

1949

Année de fondation de l'Institut du Génie Chimique (IGC) à Toulouse, aujourd'hui abrité par l'INP-Ensiacet

1987

Le génie des procédés remplace le génie chimique sous l'impulsion de Jacques Villermaux

3 paradigmes

Bases conceptuelles sur lesquelles s'appuie le génie des procédés

Un pilier de l'usine chi

Le 28 mars prochain, à la Maison de la Chimie, les professionnels du **génie des procédés** réfléchiront à leur **avenir** dans le cadre de la tenue des **Assises nationales** du génie des procédés de la **SFGP**. Un point d'étape pour une discipline encore très jeune dans l'Hexagone, mais qui promet de jouer un rôle essentiel dans la conception d'une usine chimique du futur plus propre, sûre, compétitive, en relation étroite avec les attentes de la société civile.

Par Sylvie Latieule

Science intégrative au confluent de la chimie, de la physique, des mathématiques, mais aussi des sciences de matériaux, de la thermodynamique..., le génie du procédé est une discipline relativement jeune. Sous le nom de génie chimique, elle est apparue en France après la deuxième guerre mondiale, avec la fondation de l'Institut du génie chimique (IGC) à Toulouse en 1949 par le professeur Joseph Cathala (1892-1969). Sa définition de l'époque était la suivante : « *branche spéciale de la chimie qui a pour objet de concevoir, calculer, dessiner, faire fonctionner l'appareillage dans lequel on réalisera une réaction chimique quelconque à l'échelle industrielle* ». Une définition toujours d'actualité que l'on

peut résumer plus simplement en « *art d'imaginer, de dimensionner, de construire et de faire fonctionner une usine* ». Joseph Cathala n'avait cependant rien inventé. En réalité, il proposait une déclinaison française du « *chemical engineering* » qui avait émergé, trente ans plus tôt, en Amérique du Nord et plus précisément au MIT. Est apparu, au début du XX^e siècle, le premier paradigme avec l'idée qu'il fallait découper le procédé en un enchaînement d'opérations élémentaires : transformation chimique, distillation, extraction, séchage, broyage, tamisage... autant d'opérations, dites unitaires, que l'on pouvait dimensionner séparément en vue de construire une usine. La discipline a ensuite conquis d'autres domaines d'applications comme le secteur pétrolier, l'alimentaire ou les biotechnologies. C'est pourquoi on a fini par adopter l'appellation plus large en France de génie de procédés à la place du génie chimique. Ensuite est apparu le deuxième paradigme, correspondant à la prise en compte, dans les années 60, des phénomènes de transfert de matière et d'énergie et du génie de la réaction chimique. Le génie des procédés fait alors de plus en plus appel à la physique et aux mathématiques. Il modélise, simule des réactions et des flux. Tandis qu'au milieu des années 1990, a été introduit le troisième paradigme : l'approche systémique multi échelles qui consiste à considérer l'usine comme un outil intégré dans son environnement prenant en compte des critères sociétaux et environnementaux. Interrogé sur les enjeux du génie des procédés, Nicolas Roche, professeur de génie des procédés





Salle de contrôle de procédés chez Solvay.

« Dans un groupe comme Solvay, les ingénieurs procédés sont « partout ». Ce sont eux qui exploitent l'outil industriel, mais ils travaillent également à l'optimisation des procédés existants et au développement de nouveaux ».

Philippe Krafft, responsable du département Procédé et Technologie au centre de Recherche & Innovation (R&I) de Solvay à Lyons

mique du futur

dés à l'IUT de l'université Aix-Marseille (AMU) et coordinateur du Pôle de recherche interdisciplinaire et intersectoriel « Environnement » d'AMU, attire tout de suite notre attention sur la question sociétale qui est « primordiale pour tout développement industriel et sur la nécessité de systématiquement la prendre en compte dès la mise en place du projet ». Ce que confirme Jean-Pierre Dal Pont, président de la SFGP (société française de génie des procédés) : « J'ai vu grandir tout au long de ma carrière cette question de l'impact qui a été introduite dans les années 60 par Rachel Carlson, auteure de Silence Spring. Une usine n'est pas un objet isolé. Elle doit être intégrée dans la société. » Pour complexifier le tout, cette approche systémique s'applique à toutes les échelles de temps et d'espace, en partant de l'échelle nano jusqu'à l'unité industrielle. Toute la difficulté réside alors dans la réconciliation des échelles. « Comment la connaissance moléculaire peut contribuer à améliorer le procédé industriel », précise Nicolas Roche.

