LE GENIE DES PROCEDES EN FRANCE

Quelles réponses du Génie des Procédés pour un renouveau industriel ?

Livre Blanc

Société Française de Génie des Procédés

- 2017 -

Contenu

Préface du Président de la SFGP 5

Introduction : pourquoi un Livre blanc ? 7

Synthèse des principales propositions issues des Assises Régionales et Nationale du Génie des Procédés 8

Méthodologie des Assises 15

Qu'est-ce que le Génie des Procédés ? 17

Chapitre 1 : La place du génie des procédés dans les formations de l'enseignement supérieur 20

Introduction 20

Les formations dispensées dans les établissements d'enseignement secondaire 21

Les filières universitaires 21

Les instituts universitaires de technologie (IUT) 21

Licences Professionnelles en génie des procédés 23

Licences et masters 26

Formation ingénieurs 29

Visibilité et attractivité du Génie des procédés 32

Conclusion 32

Annexe 1.1 : Programme national DUT Génie Chimique-Génie des procédés 34

Annexe 1.2 : Liste des IUT : formations en GP ou incluant du GP 36

Annexe 1.3 : Enquête sur le devenir des diplômés 2012 et 2013 du DUT Génie Chimique-Génie des Procédés 39

Annexe 1.4 : Parcours type des formations en génie des procédés de niveau Licence-Master 40

Annexe 1.5 : Agrégation en Génie des Procédés 42

Annexe 1.6 : Etablissements de l'enseignement secondaire proposant des formations en génie des procédés 44

Chapitre 2 : La recherche en Génie des Procédés en France 52

Introduction 52

Les équipes et laboratoires de recherche en France 54
Laboratoires de la Région Est 57
Laboratoires de la Région Nord 65
Laboratoires de la Région Ouest 73
Laboratoires de la Région Sud-Est 76
Laboratoires de la Région Sud-Ouest 88
Les Fédérations de recherche 92
Description de certains établissements de recherche à vocation nationale 95
Les Ecoles Doctorales 98
Evolution des thématiques depuis 1991et enjeux actuels 99
Stratégie Nationale de la Recherche : positionnement du Génie des Procédés 100
Conclusion 108
Chapitre 3 : quelques exemples illustrant l'impact du Génie des Procédés sur l'industrie et la société 112
Introduction 112
Industries conventionnelles (chimie, pétrochimie,…) 112
Energie, environnement 113
Agro-ressources 120
Nouvelles filières industrielles (CO_2, bioraffinerie, microalgues, économie circulaire ….) 125
Nouveaux horizons (santé, biotechnologies, nanotechnologies,..) 133
Chapitre 4 : Le Génie des Procédés et l'Usine du Futur .....
Introduction 138
L'usine du futur dans les industries de procédés 138
Conclusion générale 139
Annexe 0 : composition des comités des assises régionales 140
Annexe 1 : Les assises en région Est 141
Annexe 2 : les assises en région Nord 143
Annexe 3 : les assises en région Ouest 145
Annexe 4 : les assises en région Sud-Ouest 148
Annexe 5 : les assises en région Sud-Est 151
Annexe 6 : Discours lors des Assises Nationales 154

Discours d'ouverture Jean-Pierre Dal Pont 154

Discours de M. Sébastien PODEVYN..... 158

Discours M. Le Déaut..... 161

Table ronde « En quoi le Génie des Procédés est-il un acteur du renouveau industriel ? » ….. 164

Discours de clôture M. RICO..... 178

Préface

Ce livre blanc présente le travail de synthèse effectué lors des **Assises du Génie des Procédés**.

Ces Assises ont permis de mieux connaître les utilisateurs de notre discipline et de se faire connaitre par ceux qui l'utilisent sans le savoir. Surtout, elles ont montré que **le Génie des Procédés est une science de l'ingénieur essentielle pour le renouveau industriel.**

Ces Assises s'imposaient vu le contexte économique actuel, vu l'impérieuse nécessité de revoir en profondeur nos méthodes de recherche et développement, nos technologies, nos méthodes de travail pour que nos entreprises soient gagnantes et que la France reste un grand pays Industriel. **Lutter contre la désindustrialisation** et **repenser le tissu industriel** sont des conditions *sine qua non* pour améliorer l'emploi et réduire la dépendance vis-à-vis de l'étranger. La France en a les moyens par la qualité de sa Recherche, les succès de ses filières, ses implantations à l'étranger, sa capacité d'innovation.

Le moment est opportun car notre pays peut utiliser comme levier ce que l'on a l'habitude d'appeler la **Révolution Numérique**, révolution digitale où nous avons de nombreux atouts, ne serait-ce qu'en mathématiques. Cette révolution s'inscrit dans un besoin sans précédent de faire face aux défis de l'eau, de la transition énergétique, de l'alimentation, de la santé, d'un besoin de bien-être auquel des millions de personnes aspirent légitimement. A cette liste déjà longue, il faut ajouter les problèmes liés au changement climatique et à l'environnement, risques mais aussi opportunités de développer une économie circulaire et citoyenne.

Le terme « Génie des Procédés » a été créé il y a une trentaine d'années par le professeur Jacques Villermaux, trop tôt disparu. Il a avancé une vision très simple : les méthodes et concepts du Génie Chimique, traduction française du « Chemical Engineering » américain, à l'origine du développement extraordinaire de la Pétrochimie et de la Chimie au XXème siècle, peuvent s'appliquer à l'ensemble des Industries de transformation de la matière telles que la pharmacie, les industries agro-alimentaires, la métallurgie, la cosmétique ou l'environnement...

Nous définissons le **Génie des Procédés** comme une **discipline d'intégration d'autres sciences** telles que la chimie, la biologie, la physique, les mathématiques, la mécanique, et qui a pour objet l'élaboration de produits finis, le recyclage de produits intermédiaires ou la transformation de ressources énergétiques. C'est une expertise technique clé pour toutes les industries de procédés, dont l'importance économique et sociale est considérable. Par son caractère pluridisciplinaire, c'est aussi une science de l'ingénieur essentielle pour l'étudiant qui veut se projeter dans sa carrière, accompagner les transformations de l'industrie ou répondre aux enjeux sociétaux majeurs.

Le Génie des Procédés est une science en constante évolution : la plus grande efficacité des procédés requiert une connaissance toujours plus fine des mécanismes réactionnels, des données thermodynamiques, des données cinétiques ou de la qualité des transferts de matière et de chaleur. Ces données sont à la base d'une réelle conception de procédé, révélant le fait chimique et minimisant la consommation de matière et d'énergie : on parle alors **d'intensification de procédé**.

Il s'agit bien de développer des **procédés innovants**, de concevoir l'**Usine du Futur**, performante, sûre et mieux intégrée à son environnement : c'est là tout l'enjeu du Génie du Procédé et de son approche systémique mobilisant l'ensemble des acteurs industriels et académiques !

François NICOL
Président de la SFGP

Introduction : pourquoi un Livre blanc ?

Ce livre blanc a pour objectif de partager et de dégager collectivement les évolutions nécessaires à notre discipline en réponse aux enjeux technologiques, énergétiques et environnementaux de demain et aux besoins d'innovation de rupture, en considérant les mutations, notamment numérique, de la société et de l'industrie.

Le Génie des Procédés (GP) est une science de l'ingénieur et une science intégrative, qui se nourrit des autres disciplines scientifiques (chimie, biologie, mathématiques appliqués, mécanique des solides et des fluides, sociologie des organisations, et autres...) pour proposer des solutions contribuant au développement de nouveaux produits, de nouvelles méthodes de production ou de nouvelles technologies dans de nombreux secteurs industriels, à une meilleure gestion des matières premières, de l'eau et de l'énergie et à une réduction des effluents. Ces relations sont essentielles pour répondre aux enjeux industriels et sociétaux dans les domaines de l'alimentation-nutrition, de la chimie, de l'eau, de l'environnement, de l'énergie, de la santé, des villes durables….

Diverses réflexions antérieures telles que la définition en 2015 de la Stratégie Nationale de la Recherche en regard des grands défis sociétaux du XXIème siècle et les programmes d'aide à la ré-industrialisation dans le cadre du Plan d'Investissement d'Avenir ont conduit la Société Française de Génie des Procédés (SFGP) à organiser en 2017 les Assises du Génie des Procédés, près de trente ans après sa création.

Ces Assises Nationales avaient comme objectif de dégager les évolutions nécessaires et les recommandations à notre discipline en interaction avec les mutations de la société et de l'industrie. Elles se sont appuyées sur :

- le bilan des forces en formation et en recherche
- le partage des apports du Génie des Procédés dans différents domaines d'activités industrielles
- l'échange autour des principales évolutions thématiques
- les perspectives de la discipline discutées en région via les Assises régionales

Cette méthodologie sert de base à l'organisation du présent livre blanc.

Synthèse des principales propositions issues des Assises Régionales et Nationale du Génie des Procédés

Formation

1) La discipline est peu ou pas connue dans l'enseignement secondaire. Les interventions dans les lycées sont un moyen pour attirer les futurs bacheliers dans les filières de Génie des Procédés post-bac. Une initiation au génie des procédés semble aussi possible dès le lycée, en particulier pour illustrer les applications industrielles des thématiques déjà enseignées : « temps et évolution chimique : cinétique et catalyse », « structure et transformation de la matière », « Energie, matière et rayonnement ».

Recommandation : a) Mettre en place une agrégation en génie des procédés et former les professeurs de collèges, lycées, primaire

b) Interagir avec l'ONISEP et Intervenir dans les écoles pour faire connaitre la discipline : « la nommer c'est la faire exister »

c) Communiquer sur l'impact sociétal de l'innovation en génie des procédés
d) Développer le lien citoyen / industrie
e) Réaliser un portail internet pour présenter Répertorier les formations existantes en GP

2) Il existe peu de données sur le positionnement du génie des procédés dans les formations au niveau international. Il est donc particulièrement difficile de statuer sur le positionnement international de la France en termes de nombre de diplômés, quel que soit le niveau de formation. Au niveau européen, une enquête pourrait être menée via le réseau European Chemistry Thematic network regroupant des représentants des formations en chimie et génie chimique de 29 pays européens.

Recommandation : Réaliser une cartographie des formations en génie des procédés au niveau international et a minima au niveau européen

3) Il faut poursuivre l'effort pédagogique en cours pour préparer les étudiants à la mutation vers l'industrie du futur, à la gestion de problèmes interdisciplinaires et complexes et à l'évolution des attentes et des besoins en compétences sur le long terme

Recommandations : a) Continuer à développer les liens avec la recherche et l'industrie, pour anticiper l'évolution des métiers
b) Développer les formations innovantes et interactives
c) Développer les actions de formation continue pour former les salariés en poste aux évolutions du génie des procédés
d) Développer l'innovation, la création d'entreprise

e) L'innovation en génie des procédés passe par une étape de modélisation. Il est donc important de s'assurer que les étudiants recrutés dans les formations de niveau master et ingénieur possèdent de très bonnes compétences en mathématiques appliquées.

Recherche

1) Le Génie des Procédés constitue un carrefour de mobilisation de disciplines scientifiques différentes et d'approches à différentes échelles. C'est une science sous contraintes combinant des démarches mixtes « industrial pull » et « scientific push », et une approche mixte « top-down/bottom-up ». L'approche « top-down » nécessitent des développements scientifiques et technologiques amonts, tandis que l'approche « bottom-up » demande des développements méthodologiques pour aborder l'ensemble des aspects nécessaires à un transfert réussi vers le monde socio-économique.

Recommandation : Développer la modélisation multi-échelle pour le scale-up et le scale-down.

2) L'usine et les procédés du futur, quelle que soit leur échelle, devront être innovants, compétitifs, performants, sûrs et attractifs. L'usine devra être créatrice de valeur et d'emplois, connectée avec ses collaborateurs, ses machines de production, ses prestataires, son territoire. L'usine sera conçue pour répondre aux défis économiques, technologiques, organisationnels, environnementaux et sociétaux. Cet engagement du Génie des Procédés pour le développement de l'usine du futur correspond aux enjeux d'une discipline des sciences pour l'ingénieur, pour laquelle les applications industrielles et le développement économique sont la motivation principale.

Recommandations : a) Comprendre et modéliser les mécanismes à toutes les échelles mis en jeu dans les procédés et leurs interactions avec les équipements, de manière à imaginer des procédés flexibles et robustes.

b) Développer la digitalisation de l'usine (modélisation, simulation, capteurs connectés, traitement des données massives).

c) Intensifier les collaborations avec les industriels (grands groupes, PMI-PME).

3) A côté des critères de productivité et de qualité des produits, l'optimisation et l'aide à la décision multicritères doivent prendre en compte d'autres composantes de la valeur comme les impacts environnementaux du procédé (moindre consommation d'énergie, rapprochement au plus près des besoins thermodynamiques des processus élémentaires sans surconsommation; moindre consommation en eau …) et du produit ou encore les services rendus par ces derniers (produits auto-packagés ; résilience et durée de vie ; réparabilité du produit, recyclabilité ou réutilisation en fin de vie ; reconfigurabilité des systèmes de production).

Recommandation : Développer de la modélisation multi-critères pour tenir compte des différents aspects à considérer. L'association de la production, du produit et du service, avec une

notion d'économie de fonctionnalité, doit être un champ d'investigation du GP, avec l'intégration dans la conception de l'outil de production de l'ensemble des contraintes techniques, économiques, environnementales et sociétales : agrégation de compétences et interdisciplinarité des équipes de travail. Assurer le couplage modélisation – optimisation - aide à la décision multi-critères.

4) La protection de l'environnement et l'effort de réduction du coût d'acquisition des ressources en matière et en énergie, dont certaines voient leur disponibilité baisser, conduisent au développement du recyclage et de la réutilisation. La question de l'allongement de la durée de vie des produits grand public est également posée. « La rentabilité des entreprises pourrait s'appuyer sur la minimisation de la fabrication de produits neufs et des coûts d'utilisation, ce qui les rendrait moins dépendantes des disponibilités en matériaux et énergie. La maintenance, la réparation, le recyclage et la réutilisation peuvent-ils devenir la règle (création de la valeur financière) ? La création de circuits courts possibles et rentables permettrait aux entreprises de fabriquer à la demande avec une réactivité et une personnalisation accrues » [1].

Recommandation : Développer le Génie des Procédés au service de la transition écologique et de l'économie durable (recyclage, économie des matières premières, de l'énergie, de l'eau).

5) Le développement de nouveaux vecteurs énergétiques, notamment le solaire concentré, les bioénergies (procédés thermochimiques et biologiques), les piles à combustible et les procédés liés à la production et l'utilisation de l'hydrogène est un axe important du Génie des Procédés. L'énergie est un produit de « masse » pour lequel le changement d'échelle est essentiel, ainsi que l'optimisation de l'ensemble des étapes allant de la ressource au vecteur énergétique. Ces aspects correspondent à des fondements du Génie des Procédés. L'utilisation des ressources énergétiques renouvelables a comme corollaire le problème du stockage, qui peut prendre plusieurs formes, comme la compression d'air, les matériaux à changement de phase et le stockage électrochimique. Le mix énergétique doit être optimisé en fonction de l'usage (transport, bâtiments, usines, villes, territoires) et de la ressource (réseau électrique avec les différentes formes de production et réseau chaleur). L'optimisation doit d'autre part être faite en adaptant la demande à l'offre.

Recommandation : Développer le Génie des Procédés au service de la transition énergétique, en interaction avec l'ensemble des forces scientifiques : Biologie, Chimie, Matériaux, Mécanique, Thermique.

6) Dès la conception d'un produit, il est nécessaire de penser à la valorisation des déchets (suite du point 4), c'est-à-dire de considérer ces déchets comme des nouvelles matières premières, comme une ressource, afin de les réintégrer dans une filière de production (à l'identique pour produire le même produit, ou dans un autre secteur d'activités).

<u>Recommandation</u> : a) Développer une ingénierie globale, intégrant produits et co-produits.
b) Développer les collaborations avec les Sciences Humaines et Sociales (SHS) pour aborder rationnellement l'acceptabilité (par exemple sur l'intégration de matières plastiques recyclés dans les emballages alimentaires) et avec les économistes pour l'optimisation technico-économique (pouvoir choisir la filière de valorisation la plus efficiente). Des modèles plus qualitatifs sont aussi à développer sur des questions, qui relèvent encore d'un travail de recherche en SHS, comme l'acceptabilité sociale ou des critères sociaux (emplois, fatigue au travail, nuisances sonores …).

7) Le développement de capteurs « en ligne » est essentiel pour assurer le contrôle des procédés, pour tenir compte de la variabilité des ressources et de l'adaptation continue des produits aux consommateurs. L'utilisation de réseaux de capteurs est à envisager, ainsi que le couplage entre capteurs et observateurs (capteurs logiciels), basés sur la modélisation dynamique du procédé.

<u>Recommandation</u> : Développer des stratégies de mesure sur des procédés industriels dans des conditions peu appropriées à la mesure. Les stratégies de commande du procédé sont à développer en interaction avec les automaticiens. L'automatisation et les technologies de l'information ouvrent la possibilité de télétravail pour la conduite à distance des procédés. Les interactions homme-machine (cobotique) sont également à développer pour réduire la pénibilité du travail.

8) La modélisation recouvre différents aspects et différents objets. Tout en étant multicritère (voir point 3), elle se doit aussi d'être multi-échelle, du moléculaire au territoire. L'objectif premier visé est celui d'une meilleure compréhension des mécanismes élémentaires sous-jacents du procédé étudié, des interactions entre mécanismes (couplage) voire des mécanismes prédominants en vue d'une simplification éventuelle du modèle/de la conduite du procédé. Ces mécanismes sont ou physiques ou (bio)chimiques ou biologiques et demandent la mobilisation de différentes disciplines. La modélisation demande aussi un interfaçage de la discipline avec les mathématiques appliquées, pour limiter l'augmentation des temps de calcul et rendre l'outil utilisable pour de l'expérimentation *in silico*. L'outil numérique s'apparente à un outil d'aide à la conception du procédé et de la formulation du produit qui serait source d'économies en termes de ressources pour l'industrie. Cet outil peut aussi être vu plus en amont comme un outil d'aide à la formation pour la qualification du personnel intervenant sur les lignes de production (outil de formation, via une interface graphique et des simulations ludiques).

<u>Recommandation</u> : Renforcer les collaborations avec les sciences (bio)chimiques, biologiques, économiques et les mathématiques appliquées pour traiter les aspects couplés économiques, environnementaux et énergétiques.

9) L'alimentation du futur est un véritable un défi environnemental, un objectif humanitaire et une gageure scientifique. Il s'agit de satisfaire les besoins croissants qu'entraîne l'augmentation de la population mondiale en trouvant de nouvelles sources de protéines (algues et champignons microscopiques, insectes, krill …). Face à la nécessité de nouveaux modes de production responsables, d'une meilleure répartition des ressources, de la concurrence entre surfaces agricoles pour l'alimentation et surfaces agricoles pour l'énergie, de nouvelles habitudes de consommation et d'aliments alternatifs d'origine végétale, animale ou minérale doivent être inventées. Les procédés de transformation nécessitent aussi d'être considérablement améliorés pour valoriser l'ensemble des produits pour les applications de l'alimentation et de la santé (nouvelles molécules) tout en minimisant l'impact des traitements technologiques sur la biodisponibilité des biomolécules dans les produits finaux » [1].

Recommandation : Le GP doit développer sa capacité à apporter des réponses technologiques multiples, en tenant compte de la variabilité de la ressource dans le temps et dans l'espace. Les procédés à développer devront être relativement versatiles, avec des moyens de contrôle et de pilotage multiples (voir point 6).

10) La relation entre la biotechnologie et le génie des procédés est résumée dans le « Génie des Systèmes Biologiques », qui recouvre le concept « d'usine cellulaire ». La question à résoudre est de savoir comment contrôler et prédire la production de métabolites d'intérêt par des microorganismes vivants. La modélisation du comportement des microorganismes est un des éléments de rapprochement avec les biologistes, et peut se faire à différentes échelles, suivant différentes approches phénoménologiques voire prédictives (approche de type Génie Métabolique, ou basée sur la Thermodynamique des Processus Irréversibles…). L'un des intérêts de la modélisation est de permettre une optimisation de la production des produits-cibles en orientant le métabolisme par sélection des conditions opératoires (forçage physiologique) ou par modification génétique.

Recommandation : Développer le Génie des Procédés au niveau cellulaire, en particulier le génie de la réaction et la thermodynamique.

