intéressante sur la convivialité entre les machines et les opérateurs qui auront à les mettre en œuvre. Il est commode, trop commode, de dire simplement que la machine sera chargée des tâches répétitives ou pénibles et que l'opérateur en sera le contrôleur et l'âme, capable de prendre des initiatives intelligentes en cas de dysfonction. Mais c'est peut-être dans ce cas que l'opérateur est le plus heureux de se trouver devant une machine... intelligente. Une part importante des catastrophes industrielles enregistrées au cours de ce siècle peut être attribuée à des déficiences d'opérateurs. Le partage des tâches entre la machine et l'homme est aussi analysé en termes économiques et pourra évoluer dans l'avenir au rythme de l'égalisation des conditions de vie dans le monde. Mais, même restreinte aux aspects ergonomiques, cette étude mérite une attention renouvelée. Qui est responsable, qui est coupable en cas d'accident ?

L'émotion et la raison n'utilisent pas toujours les mêmes mots pour décrire des faits parfois d'ailleurs contingents.

En tout état de cause, la formation des ingénieurs qui exerceront le beau métier de concepteurs de machines nouvelles ne saurait omettre cette importante composante : les sciences humaines et sociales. Les responsables des écoles le savent bien ; ils ont adapté les cursus à cette exigence de plus en plus patente.

## **LE GÉNIE INTÉGRÉ**

La sensibilité accrue de nos contemporains à la maîtrise des risques et à la protection de l'environnement a conduit le génie des procédés à adopter un profil de plus en plus « intégré ». On entend par là qu'un processus nouveau doit être défini non seulement en fonction de la plus grande qualité et du plus faible coût du produit visé, mais aussi de la réduction de consommation d'énergie et de matières premières et de l'élimination de sous-produits éventuellement nuisibles. Les entreprises ont une responsabilité éthique. La floraison parfois exubérante des réglementations ne leur permettrait d'ailleurs pas de l'oublier, si elles en éprouvaient la tentation.

Parmi les contraintes en aval d'un processus de production, on peut citer le contrôle de l'air, de l'eau, des sols, le traitement de résidus, la surveillance du transport et du stockage de composés à propriétés suspectes. Le concept de sélection d'un procédé sur les seules bases de son rendement et des conditions économiques directes d'exploitation est révolu. Les exigences nouvelles intégrées peuvent modifier profondément les choix, au profit d'une économie et d'une écologie globale pensées à plus long terme.

## **AUDACE ET PRÉCAUTION**

La médiatisation, enfant du siècle, a pour conséquence une exigence bien naturelle et louable, quoique parfois irraisonnablement exacerbée, du désir d'être informé. Innover ne va