Le génie des procédés a donc considérablement évolué en un laps de temps finalement très court. Pour autant, contrairement à la chimie et la physique qui sont des sciences relativement matures, le génie des procédés promet encore d'importants bouleversements si l'on



Développement de procédé chez IFPEN.

en croit les professionnels du domaine. Réunis au sein de la SFGP, ils ont d'ailleurs décidé en cette année 2017 de faire un point d'étape sur les évolutions récentes et à venir à travers l'organisation d'Assises nationales. Car si la discipline est active, elle doit faire face à des défis importants. Science étroitement associée à l'industrie, elle est le premier témoin du désamour des Français pour leur industrie qui se traduit aussi par une désaffection des jeunes dans les filières de formation conduisant à ces métiers industriels. Aussi, quelle place occupe-t-elle vraiment dans nos parcours de formation et dans l'industrie chimique en France ? Est-elle en mesure de contribuer au projet national « Industrie du futur » ? Peut-on encore espérer des ruptures technologiques dans le domaine du procédé ? InfoChimie magazine a interrogé quelques spécialistes sur les enjeux qui animent aujourd'hui la discipline.

Une matière à champ large

Si le génie des procédés est bien connu de l'industrie chimique, il rencontre cependant un déficit de notoriété et peine à attirer les talents. C'est en tout cas le constat de Christian Jallut de l'université Claude Bernard à Lyon. En cause son côté interdisciplinaire. « Le génie des procédés est à la fois très proche de la chimie, de la physique, mais aussi du génie thermique », a-t-il expliqué lors des Assises régionales Sud-Est du génie des procédés, qui se sont tenues le 8 novembre dans les locaux de l'IFPEN à Solaize (Rhône). Au point que, s'il existe quand même des écoles d'ingénieurs réputées pour leurs formations dans le génie des procédés, dont l'Ensic à Nancy ou l'INP-Ensiacet à Toulouse, il explique qu'il n'est plus fait mention du génie des procédés en licence (même si elle revient au niveau des masters). La discipline est alors considérée ●●●



« Dans cette thématique de l'Industrie du futur, on parle beaucoup d'automatisation, de robotisation, de digital, de lean. Pourtant, l'intensification reste au cœur du sujet ».

Laurent Pichon, directeur du Mepi

●●● comme une mineure, abritée par des cursus de chimie et/ou physique, faisait observer Christian Jallut. Un constat partagé par Claude-Gilles Dussap de Polytech Clermont-Ferrand. « En région PACA et Auvergne-Rhône-Alpes, peu d'unités de recherche affichent le génie des procédés comme activité principale bien que cette discipline soit partagée dans de nombreuses unités de recherche. En revanche, le génie des procédés assure le lien entre différentes disciplines : l'environnement, la pétrochimie, la chimie verte, l'énergie, le génie pharmaco-technique, les solides divisés, la modélisation... », a-t-il expliqué.

Directeur de l'INP-Ensiacet à Toulouse, Laurent Prat a renforcé dans son école d'ingénieurs une vision très métier, au point qu'il n'oppose pas les disciplines de la chimie et du génie des procédés qui s'inscrivent dans un continuum. Côté entreprise, il explique qu'entre l'invention d'une molécule par des chimistes et son arrivée sur le marché, il y a le génie des procédés, science de la mise en œuvre. « Pour assurer cette continuité, il faut intégrer de nombreuses disciplines pour prédire et concevoir des installations, puis pour gérer et agencer les ateliers complexes en conformité avec les réglementations et enfin organiser les projets, le travail, le management de l'innovation... », explique-t-il. En d'autres termes, il estime qu'il y a des métiers relevant du génie des procédés très proches de la chimie et à l'opposé des métiers très proches de l'organisation du travail. C'est ainsi que l'INP-Ensiacet couvre tous les champs des écoles de chimie, de génie des procédés et de génie industriel et forme des ingénieurs avec une vision globale orientée vers le métier plus que vers une discipline particulière.

Dans un groupe comme Solvay, Philippe Krafft, responsable du département Procédé et Technologie au centre de Recherche & Innovation (R&I) à Lyon, confirme que les ingénieurs procédés sont « partout ». Ce sont eux qui exploitent l'outil industriel, mais ils travaillent également à l'optimisation des procédés existants et au développement de nouveaux. « Nous sommes de loin les plus importants en nombre », estime-t-il. Pour autant, il souligne que dans un pays comme la France où l'industrie chimique se

TÉMOIGNAGE

« Le partage des compétences entre chimistes et gens du procédé est un facteur clé de succès »



DR Dominique Horbez, responsable du portefeuille de projets sur les nouveaux procédés au sein de la R&I corporate de Solvay, revient sur la place du génie des procédés.