11) La relation entre le domaine du vivant et le Génie des Procédés est en plein développement en ce qui concerne l'alimentation et la nutrition, notamment la disponibilité des métabolites. Les organes (estomac, intestin) sont de bien beaux exemples de fonctionnement de réacteurs biologiques, avec des aspects de mélange, de transfert de matière et de cinétique réactionnelle.

Recommandation : Développer le Génie des Procédés du fonctionnement des organes, en particulier le génie de la réaction et la thermodynamique.

12) Le Génie des Procédés n'a pas la seule usine comme lieu d'investigation. Il existe un Génie des Procédés pour les activités artisanales ou domestiques. Cette activité est représentative des équipementiers, qui développent des appareils ménagers, pour lesquels la maîtrise du procédé passe par la gestion de procédés discontinus à petite échelle.

Recommandation : Développer le Génie des Procédés domestique.

13) « La demande forte de sécurité et de production propre est devenue primordiale pour une partie importante de la population. Elle englobe des points de vue très différents et complémentaires. La sûreté des installations et la sécurité et santé au travail suscitent toujours des attentes fortes et non négociables ; ces deux thèmes ne peuvent être négligés. Produire dans un monde où on se sent en sécurité est donc d'une actualité pressante » [1].

Recommandation : Développer le GP lié à l'économie de la sureté.

14) L'interaction entre les apports et les milieux de culture, que ce soit les sols en pleins champs ou en serres, ou encore les milieux nutritifs des cultures hors-sol, constitue un déterminant majeur du développement des espèces cultivées. Une approche de GP est à développer et à enrichir dans ce domaine.

Recommandation : Développer le GP au service des pratiques culturales.

Financement de la Recherche

1) L'une des spécificités de la recherche française est son organisation sous forme de laboratoires, qui pérennise les acquis de la recherche. La mise en place de l'ANR a permis de financer les thématiques prioritaires de l'Etat. Cependant, le ressourcement scientifique des laboratoires nécessiterait des crédits récurrents permettant de faire de la recherche à long terme sans objectif premier de l'application et libre de toutes contraintes, mais pouvant toutefois générer des retombées par la suite; faire de la recherche à long terme, potentiellement de rupture. En d'autre termes un rééquilibrage entre les deux grands mécanismes d'innovation « industrial pull » et « scientific push » est nécessaire.

Recommandation : Encourager l'Etat à financer des développements scientifiques non finalisés et libérés, notamment en donnant des crédits récurrents substantiels aux laboratoires, qui ont été évalués favorablement par l'HCERES.

2) Un enjeu important pour la discipline est le développement des concepts et de la dynamique sur l'usine et les procédés du futur, qui doit être mené en forte interaction entre le monde académique et le monde industriel.

Recommandation : Développer et structurer les relations entre académiques et industriels sous forme de groupes de réflexion de la SFGP ou de structures CNRS, comme les GDR (groupement de recherche) ou les UMI (Unités Mixtes Internationales). La dynamisation de l'animation de ces lieux d'échange devrait permettre à la France d'être plus active au niveau de la participation aux programmes européens.

3) Le problème lié au financement des installations pilotes est également récurrent et spécifique à notre discipline. En effet, dans de nombreux cas, il est nécessaire de valider à une échelle intermédiaire les concepts et procédés développés à l'échelle laboratoire. Cette étape, souvent décrite comme la « vallée de la mort » pour l'innovation entrepreneuriale, est peu prise en compte dans le financement des projets alors qu'elle représente souvent un budget non négligeable. Les financements de l'ADEME contribuent pour partie à franchir cet obstacle dans les domaines des écotechnologies et des bioressources. Pour certains autres secteurs industriels, ont été mis en place les Instituts de Transition Energétique ou les Instituts de Recherche Technologique. Il reste cependant de nombreux secteurs non couverts, en particulier les domaines d'application traditionnels (chimie fine et lourde, pharmacie, …) et émergents (biotechnologie, santé, …) du Génie des Procédés.

Recommandation : Mettre en place des financements pour le passage à l'échelle des pilotes innovants, notamment lorsque cela concerne des applications industrielles dans les PMI-ME.

Communication

1) Malgré l'impact sociétal et industriel du Génie des Procédés, la discipline est peu connue du grand public.

Recommandation : Communiquer vers diverses cibles, en particulier le jeune public, avec des outils adaptés pour chaque cible (vidéos, BD, « kits pédagogique », fiches métiers, MOOC, etc.).

Méthodologie des Assises

Méthodologie et organisation

Les Assises se sont déroulées en deux temps, d'une part des assises régionales (5 grandes régions ont été définies : Nord-Est, Hauts de France-Ile de France-Normandie, Ouest, Sud-Est, Sud-Ouest) durant les mois d'octobre-novembre 2016, suivies des assises nationales à Paris le 28 mars 2017.

Les assises régionales avaient plusieurs missions :

- Faire le bilan des forces de la communauté scientifique du Génie des Procédé en recherche (effectifs chercheurs, enseignants-chercheurs et doctorants des laboratoires de Génie des Procédés ou des équipes de Génie des Procédés au sein de laboratoires de thématiques plus larges) et en formations supérieures post-bac,

- Faire le bilan des interactions avec les autres communautés scientifiques. Les relations peuvent être au minimum de deux types, d'une part les relations avec les laboratoires des autres sciences pour l'ingénieur et d'autre part, les relations avec les autres disciplines, qui souvent se font dans le cadre des domaines applicatifs (agroalimentaire, énergie, environnement...). Ce bilan avait pour objectif de mettre en évidence les spécificités de chacune des régions,

- Faire le bilan des relations avec le tissu industriel et sociétal, qui pourrait être illustré par les contrats directs ou dans le cadre de programmes collaboratifs, des Instituts Carnot, par la création de start-ups, par du transfert de technologie vers le monde industriel, ou par toute autre manifestation de l'apport de notre discipline au niveau industriel et sociétal,

- Rechercher des exemples emblématiques de l'apport de notre discipline,

- Préparer les assises nationales en contribuant à la réflexion sur ce que sera le Génie des Procédés dans les 10 ou 20 ans.

Les assises nationales avaient pour but de faire le bilan sur les assises régionales et d'organiser la réflexion autour des questions suivantes :

- Comment cette discipline contribue-t-elle aux mutations de l'industrie et au renouveau industriel de la France ?

- En quoi est-elle une clé pour le développement d'une production « propre » et « durable »?

- Comment mieux fabriquer les produits de demain ?

- Quels besoins en recherche et en formation pour répondre aux problématiques environnementales et sociétales ?

Organisation

Les assises ont été organisées sous le sous les Hauts patronages du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et du Ministère de l'industrie.

Comité de pilotage

J.-F. Joly, J. Legrand, X. Meyer, M. Sardin (Bureau du Comité Scientifique et Technique de la SFGP)

J. Bertrand (Vice-Président académique de la SFGP), B. Saulnier (Vice-Président industriel de la SFGP)

C.-A. Naudin, M. Poux (Communication SFGP).

Coordinateurs des Assises Régionales

Groupe Est : Laurent Falk (LRGP-CNRS Nancy)

Groupe Nord : Marie Debacq (CMGPCE-CNAM-Paris)

Groupe Ouest : Jack Legrand (GEPEA-Université de Nantes)

Groupe Sud-Est : Jean-François Joly (IFPEN-Solaize)

Groupe Sud-Ouest : Béatrice Biscans (LGC- CNRS Toulouse)

Comité de parrainage

- ANIA, représentée par F. Gorga
- CDEFI
- CEA, représenté par S. Sarrade
- CNRS, représenté par M. Meireles et M.Y. Perrin
- CPU, représentée par F. Lemoine
- FGL, représentée par J.M. Le Lann
- GIFIC, représenté par L. Hélard
- IFPEN, représenté par P.-H. Bigeard
- INRA, représenté par G. Gésan-Guiziou
- IRSTEA, représenté par V. Bellon Maurel
- IFSTTAR, représenté par B. Cazacliu.

Qu'est-ce que le Génie des Procédés ?

Le génie des procédés est une science de l'ingénieur, qui étudie les processus et les procédés de transformation de la matière pour obtenir des produits en optimisant les ressources en matières premières et en énergie. La définition donnée par Jacques Villermaux dans les années 1980, Professeur à l'ENSIC, a servi de base en France à l'évolution du Génie Chimique vers le Génie des Procédés : *« Le génie des procédés de transformation est l'ensemble des connaissances nécessaires pour concevoir, analyser, développer, construire et faire fonctionner d'une manière optimale des procédés dans lesquels la matière change de forme, d'état d'agrégation ou de dispersion, d'état physique ou de propriétés physico-chimiques, de nature chimique. »* . En complément, Le changement de nature chimique peut être obtenu par voie chimique, électrochimique, biochimique et biologique. Le Génie des Procédés est une science du changement d'échelle, du plus petit vers le plus grand ou l'inverse, des objets technologiques. Le Génie des Procédés est une science intégrative qui, développe des méthodes scientifiques théoriques et expérimentales, associant aux échelles de temps et d'espace adéquats, tous les processus élémentaires issus des sciences de base (thermodynamique, chimie, physique, biologie), nécessaires et suffisants pour comprendre, étudier et améliorer la transformation de matières brutes en produits à propriétés contrôlés en tenant compte de l'ensemble de l'environnement dans lequel cette transformation s'effectue (énergie, ressources naturelles, humain, nature, planète…) et des temps de création, de fin de vie et éventuellement de régénération des matières brutes, de l'énergie, des produits et des déchets.

Les enjeux de la discipline sont à la fois industriels et sociétaux. Il s'agit de tendre vers une industrie plus propre, une société zéro déchet et une économie durable.

De manière à être le plus exhaustif possible, nous reprenons ici la définition du Génie des Procédés parue en 2014 dans le rapport « GP2020 » du CNRS-INSIS : « *le Génie des Procédés peut être défini comme une science de l'ingénieur associée à l'étude de la transformation de la matière et de l'énergie, à des fins applicatives ou finalisées. Elle est basée sur l'acquisition de connaissances scientifiques permettant de décrire ces transformations en intégrant l'ensemble des phénomènes et des processus multi-échelles et multi-physiques, et de leurs couplages. Une première caractéristique du GP est qu'il s'intéresse à des objets réels et donc complexes. Cette complexité peut être liée à la géométrie (multiphasique ou multi-structurée), à l'évolution temporelle (milieux réactifs et échange de chaleur et de masse), à des lois de comportement (rhéologiques, processus couplés présentant des effets dynamiques très divers, en présence d'une transformation de la matière). D'autre part, un des piliers du GP tient à sa capacité de développer une approche holistique qui repose sur une analyse des étapes déterminantes en vue de l'élaboration de modèles raisonnés, réduits à leurs paramètres pertinents, pour décrire le comportement de l'ensemble des étapes de la transformation en vue de concevoir, d'étudier, de conduire et d'optimiser des équipements et des procédés complexes physico-chimiques et biologiques de transformation de la matière et de l'énergie en un produit fonctionnel de qualité maîtrisée. Le Génie des Procédés intègre ainsi les compétences conventionnelles du génie chimique par l'étude des processus couplés de transfert de matière, de chaleur et des écoulements, de la cinétique et de la thermodynamique, de la chimie-physique et de la biologie, en considérant les interactions et les interdépendances complexes entre processus aux différentes échelles spatio-temporelles. Cette approche intégrative couvre un vaste domaine dimensionnel de plus en plus*

étendu qui va d'une part, des nano et micro-échelles pour une meilleure prise en compte des phénomènes locaux, y compris en intégrant ou développant des approches très fondamentales de la physique, de la chimie quantique ou de la génomique, vers d'autre part, les grands systèmes, à l'échelle du réacteur de transformation ou de l'équipement de séparation, du procédé, de l'usine, voire du territoire. Le Génie des Procédés, en tant que Science de l'Ingénieur, doit proposer par l'approche scientifique des solutions techniques répondant aux contraintes sociétales des procédés durables, telles que la robustesse et la flexibilité des procédés de transformation, la viabilité économique, la maîtrise de la sécurité et des impacts environnementaux ».

Domaines d'interventions du spécialiste de Génie des Procédés

Les métiers des spécialistes de Génie des Procédés concernent à la fois la recherche et le développement, les bureaux d'études, la production, la gestion des équipements et les activités technico-économiques. Les domaines traditionnels des industries de procédés sont nombreux : Chimie, Matériaux (polymères, métaux, ciments, …), Nucléaire, Pétrole, Energie, Environnement, Pharmacie, Santé, Agroalimentaire… . Sans être de nouveaux domaines, l'investissement du Génie des Procédés s'est accru dans les secteurs de l'industrie automobile (pots catalytiques, piles à combustibles….) et de l'Industrie textile.

Les nouveaux domaines d'intervention de la méthodologie du Génie des Procédés sont la Biotechnologie, où les problèmes d'optimisation multi-critères et d'extrapolation deviennent de plus en plus cruciaux, la bioéconomie (bioraffinerie), l'économie circulaire (réutilisation des co-produits) et l'Exploration spatiale, pour les projets sur le développement des supports-vie dans l'espace.

Le Génie des Procédés en France et à l'International

L'organisation de l'enseignement supérieur et de la recherche est assez spécifique en France, quelle que soit la discipline. Il existe d'abord une double organisation entre enseignement (départements, écoles, facultés) et recherche (laboratoires). D'autre part, plusieurs structures indépendantes les unes des autres sont présentes dans le dispositif, les universités et les grandes écoles, qui en outre dépendent de différents ministères, et les établissements de recherche nationaux (EPST, EPIC). Au niveau de la recherche, la mise en place des unités mixtes de recherche (UMR) a permis de définir des politiques de recherche communes entre ces différentes structures.

C'est avec les « departments of Chemical Engineering » que les formations et les laboratoires français de Génie des Procédés dialoguent et collaborent. Les relations internationales avec le monde entier se sont fortement accrues ces vingt dernières années, tant au niveau de la formations (la plupart des établissements d'enseignement supérieurs ont des accords avec les universités du monde entier, des stages sont obligatoires à l'étranger pour la plupart des écoles, le programme ERASMUS permet la circulation des étudiants en Europe…) que de la recherche au travers des Groupements de Recherche Internationaux et des Laboratoires Internationaux Associés du CNRS, des programmes Européens, des programmes Hubert Curien....

La SFGP, quant à elle, est fortement impliquée dans la Fédération Européenne de Génie Chimique (EFCE). Elle en assure actuellement la Vice-Présidence scientifique et le secrétariat scientifique. Elle est aussi membre du conseil d'administration de l'European Society of Biochemical Engineering Sciences (ESBES) et plusieurs membres de la SFGP président ou co-président des sections scientifiques de l'ESBES. La SFGP est aussi membre du WCEC (World Chemical Engineering Council) et est de ce fait très liée à ses partenaires mondiaux dont les Etats-Unis.

Chapitre 1 : La place du génie des procédés dans les formations du secondaire et de l'enseignement supérieur

Introduction

Les assises du génie des procédés ont été l'occasion d'établir le panorama de l'offre de formation en génie des procédés dans l'enseignement supérieur et de proposer quelques perspectives ou pistes d'évolution. Le dernier bilan datant de 1991 avait été réalisé dans le cadre de la mission décidée par H. Curien, Ministre de la Recherche et de la Technologie et menée par Gibert Gaillard ([1], Rapport Gaillard, 1991). A l'issue de cette mission il était très fortement recommandé de :

- Développer harmonieusement les DEA : création, fédération, augmenter le nombre de thèses
- Reconnaitre le génie des procédés comme une discipline majeure tant à l'université que dans les écoles généralistes, plus encore dans les écoles d'ingénieurs
- Attirer vers l'enseignement du génie des procédés des candidats de bon niveau
- Obtenir plus de cohérence entre les différentes autorités de tutelles pour éviter les suppressions de postes dans le domaine
- Développer les départements de génie chimique dans les IUT

Le rapport qui suit montre que la communauté du génie des procédés s'est emparée de ces objectifs. Ce bilan a été établi à partir des informations issues des assises régionales, mais également à partir de données émanant de la 62ème section du Comité National des Universités (CNU) « Energétique et Génie des Procédés ». Pour cette étude, ont été recensées les formations en génie des procédés et les formations intégrant du génie des procédés.

Les formations dispensées dans les établissements d'enseignement secondaire

Quelques mots sur les filières incluant des enseignements en génie des procédés dans les lycées et en particulier les filières conduisant à un Baccalauréat Professionnel, un Brevet Professionnel ou un Brevet de Technicien Supérieur (BTS).

On trouve 2 filières de niveau Baccalauréat Professionnel et une filière délivrant un Brevet Professionnel (voir annexe A1.5) :

- Baccalauréat Professionnel « Bio-industries de transformation » (61 établissements)
- Baccalauréat Professionnel « Procédés de la Chimie, de l'Eau et des Papiers-Cartons » (PCEPC) (48 établissements)
- Brevet Professionnel des Industries alimentaires (12 établissements)

Au niveau BTS, 4 filières sont en lien avec le génie des procédés :

- BTS Pilotage de procédés (22 établissements)

- BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique (CIRA) (48 établissements)
- BTS Métiers de la Chimie (32 établissements)
- BTS Métiers de l'eau (24 établissements)

Les filières universitaires

Les instituts universitaires de technologie (IUT)

Avec 12 établissements recensés en 2016, le nombre d'Instituts Universitaires de Technologie dans le domaine de génie des procédés a été multiplié par 3 depuis 1991 (tableau 1.1). Les statistiques annuelles du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche (figure 1.1) montrent que le nombre de diplômes délivrés (DUT GCGP) a subi une forte hausse entre 1991 et 1999 puis en 2009. A titre de comparaison, voici les données concernant les informations des DUT dans les domaines voisins (données 2015, source MENSR) :

- Génie thermique et énergie : 822 diplômés par an soit 4,4% des diplômés du secteur productique
- Chimie : 1394 diplômés par an soit 7,5 % des diplômés du secteur productique – 17 instituts incluant du génie des procédés (cf. annexe 1.2)
- Génie biologique : 2815 diplômés par an soit 15,1% des diplômés du secteur productique - 23 instituts incluant du génie des procédés (cf. annexe1. 2)

Tableau 1.1 : Etablissements offrant un DUT en Génie Chimique – Génie des procédés (en gras les établissements existant en 1991)

Université	Institut	Année de création	Option Procédés	Option Bioprocédés	Diplômés
Toulouse III	**IUT Paul Sabatier**	1968	x		84
Lorraine	**IUT de Nancy-Brabois**	1968	x	x	46
Nantes	**IUT de Saint Nazaire**	1971	x	x	36
Claude Bernard Lyon1	**IUT de Lyon1(Villeurbanne)**	1989	x		39
Caen Normandie	IUT de Caen	1993	x	x	31
Rouen	IUT de Rouen (Mont Saint-Aignan)	1995	x		22
Picardie Jules Verne	IUT de l'Aisne (Saint-Quentin)	1996	x		19
Aix Marseille	IUT d'Aix-Marseille	1999	x	x	41
Bretagne Sud	IUT de Lorient (Pontivy)	2001		x	21
Bordeaux	IUT de Périgueux	2003		x	37
Perpignan Via Domitia	IUT de Perpignan (Narbonne)	2005		x	16
Versailles	IUT de Vélizy-Rambouillet	2007		x	18

Le nombre de diplômés de DUT GCGP a connu une légère baisse depuis 2009 passant de 490 à 430 diplômés par an ce qui représente environ 2,5% des diplômés du secteur productique. Ce pourcentage montre une progression entre 1991 et 2013 attestant que la discipline a fait plus que suivre l'essor démographique des bacheliers.

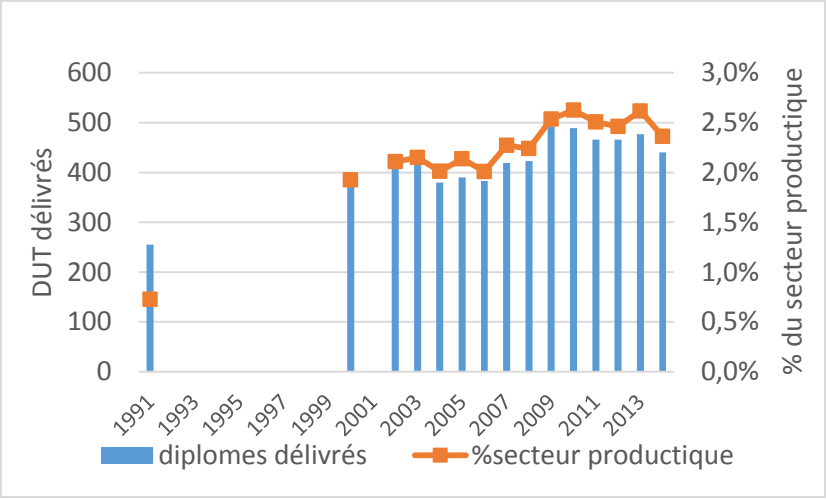


Figure 1.1 : Nombre de diplômes universitaires de technologie (DUT) en génie chimique-génie des procédés - Source : notes d'information du MENESR

Le développement a permis d'avoir un bon maillage du territoire (cf. figure 1.2).

Selon ces mêmes statistiques, en 2015-2016 la filière comptait, toutes options confondues, 1141 étudiants, 74% ayant obtenu un Bac S, 15% un bac STL et moins de 2% un bac professionnel. Le taux de réussite en 2 ans était de 64,9%. D'autres statistiques sur le devenir des diplômés issus de l'enquête 2013 sont données en annexe 3.

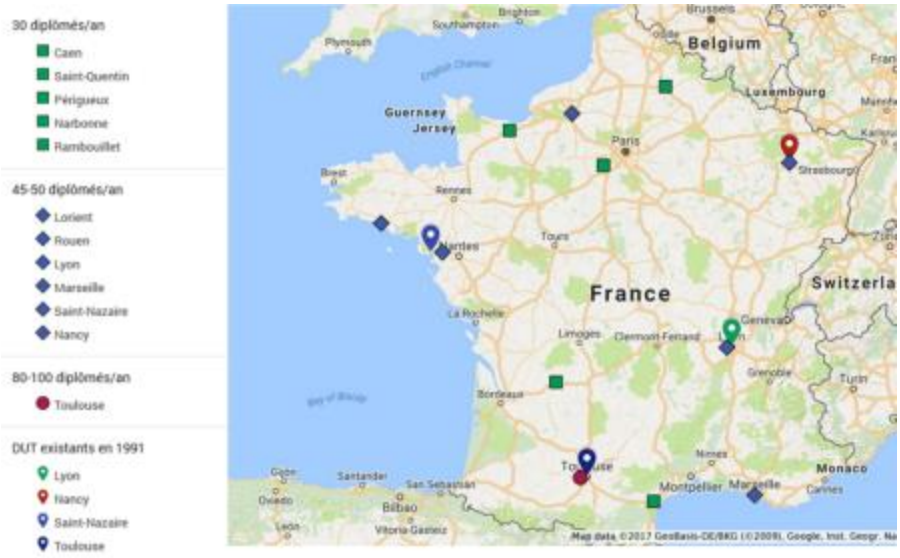


Figure 1.2 : Cartographie des IUT en génie chimique-génie des procédés (situation en1991 et en 2016)

Les compétences attendues du DUT GCGP sont :

- Participer à la conception, à la mise en œuvre et à l'optimisation des procédés industriels de transformation de la matière en produit fini.
- Mettre au point le mode opératoire de fabrication afin d'assurer une production industrielle stable.
- Définir les caractéristiques des procédés, concevoir des installations et dimensionner les appareillages.
- Réaliser les opérations de réaction, de transformation et de purification de la matière ; analyser les résultats obtenus.
- En unité pilote, effectuer les essais et tester les équipements.
- En bureau d'études, dimensionner les appareillages et réaliser les schémas d'installation.
- En production, être responsable de la conduite d'unités et superviser la maintenance des installations.

La sécurité, la protection de l'environnement, le développement durable (recyclage, chimie verte, intégration énergétique, ...) et la qualité sont au cœur des préoccupations du technicien supérieur, quel que soit son domaine d'activité.

Le programme détaillé des études est donné en annexe. Il est fixé par le programme pédagogique national.

D'après l'enquête 2014 d'insertion du MENESR, 89% des diplômés GCGP poursuivent leurs études en licences professionnelles, en classe préparatoire ATS ou en école d'ingénieur.

Licences Professionnelles en génie des procédés

Les licences professionnelles proposent des parcours très spécialisés visant à une insertion professionnelle directe à un niveau bac+3. Parmi les 173 mentions de licence professionnelles fixées par l'arrêté du 27 mai 2014, on trouve quatre mentions relevant du génie des procédés : « Génie des procédés pour l'environnement (GPE)», «Génie des procédés et bioprocédés industriels (GPBI)», « Conception et contrôle des procédés (CCP)» et « Chimie industrielle (CI)». Les mentions « Industries pharmaceutiques, cosmétologiques et de santé : gestion, production et valorisation » (IPCS) et « bio-industries et biotechnologies » proposent également quelques licences professionnelles relevant du génie des procédés. Vingt-sept sites proposent ces mentions de licences professionnelles, la plupart étant adossée à un Institut Universitaire de Technologie. On recense ainsi 33 formations en GP dans les principales mentions relevant du génie des procédés pour un effectif d'environ 500 étudiants, chacune des licences professionnelles accueillant généralement 15 à 30 étudiants. Certaines formations ne sont accessibles que par la voie de l'alternance (alt.).

Tableau 1.2 : Licences Professionnelles en Génie Chimique – Génie des procédés (ne comprend pas les formations des mentions « énergie »)

Université	Etablissement	Intitulé	mention
Aix-Marseille	IUT d'Aix-Marseille	Gestion et contrôle des procédés chimiques (alt.)	Conception et contrôle des procédés
Nantes	IUT de Saint Nazaire	Informatique pour les procédés : Conception, Conduite et gestion	Conception et contrôle des procédés
Lorraine	IUT de Nancy-Brabois	Automatisation, Instrumentation et Conduite des Procédés	Conception et contrôle des procédés
Toulouse	IUT Paul Sabatier	Conception, Pilotage et optimisation Energétique des procédés de la chimie, la pharmacie et l'environnement. (CPOE)	Génie des procédés et bioprocédés industriels
Paris VI	CNAM	Génie des procédés et bioprocédés industriels.	Génie des procédés et bioprocédés industriels
Claude Bernard Lyon1	IUT de Lyon1	Procédés d'élaboration et de Production des solides divisés (PEPS)	Génie des procédés et bioprocédés industriels
Perpignan Via Domitia	IUT de Perpignan	Eco technologie pour la dépollution	Génie des procédés pour l'environnement
Université Toulouse III Centre universitaire J-F. Champollion	CUFR J-F Champollion Albi	Gestion et traitement des eaux, des boues et des déchets	Génie des procédés pour l'environnement
Lorraine	IUT de Nancy-Brabois	Eau : Mesure et Procédés	Génie des procédés pour l'environnement
Picardie Jules Verne	IUT de l'Aisne (Saint-Quentin)	Métiers de l'eau	Génie des procédés pour l'environnement
Poitiers	IUT de Poitiers	Procédés de dépollution et de valorisation	Génie des procédés pour l'environnement
Le Havre	IUT Le Havre	Gestion, traitement des déchets	Génie des procédés pour l'environnement
Aix-Marseille	IUT Aix-Marseille site de Digne	Gestion et optimisation des systèmes de traitement de l'eau	Génie des procédés pour l'environnement
Bretagne Sud	IUT Lorient site de Pontivy	Procédés de traitement et de valorisation des rejets	Génie des procédés pour l'environnement
CNAM	CNAM	Collecte et traitement des eaux usées	Génie des procédés pour l'environnement
Paris-Sud	IUT Orsay	Traitement et analyse de l'eau et des déchets aqueux	Métiers de la protection et de la gestion de l'environnement
Strasbourg	ENGEES	Gestion des eaux urbaines et rurales	Protection de l'environnement

Bourgogne	UFR Sciences Vie Terre et Environnement (Dijon) AgroSup	Traitement des eaux et des déchets	Protection de l'environnement
Savoie Mont-Blanc	UFR Sciences et montagne Le Bourget du Lac	Métiers de la protection et de la gestion de l'environnement	Protection de l'environnement
Limoges	Faculté des Sciences et Techniques Limoges	Métiers de la Protection et de la Gestion de l'Environnement : Traitement des Eaux	Protection de l'environnement
Université de Corse	IUT de Corte	Eau et environnement	Protection de l'environnement
Université de Limoges	IUT du Limousin	Transformation et Valorisation des Ressources Végétales	Bio-Industries et Biotechnologies
Lorraine	IUT de Nancy-Brabois	Génie des procédés pharmaceutiques	Industries pharmaceutiques, cosmétologiques et de santé : gestion, production et valorisation
Caen-Normandie	IUT de Caen	Procédés et technologies pharmaceutiques	Industries pharmaceutiques, cosmétologiques et de santé : gestion, production et valorisation
Bourgogne	UFR Sciences – UFR Sciences de santé	Industries Pharmaceutiques, Cosmétologiques et de Santé : Gestion, Production et Valorisation Parcours Contrôle Procédé Qualité	Industries pharmaceutiques, cosmétologiques et de santé : gestion, production et valorisation
Bordeaux	UFR Sciences Pharmaceutiques	Industries pharmaceutiques, cosmétologiques et de santé : gestion, production et valorisation.	Industries pharmaceutiques, cosmétologiques et de santé : gestion, production et valorisation
Franche-Comté	UFR des Sciences Médicales et Pharmaceutiques Besançon	Industries chimiques et pharmaceutiques Spécialité : Gestion de production dans l'industrie pharmaceutique et cosmétique Université de Franche-Comté	Industries pharmaceutiques, cosmétologiques et de santé : gestion, production et valorisation
Orléans	IUT Orléans	Procédés chimiques et parachimiques	Industries pharmaceutiques, cosmétologiques et de santé : gestion, production et valorisation
Claude Bernard Lyon1	IUT de Lyon1	Chimie et Conduite des Installations de Production (CCIP) (alt)	Chimie industrielle

Claude Bernard Lyon1	IUT de Lyon1	Instrumentation des Installations de Production chimique (IIPC) (alt)	Chimie industrielle
Bordeaux	IUT Périgueux	Procédés d'extraction de biomolécules et leurs applications	Valorisation des agro-ressources
Rouen	IUT Rouen	Sécurité des procédés industriels SPI/alternance	Sécurité des biens et des personnes

Licences et masters

En 2014, le nombre des mentions de licence a été réduit afin de faciliter l'orientation des bacheliers et d'assurer une meilleure lisibilité des formations à la fois pour les étudiants et pour les employeurs. Le passage de 320 intitulés de mentions à 45 fixées par l'arrêté du 22 janvier 2014 a conduit à la disparition des mentions « génie des procédés » ou des domaines proches comme l'«énergétique» et la « thermique ». Les formations en génie des procédés ont donc dû s'organiser dans le cadre de parcours au sein de mentions existantes nuisant gravement à la visibilité du génie des procédés. La discipline reste mal connue et mal identifiée des étudiants.

En ce qui concerne le master, l'arrêté du 4 février 2014 fixant la nomenclature des mentions du diplôme national de master fait état d'une mention « Génie des Procédés et des Bioprocédés », résultat d'une mobilisation forte de la communauté pour défendre la discipline.

Finalement, l'offre de formation et les effectifs en licence et master « génie des procédés » n'a que très peu évolué depuis 1991. Les formations existantes sont recensées dans le tableau 1.3. La plupart de ces établissements délivraient un diplôme d'études approfondies (DEA) en 1991.

Outre la mention « Génie des Procédés et des Bioprocédés », on trouve quelques enseignements en Génie des Procédés dans les mentions « Biotechnologies », « Chimie », « Chimie, physique et analytique », « Energétique – Thermique » et « Sciences et Génie des Matériaux ».

Tableau 1.3 : Etablissements proposant une licence ou un master en génie des procédés

Université	Licence	Master mention « Génie des procédés et des bioprocédés » et parcours	Nombre de diplômés en master
Aix-Marseille	le L1 et L2 Chimie permet de déboucher sur le parcours L3 Chimie Parcours Génie des Procédés	• Ecotechnologies et procédés propres • Génie des Procédés appliqués au Nucléaire, cohabilitée par l'INSTN	
Toulouse III	le L1 et L2 Chimie permet de déboucher sur le parcours L3 Chimie Parcours Procédés Physico-chimiques	• Procédés de Production et Qualité des Produits de Santé (PPQPS) (CMI) - Co-accrédité INP-ENSIACET • Procédés pour la Chimie, l'Environnement et l'Energie (PCE2) (CMI)- Co-accrédité INP-ENSIACET • Membrane Engineering (EM3E) (Erasmus Mundus)	
Claude Bernard Lyon1	le L1 et L2 Physique-Chimie Chimie permet de déboucher sur le parcours L3 Génie des Procédés.	• Génie alimentaire • Génie des procédés et efficacité énergétique industrielle • Génie des procédés physicochimiques	
Paris-Saclay – Mines ParisTech		• Procédés, Energie, Environnement • Procédés, Biotechnologies, Aliments	20 24
Paris-Sorbonne (Paris XIII)	le L1 et L2 Physique-Chimie permet de déboucher sur le parcours L3 Génie des Procédés.	• Génie Procédés Innovants et Développement Durable (GPI2D) • Procédés pour la Qualité de l'Environnement (PQE)	30
Paris VI CNAM		• Ingénierie chimique	80

Grenoble-Alpes	La L3 mention Chimie parcours Génie des Procédés permet de déboucher sur le Master mention Génie des Procédés et des Bioprocédés	• Parcours Génie des procédés pour la formulation • Parcours Génie des procédés pour l'environnement • Parcours Fluides, transferts et procédés avancés • Parcours Génie des procédés pour l'énergie	75
Lorraine		• Génie des Procédés et des Produits Formulés	50 (90 en 1991)
Nantes		• Project management in energy and environnemental engineering • Micro-algea and bioprocess engineering • Project management in fodd engineering	45
Rouen Normandie		• Master Energie, fluide, environnement, métrologie, Optique Parcours « Génie des procédés » • Master gestion de l'environnement, sécurité des procédés industriel et maitrise des risques, parcours « SPIMER « Sécurité des procédés industriels et Maitrise des risques »	10 15
UT Compiègne		• Génie des produits formulés • Génie des procédés de valorisation des ressources renouvelables	40

Formation ingénieurs

La formation de niveau Bac+5 en génie des procédés s'est essentiellement développée dans les écoles d'ingénieurs (tableaux 1.4 et 1.5). La cartographie présentée en figure 1.3 montre que les formations « ingénieurs » en génie des procédés ou incluant du génie des procédés se sont développées entre 1991 et 2016 offrant actuellement un bon maillage du territoire.

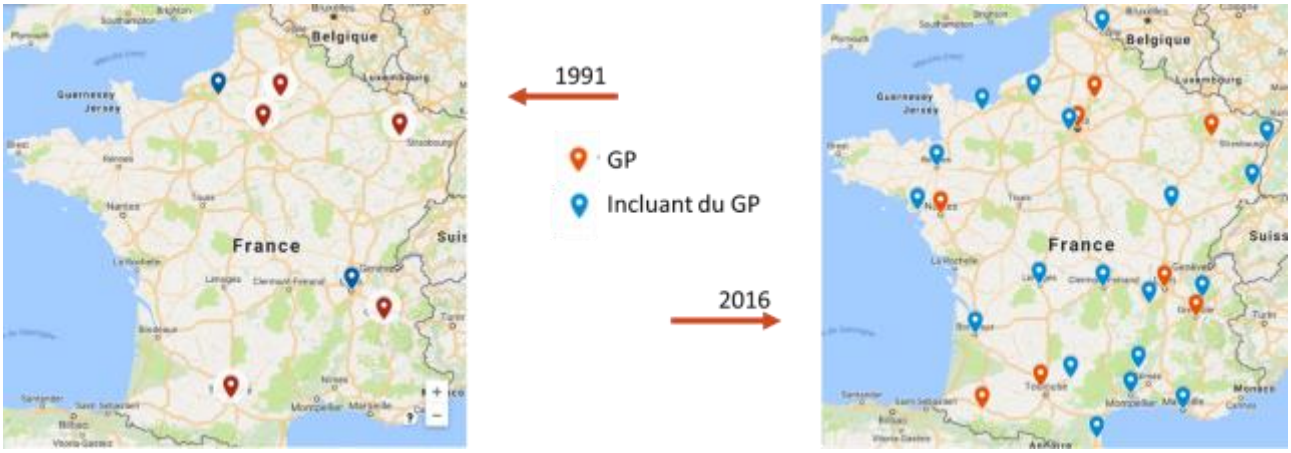


Figure 1.3 : Evolution des formations « ingénieur» en génie des procédés ou incluant du génie des procédés entre 1991 et 2016 (*établissements répertoriés dans le rapport Gaillard, 1991)*

Un état des lieux chiffré est assez difficile à établir car l'offre de formation est souvent très diversifiée, basée sur des choix de modules optionnels qui ne concernent pas tous les étudiants pour une spécialisation progressive (principe des unités capitalisables). Le nombre d'ingénieurs en génie des procédés a suivi cette tendance avec un passage de 380 ingénieurs en génie des procédés diplômés en 1991 à 600 diplômés en 2015 suivant la tendance du nombre d'élèves ingénieurs toutes disciplines confondues qui a doublé dans la période. Mais si l'on intègre les formations incluant des enseignements en génie des procédés, le nombre de diplômés a été multiplié par un facteur 4 entre 1991 et 2015, passant de 650 diplômés à plus de 2700.

Comme le montre la figure 1.4, la période est marquée par la dissémination importante du génie des procédés dans les formations ingénieurs assez diversifiées : écoles de chimie mais également dans les écoles généralistes (Centrales, Polytech, Ecole des Mines,…).