Dominique Horbez, responsable du portefeuille de projets sur les nouveaux procédés au sein de la R&I corporate de Solvay, revient sur la place du génie des procédés.

Propos recueillis par Sylvie Latieule

Quelle place occupe le génie des procédés chez Solvay ?

D. H. : Dans un groupe comme le nôtre, les compétences en génie des procédés se retrouvent dans tous les maillons de la chaîne : conception, réalisation, exploitation et optimisation des procédés. La conception des procédés, ceux d'aujourd'hui mais aussi ceux de demain, nécessite des compétences pour anticiper et développer les innovations technologiques. On retrouve aussi ces compétences en ingénierie de réalisation, lorsqu'il s'agit de construire de nouvelles unités, puis dans leur exploitation et dans les fonctions support, notamment autour de la sécurité et de la protection de l'environnement. Il faut enfin des compétences en génie des procédés pour l'amélioration continue des procédés, à travers l'assistance technique et l'excellence opérationnelle.

Existe-t-il une communauté des professionnels du génie des procédés chez Solvay ?

D. H. : Il y a plusieurs centaines de collaborateurs qui appartiennent à la famille du procédé au sein du groupe Solvay. Aussi, plutôt que d'organiser un réseau global, nous avons mis en place des réseaux ciblés sur des thématiques précises, par exemple dans le domaine de l'agitation et du mélange, de l'intensification, de l'environnement ou encore de la sécurité des procédés.

Comment cohabitent les ingénieurs chimistes et les ingénieurs procédés ?

D. H. : Lors de la conception de nouveaux produits, il faut faire travailler ensemble des chimistes et des gens du procédé dès l'échelle du laboratoire, pour arriver à définir une chimie et des conditions opératoires où les contraintes d'extrapolation seront bien prises en compte. Chez Solvay, nous avons intégré depuis longtemps dans notre méthodologie de projet un partage des compétences entre chimistes et gens du procédé. C'est un facteur clé de succès dans nos projets.

Quelle place accordez-vous à l'intensification des procédés ?

D. H. : L'intensification des procédés est un domaine très large avec pour objectif de développer des procédés plus compétitifs. À ses débuts, l'intensification était plutôt focalisée sur les réactions et sur l'emploi des micro- ou milli-réacteurs. Aujourd'hui, nous avons une approche plus large de la thématique. On retrouve toujours le domaine des réacteurs, mais on s'intéresse également aux procédés hydrides ou aux technologies multifonctionnelles (échangeurs réacteurs ou distillation réactive) et l'on revisite des sections comme la séparation, à travers, par exemple, le développement de procédés membranaires. Nous travaillons également sur le développement de nouvelles technologies comme les micro-ondes. Chez Solvay, nous avons un certain nombre d'actions de recherche autour de l'intensification des procédés, notamment au niveau de l'initiative que je dirige. Mais le concept d'intensification est aussi une réalité dans nos usines et depuis longtemps. En revanche, nous travaillons au cas par cas. Il faut savoir choisir les bonnes cibles et les bons projets pour justifier de l'intérêt économique de ces technologies intensifiées. •

POUR ALLER PLUS LOIN USINE DU FUTUR VERSUS INDUSTRIE DU FUTUR

Pour retrouver son rang dans la bataille mondiale, gagner en compétitivité, maintenir de l'emploi industriel et améliorer la place de l'homme dans l'usine, la France s'est lancée, sous le quinquennat de François Hollande, le défi de moderniser son industrie. C'est ainsi qu'Arnaud Montebourg, lors de son passage à Bercy, a lancé le plan « Usine

du futur » et les 34 plans industriels pour le développement d'unités industrielles plus compétitives. Remplacé par Emmanuel Macron, ce dernier a voulu imprimer sa marque en développant le concept d'« Industrie du futur ». Au-delà de l'usine du futur, et de la nécessité de produire plus efficacement, son idée est qu'il faut aussi transformer les modèles

d'affaires, les organisations, les modes de conception et de commercialisation. Cela, en donnant une large place au numérique et à un ensemble de technologies complexes (internet des objets, robotisation et automatisation, big data, réalité augmentée, fabrication additive...). Au passage, il a refondu les 34 plans en une dizaine de plans. •

renforce dans les spécialités au détriment des commodités, les fonctions R&D mais aussi marketing et vente reviennent en force, offrant une place plus large à l'ingénieur chimiste. « Dans un business de commodités, ce qui fait la marge, c'est l'optimisation du procédé et des installations. Dans la chimie de spécialités, on est davantage dans le marketing et la recherche de nouvelles fonctionnalités pour la molécule. Reste que pour pouvoir industrialiser des molécules toujours plus complexes, le génie des procédés reste indispensable et doit même continuer à se développer », ajoute-t-il.