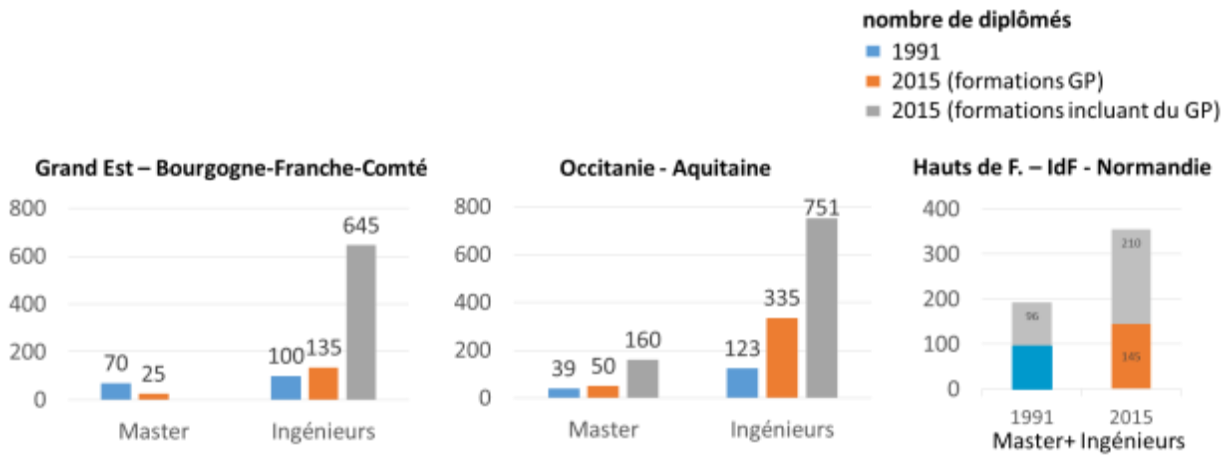


Figure 1.4 : exemple d'évolution des effectifs dans les formations en génie des procédés ou incluant du génie des procédés

Tableau 1.4 : Etablissements proposant une formation ingénieur en génie des procédés - nombre de diplômés en 1991 et en 2015

Formations ingénieurs en génie des procédés	**Ville**	**1991**	**2015**
ENSIC	Nancy	100	140
ENSIGC/ ENSIACET spécialités GC et GP	Toulouse	64	120
ENSGTI Pau	Pau	-	80
INSA GPE	Toulouse	23	54
SupENR	Perpignan	25	40
CNAM	Paris	-	12-15
Université de technologie de Compiègne (UTC)	Compiègne	72	76
Polytech Nantes dpt GPB	Saint Nazaire	-	24
AgroParisTech (ENSIA)	Massy	20	15 (DA GPP)
ESCPE Lyon (ESCIL+ICPI)	Lyon	150	150

Tableau 1.5 : Etablissements proposant une formation ingénieur incluant du génie des procédés – nombre de diplômés en 1991 et en 2015

Etablissements	**Ville**	1991	**2015**
Mines d'Albi (1993)	Albi	-	190
Mines de Saint-Etienne	Saint-Etienne	-	190
AgroSup Dijon	Dijon	-	180
ENSIACET Toulouse spécialités Chimie et Génie industriel	Toulouse	50	120
ENSAIA	Nancy	28	100
Université de la Réunion	Ile de la Réunion	-	100
ECPM	Strasbourg	-	100
ENSCBP Bordeaux INP	Bordeaux	-	96
ENSCMulhouse	Mulhouse	-	80

Etablissements	**Ville**	1991	**2015**
EEIGM	Nancy	-	80
INSA Lyon	Lyon	-	66
PolyTech Marseille	Marseille	-	60
ENSGSI	Nancy	-	60
Polytech Montpellier	Montpellier	-	50
INSA GBA	Toulouse	36	41
Montpellier Sup Agro	Montpellier	-	40
Mines d'Ales	Alès	-	40
PolyTech Marseille	Marseille	-	30
Ecole des Mines de Nancy	Nancy	17	25
Mines ParisTech	Paris	-	50 (DA CDP : 25, DA Biotech : 25)
ChemBioTech Strasbourg	Strasbourg	-	20
Centrale Marseille	Marseille		15
Polytech Annecy-Chambéry	Chambéry	-	15
ENSGéologie	Nancy	11	NC
ENSEM	Nancy	27	NC
Chimie Montpellier	Montpellier	-	NC
ENSCP – parcours GP	Paris	-	10-15
Centrale Paris	Paris	-	NC
EBI -Ecole de Biologie Paris	Paris	-	NC
Escom - Compiègne	Compiègne	-	130
INSA Rouen	Rouen	60	100
IFP school	Paris	-	NC
Ensta	Paris	-	NC
ONIRIS Nantes	Nantes	37 *(ENITIAA)*	104
Institut Mines Télécom Atlantique (Ecole des Mines de Nantes)	Nantes	-	45
Agrocampus Ouest	Rennes	-	185
Ecole de Chimie Rennes	Rennes	-	96
Ecole Nationale Supérieure de Céramique Industrielle	Limoges	-	156
Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Limoges	Limoges	-	
Grenoble INP PAGORA	Grenoble	-	70
Grenoble INP Phelma (filière "Electrochimie et procédés pour l'énergie et l'environnement (EPEE)	Grenoble	-	30
SupENR Perpignan	Perpignan	-	30 (1ère promotion en 2019)
Sigma	Clermont-Ferrand	10	80
Chimie Lille	Lille		80
Polytech Clermont	Clermont-Ferrand		40

L'annexe 1.4 donne le parcours type de formation en Génie des Procédés identifié par le groupe de travail « Formation » de la SFGP (compte-rendu du projet 2012-2021 constitution d'une communauté « Génie des procédés » - UNIT – Université Numérique Ingénierie et Technologie). D'autre part, en 2010, dans le cadre du processus de Bologne, la Fédération Européenne de Génie Chimique (EFCE) a édité des recommandations pour le contenu de ces formations (EFCE Bologna recommendations – recommendations for Chemical Engineering Education in a Bologna Three Cycle Degree System).

Visibilité et attractivité du Génie des procédés

Le Génie des Procédés (« Chemical Engineering »), né aux USA au début du XXe est intrinsèquement « interdisciplinaire ». Cette caractéristique a sans doute été un frein majeur pour son implantation en France où l'approche était plutôt « disciplinaire » alors qu'il connaissait un développement majeur dans les pays anglo-saxons et en Allemagne. Le spectre large des secteurs d'activités concernés par le génie des procédés devrait lui conférer un potentiel d'attractivité important mais cet atout ne suffit clairement pas à faire connaitre et reconnaitre la discipline. La communication auprès des lycéens, des premiers cycles universitaires et du grand public reste difficile et si nous sommes entourés d'objets issus des industries de procédés, les objets dont le Génie des Procédés s'occupe sont les processus de fabrication qui eux ne sont pas familiers.

Pourtant, au regard des programmes de terminale S, l'introduction du génie des procédés semble possible dès le lycée, en ajoutant les bilans matière aux parties déjà existantes :

- « temps et évolution chimique : cinétique et catalyse »,
- « structure et transformation de la matière »,
- « Energie, matière et rayonnement »

La création d'une Agrégation de Sciences Physiques option Procédés Physico-chimique avait pour objectif d'accroitre la visibilité de la discipline. Malheureusement cette belle aventure dont témoigne Christophe Gourdon, Professeur à l'INP-ENSIACET, ne fut que de courte durée (cf. annexe 1.5).

D'autres initiatives sont en cours pour faire connaitre et reconnaitre le génie des procédés : objets multimédia par exemple.

Conclusion

Ce bilan sur la période 1991-2017 des formations en génie des procédés permet d'observer :

- Une augmentation du nombre de diplômés dans la discipline
- Une augmentation du nombre de formations incluant du Génie des Procédés
- Une diversification des domaines d'application avec le développement durable, sécurité et qualité comme thèmes transversaux

Les assises régionales ont permis de montrer que les formations en génie des procédés ont su faire évoluer les contenus et les modes de formation pour s'adapter aux besoins industriels et aux évolutions sociétales et à la diversité des étudiants. Toutes les écoles d'ingénieurs, ont su satisfaire les critères pour être habilitées par la Commission des Titres d'Ingénieurs en termes de contenus pédagogiques, relations partenariales, relations internationales, … Ceci illustre comment le Génie des procédés contribue à former des citoyens capables de faire face aux défis économiques et sociétaux :

- Maitrise des matières premières et de l'énergie,
- Durabilité, intensification,
- Innovations,
- Attentes sociales et sociétales

Un certain nombre de chantiers sont en cours pour préparer nos étudiants à la mutation vers l'industrie du futur, à la gestion de problèmes interdisciplinaires et complexes et à l'évolution des attentes et des besoins en compétences sur le long terme. Cela implique de :

- Développer les formations innovantes et interactives,
- Conforter la communauté UNIT (Université Numérique Ingénierie et Technologie)
- Renforcer l'attractivité auprès des bacheliers et des étudiants de Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles (CPGE) ou de L2,
- Renforcer l'attractivité internationale,
- Continuer à développer les liens avec la recherche et l'industrie,
- Développer les actions de formation continue pour former les salariés en poste aux évolutions du génie des procédés
- Développer l'innovation, la création d'entreprise
- Anticiper l'évolution des métiers
- Préparer nos élèves
    - À la mutation vers l'industrie du futur
    - A la gestion de problèmes interdisciplinaires et complexes
    - A l'évolution des attentes et des méthodes

Mais reste encore un travail important à mener pour faire connaitre et reconnaitre la discipline et attirer les talents. Plusieurs axes de travail sont possibles :

f) Interagir avec l'ONISEP
g) Intervenir dans les écoles pour **faire connaitre la discipline** : « la nommer c'est la faire exister »
h) Communiquer sur l'impact sociétal de **l'innovation en génie des procédés**
i) **Former les professeurs** de collèges, lycées, primaire
j) Introduire des notions de génie des procédés dans les programmes de terminale S
k) (Re)proposer une **agrégation** en génie des procédés
l) Développer le **lien citoyen / industrie**
m) Réaliser un **portail internet** pour :

- Répertorier les formations existantes en GP,
- Référencer les ressources disponibles et des "outils" pour promouvoir le GP (MOOC, …), expliquer ce que c'est, …

Annexe 1.1

Programme national DUT Génie Chimique-Génie des procédés

option procédés

1re année : tronc commun (1 016 h (cours magistraux, TD et TP) + 150 h (projet tutoré).)

- **Bases du génie des procédés :** mécanique des fluides, bilans, initiation aux opérations unitaires, techniques graphiques, matériaux. Volume horaire : 232 h au 1er semestre.

- **Outils scientifiques et communication :** anglais, outils informatiques et scientifiques, expression-communication, découverte des métiers, chimie : atomistique – équilibres, physique électricité électrotechnique, mathématiques (algèbre analyse niveau 1). Volume horaire : 268 h au 1er semestre.

- **Systèmes énergétiques et environnement :** thermodynamique, énergétique, transferts thermiques, opérations solide fluide – environnement, qualité. Volume horaire : 242 h au 2e semestre.

- **Enseignements généraux :** anglais, expression-communication, formalisation du projet personnel et professionnel, chimie (thermochimie, cinétique), chimie organique, physique métrologie instrumentation, mathématiques (algèbre analyse niveau 2). Volume horaire : 274 h au 2nd semestre.

2e année : option procédés (784 h (cours magistraux, TD et TP) + 150 h (projet tutoré))

- **Opérations unitaires du génie des procédés :** transfert de matière – opérations unitaires, techniques séparatives et environnement, dépollution. Volume horaire : 180 h au 3e semestre.

- **Enseignements transversaux :** anglais, communication professionnelle, préparation du parcours post-DUT, chimie analytique, introduction à la vie de l'entreprise, mathématiques appliquées. Volume horaire : 170 h au 3e semestre.

- **Calcul et conduite des procédés :** réacteurs, conduite automatisme régulation, procédés durables (conception et évaluation économique), simulation et conduite des procédés. Volume horaire : 192 h au 3e semestre.

- **Conception et dimensionnement des procédés :** techniques séparatives et environnement, bureau d'études, sécurité des procédés, anglais de spécialité, informatique et programmation, technologie des procédés, industrialisation des procédés chimiques, communication dans les organisations. Volume horaire : 242 h au 4e semestre.

- **Stage professionnel :** 10 semaines minimum.

Certains des modules présentés ci-dessus sont des modules complémentaires proposés à l'étudiant dans le cadre de l'adaptation de son parcours à son projet personnel et professionnel. Chaque IUT peut proposer d'autres modules complémentaires en fonction des spécificités locales.

option Bioprocédés

1re année : tronc commun (1 016 h (cours magistraux, TD et TP) + 150 h (projet tutoré))

- **Bases du génie des procédés :** mécanique des fluides, bilans, initiation aux opérations unitaires, techniques graphiques, matériaux. Volume horaire : 232 h au 1er semestre.

- **Outils scientifiques et communication :** anglais, outils informatiques et scientifiques, expression-communication, découverte des métiers, chimie : atomistique – équilibres, physique électricité électrotechnique, mathématiques (algèbre analyse niveau 1). Volume horaire : 268 h au 1er semestre.

- **Systèmes énergétiques et environnement :** thermodynamique, énergétique, transferts thermiques, opérations solide fluide – environnement, qualité. Volume horaire : 242 h au 2e semestre.

- **Enseignements généraux :** anglais, expression-communication, formalisation du projet personnel et professionnel, chimie (thermochimie, cinétique), chimie organique, physique métrologie instrumentation, mathématiques (algèbre analyse niveau 2). Volume horaire : 274 h au 2e semestre.

2e année : option bioprocédés (784 h (cours magistraux, TD et TP) + 150 h (projet tutoré))

- **Opérations unitaires du génie des procédés :** transfert de matière – opérations unitaires, techniques séparatives et environnement, dépollution. Volume horaire : 186 h au 3e semestre.

- **Enseignements transversaux :** anglais, communication professionnelle, préparation du parcours post-DUT, chimie analytique, introduction à la vie de l'entreprise, mathématiques appliquées. Volume horaire : 170 h au 3e semestre.

- **Biosciences pour les procédés :** microbiologie, chimie et biochimie, énergies alternatives et développement durable, régulation. Volume horaire : 180 h au 3e semestre.

- **Génie des bioprocédés :** réacteurs biologiques et bioprocédés, procédés de stabilisation des bioproduits, anglais de spécialité, microbiologie, bioséparations et purification, sécurité des bioprocédés, communication dans les organisations. Volume horaire : 248 h au 4e semestre.

- **Stage professionnel :** 10 semaines minimum.

Certains des modules présentés ci-dessus sont des modules complémentaires proposés à l'étudiant dans le cadre de l'adaptation de son parcours à son projet personnel et professionnel. Chaque IUT peut proposer d'autres modules complémentaires en fonction des spécificités locales.

Annexe 1.2

Liste des IUT : formations en GP ou incluant du GP

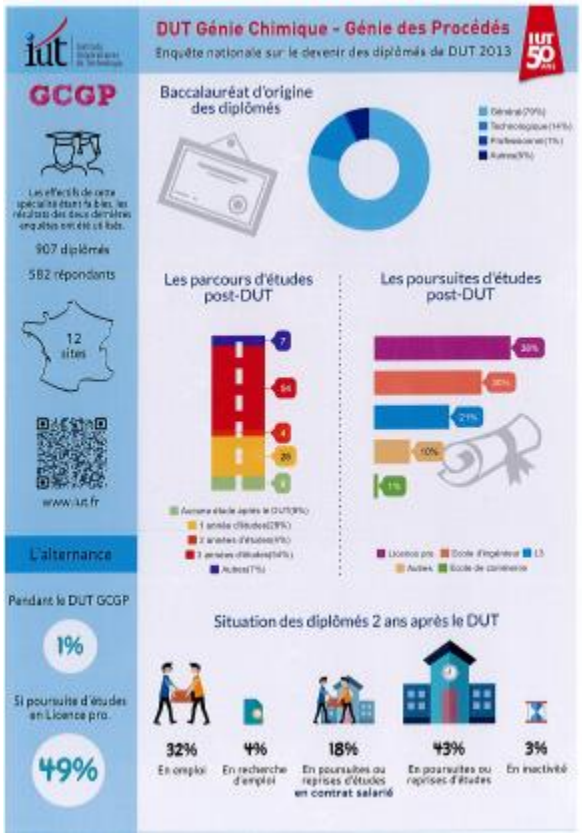
Département	Ville	Niveau	Intitulé/Option/Filière	Formation	Site internet
02	Saint Quentin	DUT	Génie Chimique - Génie des Procédés	Formation en Génie des Procédés	www.iut-aisne.fr
13	Marseille	DUT	Génie Chimique - Génie des Procédés	Formation en Génie des Procédés	iut.univ-amu.fr/
14	Caen	DUT	Génie Chimique - Génie des Procédés	Formation en Génie des Procédés	www.iutcaen.unicaen.fr/
24	Périgueux	DUT	Génie Chimique - Génie des Procédés	Formation en Génie des Procédés	www.perigueux.u-bordeaux4.fr/iut/
31	Toulouse	DUT	Génie Chimique - Génie des Procédés	Formation en Génie des Procédés	iut.ups-tlse.fr
44	Saint Nazaire	DUT	Génie Chimique - Génie des Procédés	Formation en Génie des Procédés	www.iutsn.univ-nantes.fr/
54	Nancy	DUT	Génie Chimique - Génie des Procédés	Formation en Génie des Procédés	www.iutnb.uhp-nancy.fr
56	Pontivy	DUT	Génie Chimique - Génie des Procédés	Formation en Génie des Procédés	www-iutlorient.univ-ubs.fr
66	Narbonne	DUT	Génie Chimique - Génie des Procédés	Formation en Génie des Procédés	www.iut-perpignan.fr
69	Lyon	DUT	Génie Chimique - Génie des Procédés	Formation en Génie des Procédés	iut.univ-lyon1.fr/
76	Rouen	DUT	Génie Chimique - Génie des Procédés	Formation en Génie des Procédés	www.univ-rouen.fr/iutrouen
78	Rambouillet	DUT	Génie Chimique - Génie des Procédés	Formation en Génie des Procédés	www.iut-velizy.uvsq.fr
80	Amiens	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iut-amiens.fr
49	Angers	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iut.univ-angers.fr
84	Avignon	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iut.univ-avignon.fr
14	Caen	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iutcaen.unicaen.fr/
62	Boulogne	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	iutcalais.univ-littoral.fr/
20	Corte	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	iut.univ-corse.fr
94	Créteil	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	iut.u-pec.fr

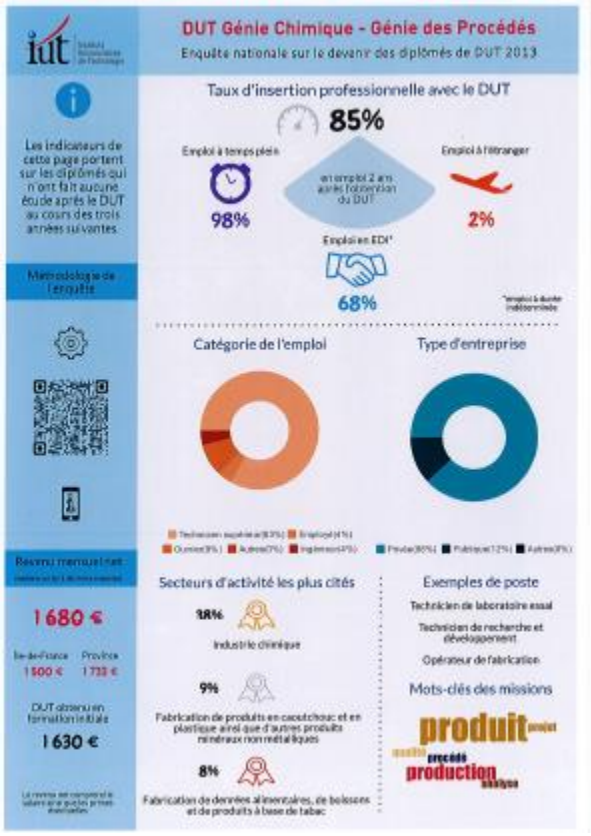
21	Dijon	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	utdijon.u-bourgogne.fr
27	Evreux	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.univ-rouen.fr/iutevreux
97	St Pierre	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iut-lareunion.fr/
17	La Rochelle	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iut-larochelle.fr
59	Lille	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iut.univ-lille1.fr
87	Limoges	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iut.unilim.fr
69	Bourg en Bresse	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	iut.univ-lyon1.fr/
34	Montpellier	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iutmontp.univ-montp2.fr/
54	Nancy	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iutnb.uhp-nancy.fr
64	Pau	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iut-adour.univ-pau.fr
24	Périgueux	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.perigueux.u-bordeaux4.fr/iut/
29	Quimper	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.univ-brest.fr/iutquimp/
67	Schiltigheim	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iut-lps.fr
32	Auch	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	iut.ups-tlse.fr
22	Saint-Brieuc	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iutsb.univ-rennes1.fr
57	Yutz	DUT	Génie Biologique (option IAB)	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iut-thionville-yutz.univ-lorraine.fr/
59	Lille	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iut.univ-lille1.fr
13	Marseille	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	iut.univ-amu.fr/

25	Besançon	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	iut-bv.univ-fcomte.fr/
38	Grenoble	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	iut1.ujf-grenoble.fr
43	Puy en Velay	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iut.u-clermont1.fr
62	Béthune	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iutbethune.org
72	Le Mans	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	iut.univ-lemans.fr
94	Vitry	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	iut.u-pec.fr
69	Lyon	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	iut.univ-lyon1.fr/
34	Montpellier	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iutmontp.univ-montp2.fr/
45	Orléans	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	www.univ-orleans.fr/iut-orleans/
86	Poitiers	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	iutp.univ-poitiers.fr
35	Rennes	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	iut-rennes.univ-rennes1.fr
76	Rouen	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	www.univ-rouen.fr/iutrouen
67	Illkirch	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	iutrs.unistra.fr
31	Castres	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	iut.ups-tlse.fr
57	Saint-Avold	DUT	Chimie	Formation incluant du Génie des Procédés	www.iut-moselle-est.univ-lorraine.fr/

Annexe 1.3

Enquête sur le devenir des diplômés 2012 et 2013 du DUT Génie Chimique-Génie des Procédés





Annexe 1.4

Parcours type des formations en génie des procédés de niveau Licence-Master

Le parcours type de formation en Génie des Procédés identifié par le groupe de travail Formation de la SFGP (compte-rendu du projet 2012-2021 constitution d'une communauté « Génie des procédés » - fonction UNIT – Université Numérique Ingénierie et Technologie) est constitué d'un tronc commun de 180 crédits ECTS, comprenant l'ensemble des enseignements de base mis en œuvre dans les centres de formation en France aux niveaux L1 à M1, complété par un parcours de spécialisation dans différents domaines, de 120 crédits ECTS, et correspondant à des niveaux M1 & M2.

Tronc Commun : 180 Crédits ECTS

- Fondamentaux du GP :
    - Thermodynamique,
    - Mécanique des Fluides,
    - Transferts & Transports & Applications,
    - Cinétique,
    - Chimie Minérale, Organique, Physico-Chimie, Analytique…
- Ingénierie des Procédés
    - Génie de la Réaction Chimique,
    - Génie des Séparations,
    - Opérations Unitaires,
    - Conception & Optimisations des Procédés
- Sciences de l'Ingénieur
    - Infos & Méthodes Numériques,
    - HSE, SMH
    - Langues

Parcours de spécialisation : 120 Crédits ECTS (dont 30 crédits de stage industriel)

- Energie et Procédés
    - Durabilité des Procédés,
    - Procédés & Energies,
    - Intensification des Procédés,
    - Simulation & Optimisation
    - Réacteurs & Séparations Polyphasiques,
- Génie des Produits
    - Définitions, méthodes
    - Produits micro & nano-structurés,
    - Produits de spécialité
    - Propriétés et qualités des produits,
    - Innovation
- Génie des Procédés Biotechnologiques
    - Sciences biologiques,
    - Biocatalyseurs et bioréacteurs,
    - Bioséparations
    - Productions biotechnologiques,

    - Procédés Industriels
- Génie Industriel pour les Procédés
    - Gestion de projets, Logistique,
    - Management de l'Innovation,
    - Opérabilité, Productique, Pilotage
    - ACV

Cet ensemble tronc commun et parcours type ne fait pas apparaitre les prérequis classiquement identifiés pour ces formations : mathématiques, méthodes numériques, informatique, chimie minérale, chimie organique, physico-chimie, chimie analytique, langues, gestion de projet, finances, sciences managériales et humaines…

En 2010, la Fédération Européenne de Génie Chimique (EFCE) a édité des recommandations dans le cadre du processus de Bologne (EFCE Bologna recommendations – recommendations for Chemical Engineering Education in a Bologna Three Cycle Degree System).

Annexe 1.5

Agrégation en Génie des Procédés

(Témoignage de C. Gourdon, professeur INP-ENSIACET)

Il y a 20 ans naissait l'Agrégation de Sciences Physiques, option Procédés physico-chimiques (Arrêté du 4 septembre 1997, JORF n°227, 1997). C'était d'une part une forme de consécration du Génie des Procédés, discipline désormais reconnue dans la droite filiation des Sciences Physiques et d'autre part la récompense de tous les efforts déployés par Gilles Muratet, alors professeur à l'Université Paris XIII et par Bernard Decomps, alors directeur de l'ENS Cachan. L'aventure de l'Agrégation en Génie des Procédés pouvait enfin commencer ! Cette aventure n'a hélas duré que 5 ans, le Ministère de l'Education Nationale, de la Recherche et de la Technologie jugeant bon d'arrêter le processus du concours durant l'année universitaire 2004-2005, sans doute pour des raisons budgétaires. Et pourtant, ce n'était pas faute d'un manque de mobilisation de toute notre communauté ou de qualité des lauréats agrégés. Jugeons un peu.

Le Concours d'Agrégation consistait classiquement en des épreuves écrites et des épreuves orales. Au menu de l'écrit, on trouvait une Composition de physique de 5 h (Physique ; États de la matière et thermodynamique ; Mécanique des fluides et phénomènes de transport), une Composition de modélisation et commande de procédés de 5h (Opérations unitaires ; Réacteurs chimiques ; Contrôle, régulation et automatique ; Modélisation, simulation et optimisation), un Problème de chimie, génie chimique et de procédés physico-chimiques de 6h (Chimie ; États de la matière et thermodynamique ; Mécanique des fluides et phénomènes de transport ; Réacteurs chimiques ; Opérations unitaires). Les épreuves orales consistaient en une Leçon de génie chimique et de procédés physico-chimiques, de modélisation et de commande, une Leçon de physique, un Montage de génie chimique et de procédés physico-chimiques, de modélisation et de commande. Dans cette dernière épreuve il était demandé au candidat de démontrer son aptitude à utiliser une unité pilote de génie des procédés aussi bien pour analyser son fonctionnement (étude d'un mécanisme d'engorgement ou d'un transfert de chaleur, par exemple) que pour en automatiser la conduite, sans oublier les questions de sécurité et de respect de l'environnement associés à la mise en œuvre du pilote. Les oraux du Concours se tenaient au Lycée L'Escaut à Valenciennes qui mettait à disposition des candidats et du jury son vaste et magnifique hall de génie des procédés. Le jury était composé d'experts issus de la communauté nationale du génie des procédés (Nancy, Toulouse, Lyon, Paris, Nantes- St Nazaire …) mais aussi de collègues physiciens et chimistes.

Qui dit Concours, dit simultanément préparation au Concours.

Deux sites ont répondu présents : l'ENS Cachan et l'Université Paul Sabatier (UPS) à Toulouse.

A l'UPS, ce sont nos collègues Christelle Causserand, Patrice Bacchin et Jean-Christophe Rémigy qui se sont mobilisés dès 1999, en ouvrant la formation à une douzaine d'agrégatifs. Le succès de cette préparation toulousaine ne s'est pas démenti ensuite.

A l'ENS Cachan, c'est Valérie Prévost, qui avait été recrutée en tant que maitre de conférences sur un poste affiché en 62ème section du Conseil National des Universités (Génie des Procédés, Thermique et Energétique), avec pour missions de créer le cursus de l'année préparatoire au Concours, hébergée à l'Ecole des Mines de Paris (EMP) et cohabilitée ENS Cachan, ENS, Mines de Paris, et d'accompagner sous la responsabilité de Patrice Nortier, alors professeur à l'EMP, les premiers étudiants inscrits à la préparation du Concours. Par la suite, Patrice Nortier partant, Christophe Gourdon, alors professeur à l'INP-ENSIACET de Toulouse, a rejoint Valérie en ayant été mis à disposition à l'ENS Cachan, en 2000 pour une durée de 5 ans, et rattaché au Département Chimie, qui était dirigé à l'époque par Jacques Delaire. Quatre missions lui avaient été assignées :

- Responsabilité de l'année préparatoire (correspondant à la 3ème A de l'ENS Cachan) au Concours d'Agrégation de Sciences Physiques, option procédés physico-chimiques ;
- Mise en place du Concours d'entrée à cette année préparatoire ;
- Création d'un module d'initiation au Génie des Procédés au sein de la filière industrielle du Magistère Physico-chimie Moléculaire du Département de Chimie de l'ENS Cachan ;
- Montage d'une formation de Magistère en Génie des Procédés : élaboration d'un syllabus sur 2 ans, en commun avec l'INPT et l'UPS à Toulouse, destiné à former au Génie des Procédés des étudiants normaliens entrés en 1ère A à l'ENS Cachan sur concours CPGE.

Le bilan sur 5 ans de cette préparation à l'ENS Cachan : 40 étudiants pour un résultat de 38 reçus (1 échec, 1 abandon), le major chaque année étant issu de cette préparation. En revanche, la fermeture brutale du Concours a mis fin au Magistère de Génie des Procédés, qui n'a jamais eu la possibilité de démarrer.

Au final, tous les participants à cette belle aventure retiennent de cette expérience à la fois une grande satisfaction et une certaine amertume face à cette fermeture brutale du Concours, qui a annulé de facto tous les efforts déployés pour attirer les jeunes normaliens au Génie des Procédés. Néanmoins, les jeunes agrégés, en poste actuellement dans divers établissements (CPGE, IUT, Ecoles …) sont les fervents défenseurs d'une éducation de haut niveau ancrée dans la réalité industrielle, ce qui nous paraissait et nous parait toujours être le garant d'une formation adaptée aux grands défis qui attendent nos étudiants.

Annexe 1.6

Etablissements de l'enseignement secondaire proposant des formations en génie des procédés

Tableau A1.1 Liste des établissements proposant un Baccalauréat professionnel Bio-industries de transformation

Nom d'établissement	Commune
CFA agricole de la Gironde	Blanquefort
CFA agricole des Pyrénées-Atlantiques	Hasparren
CFA agricole du Gers	Pavie
CFA agroalimentaire	Mamirolle
CFA agroalimentaire	Poligny
CFA de l'IFRIA - Site de Pavie	Pavie
CFA de Seine-Maritime - NaturaPOLE	Yvetot
CFPPA de La Roche sur Foron - ENILV	La Roche-sur-Foron
CFPPA Les Sardières	Bourg-en-Bresse
Ecole nationale de l'industrie laitière agroalimentaire - Lycée de l'alimentation	Surgères
Ecole nationale des industries du lait et des viandes - LEGTA	La Roche-sur-Foron
Ecole nationale d'industrie laitière et des biotechnologies	Poligny
Groupe Antoine de Saint-Exupéry - site Pier Giorgio Frassati	Rennes
LEGTA d'Auch, Beaulieu et Lavacant - site de Lavacant	Pavie
LEGTA Jules Rieffel	Saint-Herblain
LEGTA La Peyrouse	Coulounieix-Chamiers
LEGTA Le Gros Chêne	Pontivy
LEGTA - lycée agricole et agroalimentaire Campus des Sicaudières	Bressuire
Lycée agricole	Plombières-lès-Dijon
Lycée agricole de la Meuse (Site de Bar-le-Duc)	Bar-le-Duc
Lycée agricole des 3 chênes	Le Quesnoy
Lycée agricole du Balcon des Ardennes	Saint-Laurent
Lycée agricole du Pflixbourg	Wintzenheim
Lycée agricole et agroalimentaire	Yvetot
Lycée agricole et agroalimentaire André Paillot	Saint-Genis-Laval
Lycée agricole Les Sardières	Bourg-en-Bresse

Lycée agricole Le Valentin	Bourg-lès-Valence
Lycée agricole Saint-Lô Thère	Le Hommet-d'Arthenay
Lycée d'enseignement agricole privé Sainte-Colette	Corbie
Lycée d'enseignement agricole privé Sainte-Croix	Cambrai
Lycée d'enseignement général et technologique agricole Beauregard	Villefranche-de-Rouergue
Lycée d'enseignement général et technologique agricole de Chartres	Sours
Lycée Henri Vincenot	Louhans
Lycée Jean Errecart	Saint-Palais
Lycée le Puits de l'Aune	Feurs
Lycée polyvalent Blaise Pascal - Section d'enseignement professionnel	Colmar
Lycée Polyvalent Les Lombards	Troyes
Lycée polyvalent Václav Havel	Bègles
Lycée professionnel agricole du Robert	Le Robert
Lycée professionnel agricole et horticole	Saint-Joseph
Lycée professionnel agricole Honoré de Balzac	Castelnau-le-Lez
Lycée professionnel agricole Louis Mallet	Saint-Flour
Lycée professionnel Aristide Briand	Schiltigheim
Lycée professionnel Borde Basse	Castres
Lycée professionnel Claude Daunot	Nancy
Lycée professionnel Fred Scamaroni	Bastia
Lycée professionnel industriel Mireille Grenet	Compiègne
Lycée professionnel Jacques-Yves Cousteau	Wasquehal
Lycée professionnel le Chatelier	Marseille
Lycée professionnel Maurice Viollette	Dreux
Lycée professionnel Nicolas-Louis Vauquelin	Paris
Lycée professionnel Orion	Evron
Lycée professionnel privé Marc Seguin	Annonay
Maison familiale rurale de la Vallée du Lot	Castelmoron-sur-Lot
Maison familiale rurale de Moirans	Moirans
Maison familiale rurale la Denoves	Monteux

Maison familiale rurale Tours Val-de-Loire	Tours
Section d'enseignement professionnel du lycée Geneviève Vincent	Commentry
Section d'enseignement professionnel du lycée Joseph Pernock	Le Lorrain
Section d'enseignement professionnel du lycée Napoléon	L'Aigle
Section d'enseignement professionnel du lycée Saint Paul IV	Saint-Paul

Tableau A1.2 Liste des établissements proposant un Baccalauréat professionnel PCEPC

Nom d'établissement	**Commune**
CFA Agricole du Gard	Rodilhan
CFA CIPECMA	Châtelaillon-Plage
CFA de la CCIT du 04	Manosque
CFA papetier	Gérardmer
Icam site de Nantes - Institut Catholique d'Arts et Métiers - Groupe Icam	Carquefou
Lycée de Pouembout	Pouembout
Lycée des métiers entre Meurthe-et-Sânon	Dombasle-sur-Meurthe
Lycée des métiers Sud-Périgord Hélène Duc	Bergerac
Lycée Jean-Baptiste Dumas (voie professionnelle)	Alès
Lycée Lavoisier	Porcheville
Lycée Paul Emile Victor	Obernai
Lycée Pierre-Gilles de Gennes	Cosne-Cours-sur-Loire
Lycée polyvalent Lama-Prévot	Rémire-Montjoly
Lycée polyvalent Laurent de Lavoisier - Section d'enseignement professionnel	Mulhouse
Lycée polyvalent Léonard de Vinci	Calais
Lycée professionnel Diderot	Lyon
Lycée professionnel Heinlex	Saint-Nazaire
Lycée professionnel industriel Mireille Grenet	Compiègne
Lycée professionnel Jacques-Yves Cousteau	Wasquehal
Lycée professionnel Joseph-Marie Jacquard	Lavelanet
Lycée professionnel le Chatelier	Marseille
Lycée professionnel Louis Armand	Chambéry
Lycée professionnel Marcel Dassault	Mérignac
Lycée professionnel Nicolas-Louis Vauquelin	Paris
Lycée professionnel Pierre et Marie Curie	Mourenx
Lycée professionnel Pierre Latécoère	Istres
Lycée professionnel privé François Verguin	Le Péage-de-Roussillon
Lycée professionnel privé Saint-André	Le Teil
Lycée professionnel privé Saint-Félix - La Salle	Nantes

Lycée professionnel Raoul Dautry	Limoges
Lycée professionnel Sainte-Marie	Bagnols-sur-Cèze
Lycée professionnel Sauxmarais	Cherbourg-en-Cotentin
Lycée professionnel Schuman Perret	Le Havre
Lycée technologique et professionnel Les Ardilliers	Saumur
Section d'enseignement professionnel du LPO Déodat de Séverac	Toulouse
Section d'enseignement professionnel du lycée	Mauriac
Section d'enseignement professionnel du lycée André Argouges	Grenoble
Section d'enseignement professionnel du lycée Blaise Cendrars	Sevran
Section d'enseignement professionnel du lycée des métiers des technologies innovantes Charles Jully	Saint-Avold
Section d'enseignement professionnel du lycée Joseph Pernock	Le Lorrain
Section d'enseignement professionnel du Lycée polyvalent Lama-Prévot	Rémire-Montjoly
Section d'enseignement professionnel du lycée polyvalent Saint-Jacques de Compostelle	Poitiers
Section d'enseignement professionnel du lycée Saint Paul IV	Saint-Paul
Section professionnelle du lycée Jacques Duhamel	Dole
SEP du lycée Ferdinand Buisson	Elbeuf
SEP du lycée Galilée	Franqueville-Saint-Pierre
UFA Latécoère	Istres
UFA Schuman - Perret	Le Havre

Tableau A1.3 Liste des établissements proposant un Brevet Professionnel Industries Alimentaires

Nom d'établissement	**Commune**
CFAA de l'Aveyron - site de Rodez La Roque	Rodez
CFA agricole de la Dordogne	Coulounieix-Chamiers
CFA agricole de la meunerie, des industries céréalières, laitières et alimentaires	Surgères
CFA agroalimentaire	Mamirolle
CFA IFRIA Bretagne (Ecole des Métiers de l'Alimentation)	Vitré
CFPPA de Vaucluse	Carpentras
CFPPA - UFA du Paraclet	Cottenchy
IFRIA Auvergne - CFA des industries alimentaires	Cournon-d'Auvergne
LEGTA Le Gros Chêne	Pontivy
Lycée Douai - Bio Tech'	Douai
Lycée polyvalent privé Saint-Joseph	Saint-Martin-Boulogne
UFA d'Aix-Valabre du CFA régional PACA	Gardanne

Tableau A1.4 Liste des établissements proposant un BTS Pilotage de procédés

Nom d'établissement	Ville
Centre AFPI	Hénin-Beaumont
CFA CIPECMA	Châtelaillon-Plage
CFA de l'Imprimerie et des industries graphiques	Mont-Saint-Aignan
CFA interfora IFAIP	Saint-Fons
CFA papetier	Gérardmer
Ecole technique supérieure de chimie de l'Ouest	Angers
Lycée de l'Escaut	Valenciennes
Lycée de Pouembout	Pouembout
Lycée des métiers entre Meurthe-et-Sânon	Dombasle-sur-Meurthe
Lycée Gaston Crampe	Aire-sur-l'Adour
Lycée général et technologique Louis Armand	Chambéry
Lycée général et technologique privé Saint-Félix - La Salle	Nantes
Lycée Mireille Grenet	Compiègne
Lycée Nicéphore Niépce	Chalon-sur-Saône
Lycée polyvalent Laurent de Lavoisier	Mulhouse
Lycée professionnel Heinlex	Saint-Nazaire
Lycée professionnel Nicolas-Louis Vauquelin	Paris
Lycée professionnel Sainte-Marie	Bagnols-sur-Cèze
Lycée Raoul Dautry	Limoges
Section professionnelle du lycée Jean Perrin	Marseille
UFA Latécoère	Istres
UFA Schuman - Perret	Le Havre

Tableau A1.5 Liste des établissements proposant un BTS CIRA

Nom d'établissement	Ville
Antenne d'Arles du CFA interconsulaire Méditerranée	Arles
Centre AFPI	Dunkerque
Centre de formation d'apprentis de l'industrie de Champagne-Ardenne	Reims
CFA AFORP - site d'Issy-les-Moulineaux	Issy-les-Moulineaux
CFAI Aquitaine Site de Reignac	Reignac
CFAI du Dauphiné (Pôle formation des industries technologiques)	Moirans
CFA Institut des services à l'environnement	Lomme
CFA supérieur de l'AFTEC - Loiret	Orléans
Eurespace - CCI formation	Cholet
Lycée Albert Einstein (voie générale et technologique)	Bagnols-sur-Cèze
Lycée Alexis de Tocqueville	Cherbourg-en-Cotentin
Lycée Amiral Pierre Bouvet	Saint-Benoît
Lycée Blaise Pascal cité scolaire	Longuenesse
Lycée de l'Escaut	Valenciennes

Lycée Ferdinand Buisson	Elbeuf
Lycée général et technologique privé Saint-Félix - La Salle	Nantes
Lycée Henri Darras	Liévin
Lycée Jacques Monod	Saint-Jean-de-Braye
Lycée Jules Haag	Besançon
Lycée Jules Renard	Nevers
Lycée La Martinière Diderot - site Terreaux	Lyon
Lycée La Salle	Troyes
Lycée La Salle (enseignement supérieur)	Saint-Etienne
Lycée Louis Armand	Mulhouse
Lycée Louis Vincent	Metz
Lycée Marie Curie	Nogent-sur-Oise
Lycée Pierre-Emile Martin	Bourges
Lycée Pierre-Gilles de Gennes - Ecole nationale de chimie, physique et biologie	Paris
Lycée Pierre Mendès-France	Vitrolles
Lycée pilote innovant international	Jaunay-Clan
Lycée polyvalent de la Mare Carrée	Moissy-Cramayel
Lycée polyvalent Déodat de Séverac	Toulouse
Lycée polyvalent Georges Brière	Reims
Lycée polyvalent Jean Baptiste Colbert	Lorient
Lycée polyvalent Jean Zay	Jarny
Lycée polyvalent La Fayette	Clermont-Ferrand
Lycée polyvalent Louis Couffignal	Strasbourg
Lycée polyvalent Portes de l'Oisans	Vizille
Lycée polyvalent Stanislas	Villers-lès-Nancy
Lycée privé des métiers de la Salle (voie générale et technologique)	Alès
Lycée privé Epid	Dunkerque
Lycée Raoul Dautry	Limoges
Lycée René Descartes	Saint-Genis-Laval
Lycée Rouvière	Toulon
Lycée Saint-Cricq	Pau
Lycée Schuman-Perret	Le Havre
PROMEO - site d'Amiens	Amiens
UFA Schuman - Perret	Le Havre