Une contribution au programme « Industrie du futur »

Le génie des procédés est donc une discipline complexe qui doit en permanence réfléchir à son positionnement. Avec l'entrée en scène de la thématique de l'« Industrie du futur » (sous l'impulsion d'Emmanuel Macron), c'est un autre type de questionnement qui se présente à elle. Sous cette thématique se cache l'idée qu'une offre technologique nouvelle – la digitalisation de la chaîne de valeur, l'automatisation, le monitoring et contrôle, les composites et les nouveaux matériaux, la fabrication additive et l'efficacité énergétique – pourrait contribuer à améliorer la compétitivité de nos industries. Mais pour tous les sujets autour du numérique, de l'automatisation ou du monitoring, Philippe Krafft (Solvay) n'attend pas de véritable rupture technologique. Il fait valoir le fait que l'industrie chimique est déjà très avancée sur ces sujets : « Depuis les années 80, l'industrie chimique s'est fortement automatisée. Nous utilisons toutes sortes de capteurs qui nous permettent de gérer nos flux et constater des dérives. Dans le futur, nous pensons que les systèmes seront en mesure d'apprendre comment les installations fonctionnent de façon optimale et quelles sont les dérives admissibles ou pas. Mais nous considérons cela comme une évolution, pas comme une rupture technologique car c'est déjà le travail que réalise un bon tableauniste ». Son point de vue est le même sur la modélisation qui a déjà fait d'énormes progrès en 15 ans et qui va continuer

à évoluer à mesure que la puissance de calcul va augmenter, permettant de coupler les phénomènes sur toutes les échelles de grandeurs, du niveau moléculaire à l'opération unitaire. Ses attentes se portent davantage sur les outils d'aide à la conception des unités industrielles. « Les machines vont apprendre comment élaborer un schéma de procédé parfaitement optimisé »,

explique Philippe Krafft. Pour l'instant, l'enchaînement des opérations unitaires et le choix des équipements relèvent encore de la main de l'homme, assisté d'outils d'aide à la conception. C'est un point de vue que partage Nicolas Roche (Aix-Marseille-Université) : « sur le fond, le digital ne change rien. Il

permet juste la gestion d'une multitude d'informations qui peuvent être très rapidement réunies et de façon planétaire ». Ce sera la question du trop plein de données. Les industries de process y sont plus ou moins préparées.

La révolution digitale qui bouleverse le monde du commerce, du transport ou de l'hôtellerie ne serait donc pas de nature à bouleverser les fondamentaux de l'industrie chimique. En revanche, il est un sujet qui fait bien davantage l'unanimité chez les professionnels du génie des procédés, c'est celui de l'intensification, comme le confirme Philippe Krafft qui est tout particulièrement en charge de développer les compétences dans le domaine pour Solvay.

L'intensification, sujet éclipsé, et pourtant...

Éclipsée par la digitalisation, beaucoup plus médiatique, l'intensification reste en effet une des clés pour accéder à des procédés beaucoup plus performants et durables. La Mepi à ●●●



Un rondiste à Lacq contrôle le bon fonctionnement des installations.

●●● Toulouse est l'une des rares plateformes industrielles en France à promouvoir le développement de l'intensification des procédés, avec une spécialité autour de l'usage de réacteurs intensifiés (de l'échelle micro à méso) dans les secteurs de la chimie fine, de la cosmétique et des spécialités.