Tableau A1.6 : Liste des établissements proposant un BTS Métiers de la Chimie

Nom d'établissement	Ville
CCI Sud Formation CFA Languedoc-Roussillon - Nîmes Marguerittes	Marguerittes
Ecole technique supérieure de chimie de l'Ouest	Angers
Lycée Albert Camus	Mourenx
Lycée Arthur Varoquaux	Tomblaine
Lycée d'Arsonval	Saint-Maur-des-Fossés
Lycée de chimie-biologie La Forbine	Marseille
Lycée de l'Escaut	Valenciennes
Lycée Galilée	Gennevilliers
Lycée général et technologique privé Saint-Félix - La Salle	Nantes
Lycée Jean Perrin	Marseille
Lycée La Martinière Diderot - site Terreaux	Lyon
Lycée Libergier	Reims
Lycée Louis Vincent	Metz
Lycée Marie Curie	Nogent-sur-Oise
Lycée Nicéphore Niepce	Chalon-sur-Saône
Lycée Notre-Dame Les Oiseaux	Verneuil-sur-Seine
Lycée Paul Constans	Montluçon
Lycée Pierre-Gilles de Gennes - Ecole nationale de chimie, physique et biologie	Paris
Lycée polyvalent André Argouges	Grenoble
Lycée polyvalent Charles Coeffin	Baie-Mahault
Lycée polyvalent Déodat de Séverac	Toulouse
Lycée polyvalent Gustave Eiffel	Armentières
Lycée polyvalent Laurent de Lavoisier	Mulhouse
Lycée polyvalent Léonard de Vinci	Calais
Lycée privé Notre-Dame	Chartres
Lycée privé Saint-François de Sales	Gien
Lycée professionnel Sainte-Marie	Bagnols-sur-Cèze
Lycée Saint-Louis	Bordeaux
Lycée Schuman-Perret	Le Havre
Lycée technique privé de l'école technique supérieure du laboratoire	Paris
Lycée technologique privé Pradeau-La Sède Saint-Pierre	Tarbes
Lycée Thierry Maulnier	Nice

Tableau A1.7 : Liste des établissements proposant un BTS Métiers de l'eau

Nom d'établissement	Ville
Centre de formation d'apprentis - Université de Lorraine	Villers-lès-Nancy
CFA agricole de la Charente-Maritime	Saintes
CFA Institut de l'environnement urbain	Jouy-le-Moutier
Ecole technique supérieure de chimie de l'Ouest	Angers
Lycée	Mauriac
Lycée Arthur Varoquaux	Tomblaine
Lycée Blaise Pascal cité scolaire	Longuenesse
Lycée de Borda	Dax
Lycée général et technologique Louis Armand	Chambéry
Lycée Jacques Duhamel	Dole
Lycée La Salle (enseignement supérieur)	Saint-Etienne
Lycée Mireille Grenet	Compiègne
Lycée Notre-Dame	Guingamp
Lycée Pierre-Gilles de Gennes	Cosne-Cours-sur-Loire
Lycée Pierre-Gilles de Gennes	Digne-les-Bains
Lycée Pierre-Gilles de Gennes - Ecole nationale de chimie, physique et biologie	Paris
Lycée polyvalent Joseph Pernock	Le Lorrain
Lycée polyvalent Lama-Prévot	Rémire-Montjoly
Lycée polyvalent Saint-Jacques de Compostelle	Poitiers
Lycée professionnel Pierre Latécoère	Istres
Lycée professionnel Sainte-Marie	Bagnols-sur-Cèze
Lycée professionnel Sauxmarais	Cherbourg-en-Cotentin
Section d'enseignement général et technologique du LP J. M.Jacquard	Lavelanet
Section d'enseignement professionnel du Lycée polyvalent Lama-Prévot	Rémire-Montjoly

Chapitre 2 : La recherche en Génie des Procédés en France

Introduction

Le Génie des Procédés est la science des processus chimiques, physiques, biologiques et énergétiques, ainsi que de leurs couplages permettant de transformer la matière en produits fonctionnels à l'échelle industrielle, en optimisant les dépenses énergétiques et les matières premières et en respectant l'environnement. Cette définition assez vaste fait que le Génie des Procédés s'est développé à la fois dans les universités et écoles d'ingénieurs, mais également dans de nombreux établissements à caractère scientifique et technique (EPST) et à caractère industriel et commercial (EPIC).

Quels sont les acteurs de la recherche en Génie des Procédés en France ?

Les chercheurs, ingénieurs et techniciens de la recherche en Génie des Procédés appartiennent majoritairement aux institutions listées ci-dessous, qui unissent souvent leurs forces dans des unités mixtes de recherche.

- CEA :

Les chercheurs en Génie des Procédés sont impliqués dans le domaine de l'énergie nucléaire, en particulier le cycle du combustible et des énergies renouvelables (biomasse, solaire, batteries, hydrogène). Les unités de recherche sont localisées à Marcoule (DMRC, DE2D), Cadarache (DEC, DTN) et Saclay (DPC) pour la Direction de l'Energie Nucléaire. Pour les énergies renouvelables, la localisation principale se trouve à Grenoble au LITEN, le CEA ayant également des activités à Cadarache et Saclay. Le CEA compte environ 300 chercheurs directement en charge de travaux faisant appel au Génie des Procédés.

- CIRAD :

Les recherches en Génie des Procédés sont développées dans le département « Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (Persyst) », dans lequel une trentaine de chercheurs représente le Génie des Procédés.

- **CNRS** :

Le Génie des Procédés est essentiellement développé dans l'Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes (INSIS) et dans la section 10 « Milieux fluides et réactifs : transports, transferts, procédés de transformation » du comité national du CNRS. L'INSIS a soutenu en 2014 le rapport « GP 2020 » [2], coordonné par Laurent FALK (LRGP Nancy) et la section 10 publie son rapport de conjoncture à chaque mandature, le dernier ayant été publié en 2014 [3].

Certaines équipes de l'Institut de Chimie (INC) et de l'Institut Ecologie Environnement (INEE) développent également des activités dans le domaine du Génie des Procédés. En particulier, deux sections du comité national dépendant de l'INC, les sections 14 « Chimie de coordination, catalyse, interfaces et procédés » et 15 « Chimie des matériaux, nanomatériaux et procédés » s'intéressent aux procédés.

Une centaine de chercheurs et une vingtaine d'ingénieurs de recherche participent au développement du Génie des Procédés au sein du CNRS.

- **IFPEN** :

Les chercheurs en Génie des Procédés sont pour l'essentiel localisés dans le centre de recherche IFPEN-Lyon au sein des directions de recherche : Conception modélisation procédés, et Expérimentation procédés. En Conception et Modélisation des Procédés, IFPEN étudie les phénomènes physiques (hydrodynamique, mécanistique…) des étapes réactionnelles, réalise des simulateurs de procédés et des modèles de réacteurs. IFPEN à travers son activité Expérimentation Procédés, a pour mission de concevoir, de construire, d'opérer et de maintenir les installations pilotes dans le cadre de ses propres projets de recherche, ou de projets menés en partenariat avec l'industrie. La direction de recherche Chimie et Physico-chimie appliquées de Rueil Malmaison héberge les études en thermodynamique, en chimie et physico-chimie des fluides complexes et des matériaux et en électrochimie. Les compétences présentes à IFPEN en Génie des Procédés appuient une culture de l'innovation, indispensable pour accompagner la transition énergétique : innover à la fois pour améliorer les technologies existantes et pour préparer l'avenir, en soutenant le développement de solutions « bas carbone » et la création de nouvelles filières vertes. Ainsi 170 chercheurs, dont 120 dans les laboratoires de Génie des Procédés, sont directement en charge de travaux de recherche en Génie des Procédés.

- IFSTTAR :

Les chercheurs en Génie des Procédés se trouvent dans deux des cinq départements de l'IFSTTAR, le département « Géotechnique Environnement Risques Naturels Sciences de la Terre (GERS) » et le département « Matériaux et Structures (MAST) ». La communauté du Génie des Procédés est constituée d'environ dix chercheurs.

- INRA :

Le Génie des Procédés est développé principalement dans le département « Caractérisation et Elaboration des Produits Issus de l'Agriculture (CEPIA) », mais aussi de manière plus secondaire dans les départements « Environnement et Agronomie (EA) » et « Microbiologie et Chaîne Alimentaire (MICA) ». Une soixantaine de chercheurs et une trentaine d'ingénieurs représentent la communauté du Génie des Procédés à l'INRA.

- **INERIS** :

Les recherches en Génie des Procédés sont présentes dans la Direction des Risques Accidentels et occupent environ une trentaine de personnes, ingénieurs et techniciens. Leur travail concerne la maitrise des risques associés aux procédés traditionnels et innovants. Ils disposent pour cela de moyens de mesure/calcul des propriétés dangereuses des produits et s'associent à des partenaires pour parvenir à une compréhension suffisamment fine des procédés indispensable pour évaluer les scénarios d'accident.

- **INRS**

L'INRS possède un département complet (plus de 40 personnes principalement des chercheurs), qui a pour missions de développer et diffuser des solutions techniques de prévention visant à réduire les risques d'exposition aux composés toxiques (aérosols, gaz, liquide, solide), en favorisant la prise en compte de ces risques lors de la conception des installations et des équipements de travail. L'INRS travaille sur la modification des procédés ou de leurs conditions opératoires voire même sur la substitution par d'autres procédés pour diminuer l'exposition des travailleurs aux risques chimiques.

- IRSTEA :

Les chercheurs en Génie des Procédés sont rassemblés au sein de l'un des trois départements d'IRSTEA, le département « Ecotechnologies ». Les recherches portent sur deux axes directeurs « assurer la sureté alimentaire » et « valoriser les déchets et les effluents ». Vingt-cinq chercheurs travaillent dans le domaine du Génie des Procédés.

- **Universités et Ecoles d'Ingénieurs** :

Les enseignants-chercheurs en Génie des Procédés exercent dans les universités, en majorité dans les IUTs (Chimie, Génie Biologique et Génie Chimique) et les Polytechs, et dans les Ecoles d'Ingénieurs de Chimie et de Génie Chimique. La plupart des enseignants-chercheurs de Génie des Procédés appartiennent aux sections 62 « Energétique et Génie des Procédés » (environ 700 enseignants-chercheurs relèvent du Génie des Procédés) [4] et 64 « Biochimie, biologie moléculaire » (une centaine d'enseignants-chercheurs) du Comité National des Universités.

Les enseignants-chercheurs en Génie des Procédés exercent également dans les Ecoles des Ministères de l'Industrie (Ecoles des Mines/Institut Mines Telecom (environ 110 enseignants-chercheurs)), de l'Agriculture (Ecoles d'Alimentation et d'Agroalimentaire (environ 80 enseignants-chercheurs)) et de l'Armée (ENSTA, environ 10 enseignants-chercheurs).

Le nombre de chercheurs en Génie des Procédés est assez difficile à estimer du fait de la multiplicité des centres de recherche. L'estimation la plus raisonnable est aux alentours de 1800 chercheurs et ingénieurs de recherche, et environ 1200 doctorants et post-doctorants. Cette estimation ne tient pas compte des chercheurs des centres industriels de R&D et des centres techniques.

Les équipes et laboratoires de recherche en France

Les laboratoires universitaires sont organisés sous forme d'Equipes d'Accueil (EA), qui est un label donné par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, d'Unités Mixtes de Recherche (UMR), entre un Etablissement Public à Caractère Scientifique et Technique (CNRS, INRA) et les Universités ou Ecoles, ou d'Unités Propres de Recherche, qui sont réservées aux laboratoires dépendant uniquement d'un Etablissement Public à Caractère Scientifique et Technique.

Les laboratoires peuvent être distingués suivant que leur activité est principalement en Génie des Procédés :

- Albi (RAPSODEE), Chambéry (LOCIE), Compiègne (TIMR), Grenoble (CTP, LGP2, LRP), La Réunion (LE2P), Lyon (DEEP, IFPEN, LAGEP, LGPC), Montpellier (BIOWOOEB, IATE), Nancy (LRGP), Nantes-Saint-Nazaire (GEPEA), Narbonne (LBE), Pau (LaTEP), Odeillo-Perpignan (PROMES), Paris (GPAN), Rennes (OPAALE), Rouen (LSPC), Toulouse (LGC),

ou que leur activité principale se situe dans un autre domaine scientifique mais qui possèdent une équipe à dominante Génie des Procédés :

- **Automatique** : Clermont (Institut Pascal), Grenoble (GIPSA-lab), Paris (CAS)

- **Biologie** : Marseille (BBF, BIAM), Toulouse (LISBP)

- **Bioressources** : Grenoble (CERMAV), Lille (Institut Charles Violette), Nancy (LERMAB), Reims (FARE), Toulouse (LCA)

- **Catalyse** : Lille (UCCS), Strasbourg (ICPEES)

- **Chimie** : Bordeaux (LOF), Clermont (ICCF), Grenoble (LEPMI), Marcoule (CEA), Nancy (LCPM), Rennes (ISCR), Strasbourg (ICS)

- **Conception – Innovation** : Nancy (ERPI)

- **Environnement** : Aix-en-Provence (CEREGE), Antony (HBAN), Limoges (GRESE), Lyon (REVERSAAL), Marseille (IMBE, LCE), Metz (LCP-A2MC), Nancy (GEORESSOURCES)

- **Matériaux** : Besançon (UTINAM), Douai (TPCIM), Grenoble (SIMAP), Lille (UMET), Limoges (SPCTS), Lorient (IRDL), Marseille (CINAM), Montpellier (IEM), Mulhouse (IS2M), Nancy (Institut Jean Lamour), Nantes (MAST), Paris (LGPM), Roubaix (GemTex), Valenciennes (LMCPA),

- **Mécanique/Thermique/Energétique** : Amiens (LTI), Antony (GPAN), Besançon (FEMTO-ST), Douai (Département Energétique Industrielle), Grenoble (CEA, LEGI), Mulhouse (LGRE), Nancy (LEMTA), Marseille (IRPHE, IUSTI, M2P2), Nancy (LEMTA), Nantes (LTN), Pau (LFCR), Paris (CES, CMGPCE), Saint-Etienne (Laboratoire Georges Friedel), Strasbourg (ICUBE), Toulouse (IMFT)

- **Plasma** : Marseille (LP3), Toulouse (Laplace)

- **Sciences des Aliments** : Aurillac (LRFA), Avignon (SQPOV), Bourg-en-Bresse – Lyon (BIODYMIA), Clermont (QuaPA), Dijon (PAM), Montpellier (QUALISUD, SPO), Nancy (LiBIO), Rennes (STLO), Massy (GENIAL), Thiverval-Grignon (GMPA).

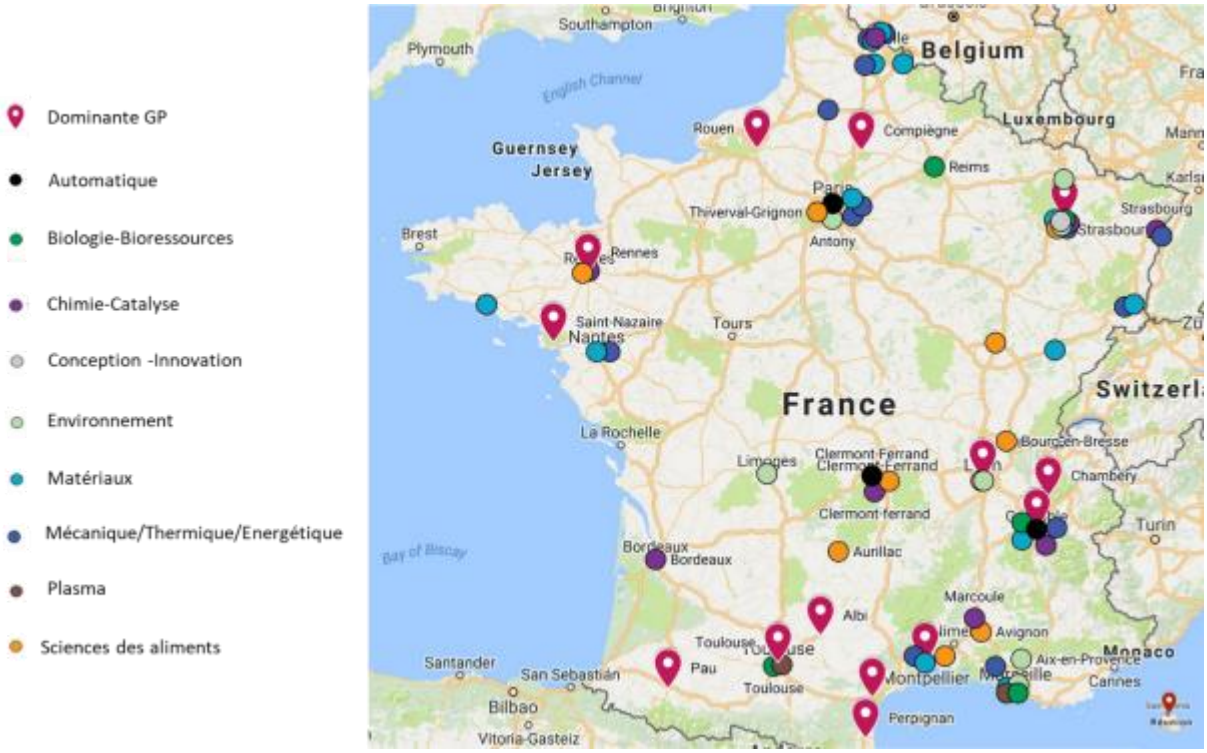


Figure 2.1 : Cartographie des laboratoires de Génie des Procédés ou ayant des activités en Génie des Procédés

- Laboratoires de la Région EST (Bourgogne-Franche-Comté et Grand Est) (205 chercheurs, 175 doctorants – post-doctorants)

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Génie des Procédés

- **LRGP (Laboratoire Réactions et Génie des Procédés), UMR 7274, Nancy, ENSIC, ENSAIA, EEIGM, ENSGSI –** 100 chercheurs permanents, ~110 doctorants - post-doctorants - 45 personnels administratifs et techniques.

  Les thématiques du laboratoire concernent : 1/ L'amélioration de l'efficacité des procédés de transformation et de traitement par la gestion intégrée des flux de matière et d'énergie permettant le recyclage et la valorisation (éco-conception) des produits secondaires (déchets et énergies de bas niveaux). 2/ La diminution de l'empreinte écologique des procédés de transformation par l'utilisation de matières premières pétrolières et biosourcées, la réduction des consommations d'eaux industrielles, le recyclage et la diminution des pollutions, le captage, le stockage et la valorisation du CO2, la diminution des risques industriels (procédés propres et sûrs). 3/La synthèse de produits et matériaux éco-compatibles et recyclables plus respectueux de l'homme et de l'environnement. La conception et l'élaboration de produits complexes chimiques et biochimiques et performants via une structuration à l'échelle moléculaire, macromoléculaire et colloïdale. Les recherches sont structurées en 5 axes thématiques principaux : les procédés pour l'environnement, la sécurité et la valorisation des ressources ; les réacteurs chimiques intensifiés, la séparation membranaire et le process system engineering ; les bioprocédés et les biomolécules ; la cinétique radicalaire, la thermodynamique et l'énergie ; le génie des produits et la synthèse de matériaux.

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Bioressources (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **FARE (Fractionnement des AgroRessources et Environnement), UMR INRA, Reims –** Transformation biotechnologique des ligno-celluloses et biodégradation dans les sols – 14 chercheurs permanents, dont 1 à 2 en GP.

  Le laboratoire est organisé en deux axes de recherche qui sont liées au génie des procédés : 1/ étude des facteurs intrinsèques aux lignocelluloses gouvernant l'aptitude à leur transformation et leur hiérarchie vis-à-vis de la déconstruction : Les objectifs sont d'étudier les facteurs gouvernant la transformation des lignocelluloses en intégrant les conditions opératoires du procédé (eau, température, catalyseurs). 2/ étude des agents microbiens et enzymatiques qui régulent le processus de biodégradation/transformation des lignocelluloses : mise en œuvre d'agents microbiens et d'enzymatiques pour la biodégradation/transformation des lignocelluloses.

- **LERMAB (Laboratoire d'Etude et de Recherche sur le Matériau Bois), EA 4370, Nancy-Epinal** Valorisation Chimique, Energie et Procédés, ENTIB – 40 chercheurs permanents, dont 16 chercheurs et 10 doctorants dans le domaine du GP.

  Les activités du laboratoire structurées autour du matériau bois se divisent en trois axes de recherche principaux :
  - "Matériau et Procédés" : Développement de différents traitements ou procédés permettant d'améliorer les performances du bois et des matériaux à base de bois ;
  - "Valorisation Chimique, Energie et Procédés" : bioraffinerie, mise au point de synthons pour la chimie, synthèse de molécules biosourcées, valorisation chimique des extractibles, production d'énergie par voies sèches (combustion, la gazéification et pyrolyse) et par voies humides (liquéfaction, hydrolyse, …)
  - "Energétique, Mécanique, Construction Bois" : fabrication de produits manufacturés à base de bois, éco-construction, efficacité énergétique du bâtiment.

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Catalyse (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **ICPEES (Institut de chimie et procédés pour l'énergie, l'environnement et la santé- UMR 7515, Strasbourg –** Valorisation biomasse, carburants synthétiques, piles à combustible, cellules photovoltaïques, production H2, stockage chimique de l'énergie, biopolymères et matériaux pour la santé – 30 chercheurs permanents, dont 6 en GP et 5 doctorants..

  L'Institut est organisé en quatre départements de recherche : Catalyse, Energie et Procédés ; Physico-Chimie des Nanosystèmes ; Chimie de Synthèse et Propriétés ; Ingénierie des Polymères. Les domaines proches du Génie des procédés concernent :
  L'axe Nanomatériaux, Catalyse et Interfaces porte sur le développement de nouveaux matériaux et de procédés (catalytiques ou non) dans les domaines aussi divers que la synthèse des carburants synthétiques à partir des intermédiaires d'origine fossile ou de ressources renouvelables, le stockage d'hydrogène ou le photovoltaïque. L'axe « Energie et Carburants pour un Environnement Durable » se focalise sur la catalyse hétérogène pour la valorisation de ressources renouvelables pour une utilisation à des fins énergétiques.

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Chimie (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **ICS (Institut Charles Sadron)- UPR 22, Strasbourg –** Matériaux Polymères, Chimie supramoléculaire, Physique et chimie des polymères et systèmes mixtes, Matériaux fonctionnels et bio-matériaux – 48 chercheurs permanents, dont 3 en GP et 2 doctorants.

Le laboratoire est organisé en 7 équipes : Chimie Macromoléculaire de Précision ; Synthèse et Auto-assemblage Moléculaires et Supramoléculaires ; Polyélectrolytes, Complexes et Matériaux ; Systèmes Complexes Moléculaires et Macromoléculaires Organisés ; Physique-Mécanique et Tribologie des Polymères ; Membranes et Microforces ; Théorie et Simulation des Polymères.

- **LCPM (Laboratoire de Chimie Physique Macromoléculaire), UMR 7375, Nancy ENSIC EEIGM** Génie des produits polymères - 15 chercheurs permanents, dont 1 en GP et 1 doctorant.

Les travaux réalisés s'inscrivent dans deux axes thématiques : Auto-assemblage et matériaux fonctionnels ; Biomolécules et vectorisation.

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Conception-Innovation (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **ERPI (Equipe de recherche sur les processus innovatifs) Nancy, ENSGCI EA 3767 –** Conduite et du pilotage des processus innovatifs, Génie industriel, ENSGSI – 15 chercheurs permanents, dont 6 en GP et 3 doctorants.

Les domaines portent sur les étapes amont du processus d'innovation technologique (émergence des idées jusqu'aux phases préalables à la matérialisation) et plus spécifiquement sur les produits (product engineering) considérés comme un système intégrant.

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Environnement (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **GeoRessources, UMR 7359, Nancy –** Matières Premières (Ressources carbonées, minérales, Valorisation des ressources et résidus, ENSG – 60 chercheurs permanents, pas personnel en GP.

Le laboratoire GeoRessources se décline suivant trois axes de recherche : Axe « GéoModèles » (modèles géométriques, géostatistiques et de processus physiques) ; Axe « Matières Premières » (ressources carbonées et minérales pour leur exploration, exploitation et valorisation) ; Axe « GéoSystèmes » (exploitation du sous-sol à des fins de stockage d'effluents ou déchets ultimes et de géothermie). Les activités qui relèvent du génie des procédés sont liées à l'équipe « Valorisation des ressources et des résidus », dont les objectifs sont la connaissance, la valorisation des ressources minérales et les procédés de traitement des résidus des activités humaines qui s'appuient en particulier sur la plate-forme STEVAL (STation Expérimentale de VALorisation des matières premières et des substances résiduaires).

- **LCP–A2MC (laboratoire de Chimie et Physique – Approche Multi-échelle des Milieux Complexes) EA 4632, Metz –** Chimie durable et environnement – 45 Chercheurs permanents, dont 5 EC et 5 doctorants en GP.

Le LCP–A2MC est structuré en 3 thèmes s'appuyant sur les deux secteurs disciplinaires Chimie et Physique. Les activités proches du GP sont liées à l'Equipe Chimie Durable et Environnement. Dans le domaine de l'environnement, les activités concernent l'analyse et l'élimination de contaminants gazeux, particulaires et aqueux. En ce qui concerne la gestion durable des ressources, les travaux portent sur l'étude de composés d'origine pétrolière ou issus de la biomasse (processus de pyrolyse et gazéification pour l'obtention de fractions gazeuse (syngaz) et liquide (bio-huiles) et la valorisation de molécules biosourcées principalement des huiles), sur l'intensification des procédés (ultrasons et microondes) et sur de nouveaux milieux réactionnels notamment les liquides ioniques.

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Matériaux (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **IJL (Institut Jean Lamour) UMR 7198, Université de Lorraine –** Procédés d'élaboration des matériaux métalliques et carbonés, traitements de surface, matériaux pour l'énergie – 190 chercheurs. Les activités proches du génie des procédés concernent l'équipe "Procédés d'élaboration" qui relèvent de la métallurgie d'élaboration et du génie des procédés (L'équipe est constituée de 2 chercheurs et 4 enseignants-chercheurs. Elle accueille actuellement 9 doctorants et post-doctorants).

Les recherches sont organisés en 4 départements : Physique de la Matière et des Matériaux (matériaux émergents, nanosciences et nanotechnologies, physique théorique et modélisation, physique des plasmas chauds) ; Chimie et Physique des Solides et des Surfaces (nanomatériaux, matériaux complexes, chimie des solides, physico-chimie des surfaces et procédés d'élaboration ou de traitement de surface) ; Science et Ingénierie des Matériaux et Métallurgie (matériaux structurants, procédés d'élaboration et de traitement, contrôle des microstructures pour atteindre les propriétés recherchées) ; Nanomatériaux, Electronique Et Vivant (conception, synthèse, caractérisation et applications de nanomatériaux innovants en médecine, pharmacie et santé).

- **IS2M (Institut de Science des matériaux de Mulhouse), UMR 7361 –** Chimie et physique des surfaces et interfaces, matériaux poreux et biomatériaux, photopolymérisation, interactions surface/ environnement – 65 chercheurs permanents, dont 10 EC et 10 doctorants en GP.

  L'IS2M s'articulent autour de 4 pôles de recherche et un axe transverse : Les activités liées au génie des procédés se retrouvent dans les axes suivants :

  - Axe Ingénierie des Polymères Fonctionnels (Développement de procédés et processus innovants en photopolymérisation).
  - Axe Matériaux à Porosité Contrôlée : Développement ou optimisation des procédés de synthèse de matériaux 3D inorganiques et hybrides par voie douce et par voie hydrothermale.

  Axe Transferts, Réactivité, Matériaux pour les procédés propres : Développement de procédés innovants de synthèse de composés lamellaires de type argile : modulation des conditions de synthèses en fonction de l'application visée ; Formulation de matériaux composites pour la séparation, le relargage contrôlé de principes actifs et l'adsorption de polluants en phase gaz et liquide ; Valorisation matière et énergie de produits bio-sourcés : élaboration de chars pour des applications agronomiques, environnementales et énergétiques ; Stockage de l'énergie : vecteur hydrogène et récupération de la chaleur fatale ;Développement et utilisation de méthodes de caractérisation spécifiques (calorimétrie,..) et de modélisation des transferts de masse et de chaleur adaptées au procédé (modèle de connaissance,..).

- **Institut UTINAM (Univers, Transport, Interfaces, Nanostructures, Atmosphère et Environnement, Molécules) UMR 6213, Besançon –** Matériaux pour le développement durable, Nanoparticules, Contaminants, Membranes – 52 chercheurs permanents, dont 5 en GP et 5 doctorants.

  L'Institut est organisé en cinq équipes de recherche: Matériaux et Surfaces Fonctionnalisés; Nanoparticules, Contaminants et Membranes; Physique théorique et Astrophysique; Spectroscopie, Planétologie, Atmosphères, Clathrates et Environnement; Sonochimie et Réactivité des Surfaces. Les activités proches du GP sont localisées dans l'Équipe Nanoparticules, Contaminants, Membranes. La thématique 'contaminants' de l'Equipe NCM concerne la mise au point et l'évaluation de techniques de traitement des milieux liquides et solides. La thématique "Membranes" concerne la caractérisation de surfaces, la modélisation des transferts et la fonctionnalisation des surfaces.

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Mécanique – Energétique – Thermique (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **FEMTO-ST (Franche-Comté électronique, mécanique, thermique et optique – sciences et technologies) UMR6174, Belfort, ENSMM, UTBM** – 223 chercheurs, dont 5 chercheurs en GP.

  L'unité est structurée en 7 départements scientifiques, dont le Département ÉNERGIE qui porte sur la production d'énergie efficiente, compétitive et respectueuse de l'environnement, la conversion et la gestion de l'énergie. Il compte environ 40 C et EC permanents, dont environ 5 liées à l'énergétique. Le département ENERGIE, implanté à Belfort, apporte également une contribution à la structure FEMTO Engineering dans les domaines de l'énergie électrique et thermique et des systèmes piles à combustible. Il est aussi engagé sur des programmes nationaux et internationaux liés à l'hydrogène-énergie et les systèmes piles à combustible, la micro-cogénération, les systèmes hybridés électriquement, les véhicules électriques hybrides, les pompes à chaleur, l'instrumentation thermique et optique dans les fluides et les systèmes énergétiques.

- **Icube (laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie) – UMR 7357, Strasbourg –** Micro-nano technologies, Mécanique des fluides, Environnement, Recyclage des matériaux- 175 chercheurs permanents. Les activités qui relèvent du génie des procédés se retrouvent dans la l'Équipe Mécanique des Fluides sur la thématique « Transferts réactifs, rhéologie et procédés environnementaux » avec près de 20 EC et C permanents, et 5 doctorants dans la thématique.

  Le laboratoire ICube est composé de 4 départements et de 16 équipes. Département Informatique Recherche : Équipe Informatique Géométrique et Graphique ; Équipe Réseaux ; Équipe Informatique et Calcul Parallèle ; Équipe Science des Données et Connaissances ; Équipe Systèmes Complexes, Bioinformatique Translationnelle ; Équipe Modèles, Images et Vision. Département Imagerie, Robotique, Télédétection & Santé : Équipe Modèles, Images et Vision ; Équipe Automatique, Vision et Robotique ; Équipe Télédétection, Radiométrie et Imagerie Optique ; Équipe Imagerie Multimodale Intégrative en Santé ; Département Electronique du Solide, Systèmes & Photonique : Équipe Matériaux pour Composants Electroniques et Photovoltaïques ; Équipe Systèmes et Microsystèmes Hétérogènes ; Équipe instrumentation et Procédés Photoniques. Département Mécanique : Équipe Mécanique des Fluides ; Équipe Matériaux Multi échelles et Biomécanique ; Équipe Génie Civil et Énergétique ; Équipe Conception, Système d'Information et Processus inventifs.

- **LEMTA (Laboratoire Energétique et Mécanique Théorique Appliquée), UMR 7563, Nancy, ENSEM-UHP –** 90 chercheurs. Des thématiques proches du GP, mais pas de chercheurs en GP.

  Le laboratoire est organisé en trois groupes de recherche, dont deux sont proches des thématiques du Génie des Procédés : a) Milieux fluides, réactifs, multiphasiques : dynamique et de la thermique des milieux fluides avec couplage multi-échelles : hydrodynamique turbulente, fluides à rhéologie complexe, écoulements multiphasiques, mécanismes de transfert de chaleur et de masse dans les gouttelettes et les sprays, écoulements réactifs en milieux complexes (feux de forêts, feux confinés, ou combustion de gouttelettes) ; b) Energie et transferts : développement de métrologies pour la caractérisation de matériaux et milieux fluides, de systèmes énergétiques, de phénomènes de transfert et de transport; Milieux poreux : comportements multi échelles, multiphysiques et écoulement ; Piles à combustible.

- **LGRE (Laboratoire de Gestion des Risques et Environnement) – EA 2334, Mulhouse –** Valorisation énergétique et combustion hétérogène biomasse et déchets, Polluants gazeux et particulaires, traitement de l'air, Risques – 10 chercheurs permanents et 5 doctorants.

  La recherche au LGRE est structurée autour de deux thèmes de recherche : 1/ Biomasse, (Valorisation énergétique de biomasses et co-produits de l'industrie, Combustion : Caractérisation expérimentale et modélisation des mécanismes de pyrolyse et de combustion, Dépollution et Environnement : Caractérisation de la pollution, Procédés de dépollution), 2/ Risques (développement de méthodes systémiques d'identification et d'analyse des risques pour des systèmes sociotechniques complexes, modélisation du couplage des processus de danger).

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Sciences des Aliments

- **LIBIO (Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules), EA 4367, Nancy –** Valorisation alimentaire et non-alimentaire des agro-ressources, ENSAIA – 14 chercheurs permanents, pas de chercheurs en GP.

  L'objectif des travaux de recherche est de fonctionnaliser et de concevoir, à partir d'agro-ressources, des vecteurs et matrices, structurés pour une fonctionnalité ciblée dans des conditions environnementales définies. Les activités proches du GP concernent la fonctionnalisation et la conception, à partir d'agro-ressources, des vecteurs et matrices, structurés pour une fonctionnalité ciblée dans des conditions environnementales définies. Ceci sous-entend de comprendre, maîtriser et contrôler la structuration et la fonctionnalisation de la matière molle, les phénomènes de transferts et les interactions physico-chimiques au sein de systèmes complexes et des procédés de transformation.

- **PAM (Procédés Alimentaires et Microbiologiques), Dijon, Agrosup Dijon –** Procédés microbiologiques et biotechnologiques, Procédés alimentaires et physico-chimie – 57 chercheurs permanents, dont environ 5 à 10 chercheurs et 5 à 10 doctorants dans le domaine du GP.

  Le laboratoire est composé de 3 équipes complémentaires : Procédés Microbiologiques et Biotechnologiques ; Physico-Chimie de l'Aliment et du Vin ; Vin-Aliment-Microbiologie-Stress. Les activités liées au GP interviennent dans la démarche scientifique multidisciplinaire partagée par l'ensemble des membres qui vise à de comprendre les phénomènes physiques, chimiques et biologiques qui déterminent la qualité des aliments pour développer de nouveaux aliments et de nouveaux procédés alimentaires.

- Laboratoires de la Région NORD (Hauts-de-France, Ile-de-France, Normandie) (205 chercheurs, 148 doctorants – post-doctorants)

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Génie des Procédés

- **Transformations intégrées de la Matière Renouvelable (UTC)** 30 chercheurs et Enseignants-chercheurs ~ 30 doctorants – post-doctorants

  L'Équipe TIMR se positionne dans une convergence des pratiques et des savoirs du Génie des Procédés et de la Chimie vers un objectif de valorisation des Agro Ressources et dans une stratégie de Développement Durable. L'Équipe d'Accueil TIMR est destinée à donner un cadre au regroupement des savoirs scientifiques et savoir-faire technologiques, mis en œuvre pour la production d'équipements et produits, par l'intégration des étapes suivantes : utilisation économe des ressources, matières premières, ressources et énergies ; utilisation préférentielle des matières premières renouvelables ; conception et mise en œuvre optimisée des procédés, méthodes et processus d'élaboration des produits ; maîtrise du devenir ultime des objets et produits industriels ; maîtrise des impacts, sur l'homme et sur le milieu naturel, des rejets ultimes. Cette approche intégrée sert une stratégie de Développement Durable, par : la minimisation des consommations en matières premières et en énergie primaire ; leur substitution par des ressources secondaires renouvelables ; la maîtrise des procédés de transformation de la matière et de l'énergie ; leur substitution par des procédés performants, propres et sûrs, viables économiquement ; la mise en œuvre des principes de la chimie verte ; la considération, dès la conception, du cycle de vie des produits et procédés et enfin la minimisation de leurs impacts environnementaux et humains.

- **Laboratoire de Sécurité des Procédés (Rouen)** 27 chercheurs et Enseignants-chercheurs - ~9 doctorants – post-doctorants – 2 personnels administratifs et techniques.

  Le LSPC est une unité de recherche qui regroupe les enseignants chercheurs spécialistes de génie des procédés des deux établissements, INSA et Université de Rouen Normandie. Le LSPC développe une activité de recherche en génie des procédés, à la fois expérimentale et de modélisation avec une spécificité qui se dégage au travers d'un triptyque risque-sécurité, énergie, environnement abordé à partir des activités historiques du laboratoire à savoir la sécurité des réacteurs chimiques, la calorimétrie réactionnelle et l'utilisation des micro-ondes. Plus globalement, l'objectif de ses recherches est de concevoir et développer des procédés innovants, performants, compacts, sûrs et respectueux de l'environnement. L'unité est adossée à plusieurs structures de formation notamment les départements MRIE (Maitrise des Risques Industriels et Environnementaux) et CP (Chimie et Procédés) de l'INSA Rouen, le Master SPIMR (Sécurité des Procédés Industrielles et Maîtrise des Risques) de l'université et le département de génie chimique-génie des procédés de l'IUT de Rouen.

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Automatique (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **Centre Automatique et Systèmes (Mines Paris Tech) :** 2 chercheurs et Enseignants-chercheurs ~ 3 doctorants – post-doctorants

  Le Centre Automatique et Systèmes (CAS) s'intéresse au contrôle de systèmes de toutes natures (systèmes mécaniques, chimiques, électrotechniques, aéronautiques, mécatroniques, automobiles, pétroliers, énergétiques…). Notre spécialité est la conception d'algorithmes de contrôle et de filtrage qui garantissent un comportement dynamique spécifié à l'avance. Les méthodes mises en œuvre se rattachent aux sciences physiques, du génie des procédés et mathématiques (théorie du contrôle, stabilisation, identification et modélisation, systèmes dynamiques, optimisation…).

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Bioressources (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **Institut Charles Violette (Lille 1) :** 73 chercheurs et Enseignants-chercheurs, 17 personnels techniques et 48 doctorants – post-doctorants, dont 8 enseignants-chercheurs et 10 doctorants en GP.

  L'Institut Charles VIOLLETTE, laboratoire de recherche régional des Hauts de France, mène des recherches en Biotechnologies et écoconception de procédés propres pour une transformation et une valorisation durable des agro-ressources. L'objectif de l'Institut est d'aller vers une gestion durable de l'ensemble des « entrants » et « sortants » de la filière agroalimentaire, en intégrant sécurité et qualité des aliments avec en trame de fond l'écoconception des procédés et des produits. Son domaine d'action couvre donc une large partie du cycle de vie des produits et des procédés et intègre dans ses axes de travail des enjeux identifiés comme prioritaires pour la filière agroalimentaire : ingrédients, formulation et nutrition et transition vers la durabilité. Le laboratoire travaille sur trois thématiques bioprocédés principales : - La compréhension des mécanismes impliqués à l'échelle moléculaire, cellulaire et macroscopique du procédé pour l'obtention sélective de peptides fonctionnels et à activités biologiques pour des applications potentielles en agroalimentaire, cosmétologie et santé - La conception, la maîtrise et l'optimisation des procédés séparatifs permettant l'obtention de produits à haute valeur ajoutée à partir de différentes sources naturelles, et une valorisation optimale des agro-ressources. Une attention particulière est portée à l'intensification des procédés par leur intégration et sur l'évaluation des impacts environnementaux des procédés développés via la méthodologie d'ACV (analyse du cycle de vie) – La valorisation non alimentaires de co-produits de l'agriculture et de l'agroalimentaire pour l'obtention de molécules plateformes par voie fermentaire et enzymatique Le criblage des microorganismes et enzymes est réalisé sur la plateforme EQUIPEX REALCAT à l'aide de systèmes robotisés de fermentation en microplaques et de la détection des activités avec des substrats chromogènes, également en microplaques.

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Catalyse (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **Unité de Catalyse et Chimie du Solide (Lille 1)** 10 chercheurs et Enseignants-chercheurs en GP ~ 10 doctorants – post-doctorants

  Les recherches menées à l'UCCS se situent dans 2 principaux champs scientifiques : l'Energie et le Développement Durable, lesquels sont déclinés en trois axes, à savoir la catalyse hétérogène, la catalyse et chimie moléculaire, et la chimie du solide. Les finalités des activités de recherche de l'Unité sont orientées notamment vers la valorisation catalytique de la biomasse, la chimie fine, la chimie végétale, le traitement de la pollution, les nouveaux carburants, les combustibles et déchets nucléaires, les piles à combustible, et les matériaux éco-compatibles.