L'INTENSIFICATION DES PROCÉDÉS EN BREF

L'intensification des procédés consiste, par le développement de méthodes, de techniques et d'appareils adaptés, à concevoir des procédés plus compacts et plus économiques dont la capacité de production est de plusieurs fois supérieure à celle d'un procédé conventionnel. L'intensification s'inscrit dans un contexte de développement durable et répond donc à des enjeux environnementaux, économiques et sociétaux. L'intensification des procédés peut être menée : avec des équipements et réacteurs multifonctionnels (hybridation d'opérations unitaires), avec des réacteurs microstructurés, avec de nouveaux modes opératoires de production, avec des modes utilisant des milieux réactionnels de la chimie verte. •

Source : Techniques de l'ingénieur

« Dans cette thématique de l'Industrie du futur, on parle beaucoup d'automatisation, de robotisation, de digital, de lean. Pourtant, l'intensification reste au cœur du sujet », estime Laurent Pichon, directeur du Mepi. Certes l'intensification est lente à se déployer sur le plan industriel, en particulier en France où l'on manque d'argent pour investir, alors que trop de capacités restent inoccupées. Laurent Pichon se montre pourtant optimiste : « Cela fait un an et demi que l'on commence à observer un décollage et en 2016, le Mepi a réalisé son

meilleur chiffre d'affaires depuis sa création », qu'il explique principalement par le rapatriement d'activités en provenance de contrées exotiques comme la Chine ou l'Inde. Dans la chimie fine en particulier, beaucoup d'activités avaient



L'INP-Ensiacet amène ses étudiants à une vision métier globale.

été délocalisées pour des raisons de coût de main-d'œuvre, mais aussi de dangerosité ou d'impact environnemental des procédés et des produits. Grâce à l'intensification, on peut envisager de réaliser des réactions critiques (par exemple des nitrations ou des hydrogénations) avec des conditions de sécurité optimales. Laurent Pichon explique que l'intensification est maintenant proposée en chimie fine pour faire du « route scouting ». Cela consiste à reconsidérer l'usage de réactions, considérées comme dangereuses dans des procédés batch, pour revisiter des voies de synthèses de principes actifs et réduire le nombre d'étapes. Et donc les coûts de production. Pour ce qui est de l'outil de production, plutôt que d'investir massivement, Laurent Pichon préconise d'utiliser au maximum l'existant. Par exemple, des réacteurs vides peuvent faire office de « nourrices » pour alimenter des mésoréacteurs mobiles que l'on viendrait connecter à l'ensemble. Toutes les étapes de purification et de finition continueraient d'être réalisées dans les installations en place.

Laurent Prat (INP-Ensiacet) va plus loin en nous livrant sa vision de l'industrie chimique de demain. Il anticipe une industrie chimique qui va se partager entre des mégasites intégrés et des petites usines agiles installées au plus près des marchés qui pourraient même être partagés par plusieurs industriels. « Il faudra concilier une industrie capitalistique avec la capacité de déployer des ateliers en moins d'un an dans le respect des attentes sociétales et environnementales », estime-t-il. Au cœur de ces usines de nouvelle génération, le renforcement des liens entre l'ensemble des métiers, l'intensification des procédés et les nouvelles méthodes d'organisation joueront un rôle clé, et les nouvelles technologies issues de l'ère numérique y trouveront leur place. Habitué à fédérer de multiples disciplines, le génie des procédés restera tout indiqué pour accompagner cette nouvelle intégration annonciatrice, cette fois, d'une vraie révolution. •

DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

LA RÉGION AUVERGNE RHÔNE-ALPES SOUTIENT LE GÉNIE DES PROCÉDÉS

En Auvergne Rhône-Alpes, les pouvoirs publics ont parfaitement compris qu'il ne pouvait pas y avoir d'usines sans génie des procédés. C'est ainsi qu'en Rhône-Alpes, l'Agence régionale du développement et de l'innovation (ARDI), créée en 2008 à l'initiative du Conseil Régional et de l'État, a intégré le génie des procédés dans ses priorités. En effet, dans sa stratégie régionale d'innovation, l'ARDI s'était fixé des priorités, à travers l'énoncé de 7 Domaines de spécialisation intelligente (DSI), des grands secteurs d'activité dans lesquels il est pertinent que le territoire mobilise ses efforts. Le DSI-2 porte sur les « Procédés industriels et usine éco-efficente ». En prenant appui sur les compétences rhônalpines fortes

en chimie-environnement, ce DSI-2 doit permettre de construire en Rhône-Alpes une offre globale de compétences, de technologies et de services de haut niveau permettant de répondre aux enjeux de performance de l'industrie. Il s'agit très explicitement d'intervenir dans le cœur de l'usine, sur les procédés et l'organisation industrielle. Avec la redéfinition du périmètre de nos régions, l'ARDI doit fusionner en ce début d'année avec l'ARDE Auvergne. Gageons que le génie des procédés occupera encore une place de choix dans la nouvelle agence avec toujours le même objectif de provoquer un effort de concertation entre les différentes parties prenantes du territoire pour faire émerger des projets et orchestrer un développement économique. •