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Environnement (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **Unité Hydrosystème et Bioprocédés (HBAN-IRSTEA Antony) :** 6 chercheurs (2 chercheurs en GP), ~ 3 doctorants – post-doctorants

  Les travaux de recherche de l'unité Hydrosystèmes et bioprocédés ont pour objectif la maîtrise qualitative et quantitative des eaux continentales de surface. Avec 2 axes de recherche principaux, la connaissance et la gestion des hydrosystèmes (flux d'eau et de substances polluantes, habitats et communautés aquatiques) et les technologies qui leur sont associées (bioprocédés de traitement des eaux usées et des déchets ménagers).

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Matériaux (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **Département Technologie des Polymères et Composites & Ingénierie Mécanique (Mines Douai)** 14 chercheurs et Enseignants-chercheurs ~ 25 doctorants – post-doctorants, pas de personnel en GP.

Avec une équipe pluridisciplinaire et une plateforme technologique dédiée de 7500 m², le Département TPCIM de Mines Douai développe des activités sur l'élaboration et la mise en forme des polymères et composites, et l'optimisation des propriétés d'usage de ces matériaux avancés, jusqu'à leur recyclage, pour les différents secteurs d'application avals de la filière industrielle de la plasturgie et des composites (transports, emballage, énergie, santé, bâtiment, électricité / électronique, sport, mécanique …). Cette équipe s'attache notamment à limiter l'empreinte environnementale des matériaux plastiques et composites et des procédés de plasturgie associés en développant des solutions éco-efficientes (recyclage, éco-matériaux, procédés adaptés).

- **Laboratoire Génie des Matériaux Textiles (ENSAIT, Roubaix)** 10 chercheurs et Enseignants-chercheurs.

Le Laboratoire GEMTEX mène des travaux dans le domaine des textiles pour des applications industrielles tout en conservant une approche académique. Le groupe MTP (Textiles et Procédés Multifonctionnels) est structuré autour de compétences portant sur la mise en œuvre de nouveaux textiles (multi) fonctionnels. Les compétences du groupe MTP se déclinent en trois approches intimement liées : développement de fibres fonctionnelles ; développement de textiles à structure contrôlée, fonctionnalisation de surfaces textiles. De manière transversale à ces thématiques, une attention particulière est portée au développement durable des matériaux développés par l'utilisation de polymères ou de molécules biosourcés, la mise en œuvre de fibres naturelles libériennes, et l'analyse du cycle de vie (ACV) appliquée aux produits développés et aux procédés. Les compétences scientifiques du Groupe Mécanique, Textiles, Composites sont dédiées à la mise en œuvre et à la caractérisation des préformes textiles en vue de leurs applications comme renforts de pièces composites, mais également à la conception et à l'optimisation des procédés d'élaborations de ces préformes. Les compétences des membres du groupe MTC sont les suivantes : la conception et l'optimisation des procédés et technologies textiles pour la mise en œuvre de préformes, la mise en œuvre de préformes textiles à fonctionnalités mécaniques et enfin la caractérisation et la modélisation.

- **Laboratoire de Génie des Procédés et Matériaux (Centrale Supélec) -** 8 chercheurs et Enseignants-chercheurs, ~ 9 doctorants – post-doctorants.

Les milieux multiphasiques réactifs ou bioactifs et les transferts aux interfaces constituent le cœur de compétence du LGPM. Ces connaissances de base sont développées et appliquées avec les objectifs suivants :
- rendre les procédés plus sobres en énergie et en matière (métaux en part.) et améliorer la qualité des produits,
- valoriser la biomasse (biocarburants par ex.) et développer les matériaux biosourcés,
- utiliser le vivant (micro-organismes) dans les procédés (biotechnologies).

- **Laboratoire des Matériaux Céramiques et Procédés Associés (Valenciennes) :** 10 chercheurs et Enseignants-chercheurs ~ 2 doctorants – post-doctorants

Le Laboratoire des Matériaux Céramiques et Procédés Associés s'intéresse particulièrement aux matériaux céramiques techniques pour des applications électriques, électroniques, thermomécaniques et biomédicales depuis leur synthèse, leur élaboration jusqu'à leur caractérisation. Les principaux axes de recherche concernent la mise au point de substituts osseux à base de phosphates de calcium à macro et microporosité contrôlées et de bioverres, de nouveaux matériaux piézoélectriques avec ou sans plomb, de matériaux massifs et de revêtements résistants à l'usure et à la corrosion. Le principal point fort du LMCPA est la maîtrise de toutes les étapes d'élaboration des pièces céramiques depuis la synthèse des poudres jusqu'au matériau final en assurant le contrôle de la microstructure et la mesure des propriétés physiques, électriques et mécaniques. Ses activités se déclinent en deux axes principaux : Matériaux pour la santé (Axe 1) et Matériaux pour les transports et le développement durable (Axe 2). Les compétences du laboratoire peuvent se décliner ainsi : synthèse de matières premières (poudres, gels et verres), optimisation des microstructures par des techniques de frittage assisté, matériaux poreux et multiphasés, revêtements et fonctionnalisation des surfaces et caractérisations spécifiques.

- **Unité Matériaux et Transformations (Lille 1)** 17 chercheurs et Enseignants-chercheurs en GP - ~ 23 doctorants – post-doctorants en GP – 14 personnels administratifs et techniques en GP.

L' « Unité Matériaux Et Transformations » regroupe une bonne partie des activités de science des matériaux sur le site du campus scientifique de l'Université de Lille. L'unité est divisée en six équipes de tailles variables, à savoir : Matériaux Moléculaires et Thérapeutiques ; Physique des Minéraux ; Métallurgie Physique et Génie des Matériaux ; Ingénierie des Systèmes Polymères ; Plasticité ; Processus aux Interfaces et Hygiène des Matériaux. Toutes ont un cœur de métier centré sur la science des matériaux mais leurs champs d'applications sont bien diversifiés. Au sein des différentes équipes la plupart des aspects liés aux matériaux sont développés :

élaboration/synthèse/fonctionnalisation, études des déformations et transformations sous sollicitations variées, caractérisation des structures/microstructures et étude des relations microstructures et propriétés en relation avec les conditions d'usage. Les objectifs des travaux menés par les équipes sont diversifiés. Ils peuvent viser une application directe avec des partenaires industriels ou la compréhension de processus élémentaires qui conditionnent un phénomène ou un comportement donné. Les domaines d'étude incluent les matériaux à usage mécanique, les matériaux thérapeutiques, les matériaux biocompatibles, le traitement et la fonctionnalisation des surfaces, le comportement sous irradiation, sous déshydratation et sous broyage, le comportement au feu, les revêtements céramiques ultralégères, jusqu'à la compréhension du comportement des minéraux du manteau terrestre ou ceux d'environnements extraterrestres. Les champs d'applications sont donc plutôt variés, avec de nombreuses interfaces avec d'autres champs disciplinaires (géophysique, pharmacie, biologie- santé, mécanique,...).

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Mécanique – Energétique – Thermique (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **Centre Efficacité Energétique des Systèmes (CES) - Thermodynamique des Procédés (Mines Paris Tech) :** 16 chercheurs et Enseignants-chercheurs ~ 17 doctorants – post-doctorants

Les thématiques de recherche du groupe Thermodynamique des Procédés (14 chercheurs et Enseignants-chercheurs ~ 6 doctorants – post-doctorants) concernent principalement la thermodynamique des fluides et l'étude des diagrammes de phases. Les diagrammes de phases permettent de définir le meilleur procédé et de montrer comment articuler les opérations unitaires selon les niveaux de température, pression et compositions. L'étude des diagrammes de phases permet également de comprendre les phénomènes physico-chimiques afin d'améliorer le fonctionnement des unités de séparation : c'est la connaissance des aspects moléculaires qui permet le développement des procédés de demain. Le cœur du travail du CTP est la thermodynamique des équilibres entre phases qui associent travail de modélisation, travail expérimental mais également conception d'outils innovants de mesure des propriétés.

Les travaux menés au sein du groupe Transfert Gaz/Liquide et Procédés **(**2 chercheurs et Enseignants-chercheurs ~ 11 doctorants – post-doctorants) du CES concernent la mise en œuvre de nouveaux procédés (développement et optimisation) qui seront utilisés dans la séparation et la capture d'effluents gazeux (y compris le CO2 et sa valorisation) ou dans la production de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique ainsi que les procédés de stockage d'énergie électrique EnR à base de conversion électrochimique autre que les batteries.

- **Département Energétique Industrielle (Mines Douai) :** 4 chercheurs et Enseignants-chercheurs, ~ 1 doctorant – post-doctorant

  Le département Energétique Industrielle de l'Ecole des Mines de Douai développe ses activités de recherche et de transfert de technologie en relation avec l'évolution des besoins industriels et sociétaux : efficacité énergétique, rationalisation de l'utilisation des matières et énergies fossiles, procédés de combustion propres et efficaces. La recherche, à l'Ecole et au département Energétique Industrielle, s'est développée à partir de 1987. Les relations industrielles mises en place et l'arrivée de jeunes docteurs ont constitué les ingrédients de ce développement qui permettent au département de répondre, aujourd'hui, aux trois missions qui sont les siennes : enseignement, recherche et transfert de technologie.

- **GPAN - Génie des procédés frigorifiques – IRSTEA Antony**, 18 chercheurs et Enseignants-chercheurs (dont 11 en GP), 7 ITA, ~ 7 doctorants – post-doctorants

  Les travaux de recherche s'intéressent à l'étude des écoulements et transferts de chaleur et de matière au niveau du produit alimentaire et des équipements mis en œuvre, ainsi qu'à la conception de systèmes frigorifiques performants et à impact réduit sur l'environnement. L'ensemble de ces activités associe modélisation, validation expérimentale et expertise.

- **Laboratoire de Chimie Moléculaire et Génie des Procédés Chimiques et Energétiques (CNAM)** 3 chercheurs et Enseignants-chercheurs - 2 doctorants – post-doctorants – 2 personnels administratifs et techniques.

  Le laboratoire de chimie moléculaire, génie des procédés chimiques et énergétiques (EA 7341) regroupe plusieurs disciplines allant de la chimie moléculaire au génie des procédés chimiques et énergétiques permettant une étude des transformations chimiques, biochimiques ou physiques de l'échelle moléculaire aux systèmes industriels. Les chercheurs du laboratoire s'intéressent à la synthèse de molécules destinées au diagnostic médical ou à visées thérapeutiques. Ils travaillent aussi à l'optimisation des procédés avec une large ouverture sur les procédés innovants.

- **Laboratoire des Technologies Innovantes (Université Picardie Jules Verne), Amiens,** 4 chercheurs et Enseignants-chercheurs

  Le Laboratoire des Technologies Innovantes (LTI) est organisé autour de quatre thématiques réunies sous deux axes principaux qui interagissent : (i) mécanique et couplage et (ii) Energies et Systèmes. Ses activités de recherche s'intègrent dans le domaine des sciences pour l' ingénieur au sein de l'UPJV et dans la région Picardie avec des équipes présentes sur plusieurs sites : Amiens, Saint Quentin et Cuffies/Soissons. Ses

axes et thématiques concernent : la formulation et la valorisation de nouveaux matériaux ainsi que pour l'étude des systèmes mécaniques et des transferts ainsi que la maîtrise de l'énergie dans un système multi sources. Les travaux en cours et les projets de recherche concernent principalement les matériaux nouveaux et l'optimisation énergétique dans les domaines de la construction et des transports.

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Sciences des Aliments (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **Génie et Microbiologie des procédés alimentaires (AgroParisTech – INRA)** : 12 chercheurs et Enseignants-chercheurs ~ 8 doctorants – post-doctorants

  Créée en 1988 sur le campus de Thiverval-Grignon, l'UMR GMPA est constituée d'un groupe pluridisciplinaire de près de 50 permanents (biologie moléculaire, microbiologie et génie microbiologique, génie des procédés, physique et physico-chimie, analyse sensorielle, mathématiques et sciences de la cognition). Ce groupe comprend des personnels de l'INRA et d'AgroParisTech et assure une double mission de recherche et d'enseignement dans le domaine de l'ingénierie des transformations des produits agricoles, alimentaires et biologiques.

- **Ingénierie Procédés Aliments (AgroParisTech – INRA)** : 31 chercheurs et Enseignants-chercheurs - ~14 doctorants – post-doctorants.

  L'UMR GENIAL s'intéresse à l'ensemble du cycle de vie d'un aliment avant ingestion, dans une approche systémique et d'intégration des connaissances. Les approches s'appuient sur la construction de situations expérimentales raisonnées pour comprendre (y compris pour les interactions avec l'homme) en prenant en compte des interactions produit/procédé ; l'élaboration raisonnée d'aliments aux caractéristiques souhaitées et le développement de modèles d'aliments réalistes ; la prise en compte des conditions réelles de transformation afin d'appréhender la dynamique des phénomènes ; la réalisation de dispositifs de laboratoire instrumentés, simulant les conditions de traitement identifiées à l'échelle pilote ou industrielle, et reproduisant notamment les gradients thermiques et de pression, les niveaux de cisaillement et les vitesses d'évolution des grandeurs considérées ; la construction d'un cadre formel de simulation pour raisonner, formaliser nos connaissances, découpler et analyser les interactions compliquées mises en œuvre, qui permet également de développer une capacité de transfert des résultats sous une forme pratique ; le développement d'une capacité analytique et de caractérisation tant physique que chimique ou physico chimique, pour explorer et interpréter les transformations de la matière dans les conditions réelles d'utilisation.

- Laboratoires de la Région Ouest (Bretagne, Limousin, Pays de la Loire) (156 chercheurs, 177 doctorants-post-doctorants)

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Génie des Procédés

- **GEPEA, Laboratoire Génie des Procédés, Environnement et Agro-alimentaire, UMR 6144 CNRS - Université de Nantes – Institut Mines Telecom Atlantique – ONIRIS :** 80 chercheurs et Enseignants-chercheurs - ~100 doctorants – post-doctorants – 40 personnels administratifs et techniques.

  Les activités du laboratoire s'inscrivent dans deux axes, l'un concerne les « Procédés pour les bioressources », avec deux équipes (« Bioprocédés Appliqués aux Microalgues », Matrices et Aliments : Procédés, Propriétés, Structure, Sensoriel), l'autre les « Ecotechnologies », avec trois équipes (Optimisation –Systèmes - Energie », « Traitement de l'Eau et l'Air et Métrologie », « Valorisation Energie/Matière des Résidus et Traitement des Emissions »).

- **OPAALE, Optimisation des Procédés en Agriculture, Agroalimentaire et Environnement, IRSTEA Rennes :** 8 chercheurs - 5 doctorants – post-doctorants.

  Le laboratoire est organisé en quatre équipes (Stratégies d'amélioration des filières et de réduction des impacts, Procédé de valorisation agronomique et énergétique des déchets organiques, Aéraulique et contrôle des atmosphères turbulentes, Caractérisation par RMN-IRM des produits agroalimentaires et de leur transformation) et trois axes transversaux (-Étude et caractérisation multi-échelles et dynamiques des matrices organiques complexes, Etude et caractérisation des écoulements d'air et émissions gazeuses , Modélisation multi-échelles des processus, procédés et filières, évaluation environnementale).

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Chimie (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **ISCR, Institut des Sciences Chimiques de Rennes, UMR 6226 CNRS - Université de Rennes 1 - ENSCR - INSA de Rennes, équipe CIP (Chimie et Ingénierie des Procédés) :** 21 chercheurs et Enseignants-chercheurs - ~30 doctorants – post-doctorants – 4 personnels administratifs et techniques.

  Les activités de CIP représentent environ 10% de l'ISCR. Les problématiques concernent les procédés pour l'environnement (traitement de la micropollution dans l'eau, dans l'air et dans les sols) et les procédés membranaires (modélisation des phénomènes aux interfaces,

nanofiltration en milieu organique).

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Environnement (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **GRESE, Groupement de Recherche Eau, Sols, Environnement, EA 4330, Université de Limoges :** 3 Enseignants-chercheurs - ~4 doctorants – post-doctorants – 1 personnels administratif et technique.

  Les procédés avancés de traitement des eaux, le traitement des déchets et les phénomènes d'adsorption sur support représentent environ 30% de l'activité du GRESE.

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Matériaux (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **IRDL, Institut de Recherche Dupuy de Lôme, FRE CNRS 3744, Université de Bretagne Sud, Université de Bretagne Occidentale, Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest :** 5 Enseignants-chercheurs - ~3 doctorants – post-doctorants.

  Les activités en Génie des Procédés stricto-sensu sont développées dans le domaine des Bioprocédés. Deux équipes de l'IRDL développent par ailleurs des activités aux interfaces avec le Génie des Procédés dans le domaine des Matériaux et de la Thermique-Energétique.

- **MAST, Département Matériaux et Structures, IFSTTAR de Nantes :** 7 chercheurs - ~5 doctorants – post-doctorants – 6 personnels administratifs et techniques**.**

  Les activités liées au Génie des Procédés font partie de la thématique « Développer une économie circulaire de la construction ». La partie de la recherche qui concerne le Génie des Procédés est principalement basé dans la composante du département MAST de Nantes. Ces activités sont regroupées sous l'activité de l'Equipe de recherche Commune PETRA avec le GEPEA.

- **SPCTS, Laboratoire Sciences des Procédés Céramiques et de Traitement de Surface, UMR 7315 CNRS – Université de Limoges – ENSCI :** 24 chercheurs et Enseignants-chercheurs - ~10 doctorants – post-doctorants – 5 personnels administratifs et techniques.

  Les activités de l'axe « Procédés Plasmas et Lasers » (25 % SPCTS) portent majoritairement sur le « Génie des Procédés ». Il s'agit principalement du

développement de procédés plasmas et lasers pour le traitement, la valorisation ou le dépôt de matériaux.

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Mécanique – Energétique - Thermique (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **LTN, Laboratoire de Thermocinétique, UMR 6607 CNRS - Université de Nantes :** 4 chercheurs et Enseignants-chercheurs - ~10 doctorants – post-doctorants – 7 personnels administratifs et techniques.

  Les domaines de recherche principaux concernant le Génie des Procédés sont : les transferts dans les écoulements et les fluides complexes ; les transferts thermiques aux interfaces ; l'étude des propriétés radiatives des matériaux ; la mise en forme des matériaux polymères ; le développement de systèmes et procédés énergétiques.

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Sciences des Aliments (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **STLO, Unité Science et Technologie du Lait et de l'Œuf, UMR 1253 INRA Rennes - Agrocampus Ouest Rennes :** 4 chercheurs et Enseignants-chercheurs - ~10 doctorants – post-doctorants – 7 personnels administratifs et techniques.

  Le laboratoire développe deux axes de recherche liés au Génie des Procédés, d'une part les opérations de fractionnement et concentration (Etude des transferts de matière et de chaleur au sein des opérations unitaires de fractionnement et de concentration (filtration, évaporation, séchage par atomisation), modélisation des opérations unitaires, développement de méthodes et d'outils prédictifs, étude des relations procédé / produits), et d'autre part l'Ecoconception des procédés.

- Laboratoires de la Région Sud-Est (Auvergne-Rhône-Alpes, Provence-Alpes-Côte d'Azur) (791 chercheurs, 291 doctorants-post-doctorants)

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Génie des Procédés

- **CTP, Grenoble – Centre Technique du Papier -** 35 chercheurs, 37 techniciens et 6 doctorants

  Il s'agit d'un centre technique qui comprend un nombre important de personnels techniques. Les activités qui relèvent du GP traitent des impacts des procédés papetiers sur l'environnement. Il s'agit d'opérations unitaires tel que : extraction, blanchiment, bioraffinerie, pulpage, raffinage, épuration et plus généralement le développement de procédés qui réduisent les utilisations d'eau et d'énergie, les traitements des effluents, la thermique des procédés, etc.

- **DEEP – Déchets Eaux Environnement et Pollutions – INSA Lyon.** 22 chercheurs, 10 techniciens et 15 doctorants

  Le laboratoire comprend 3 axes thématiques : connaissance des émissions et transferts de polluants ; procédés de traitement et valorisation ; méthodes d'évaluation environnementale et de performance. Il traite des aspects traitement des eaux des hydrosystèmes urbains, et des traitements des déchets, des sols et des sédiments avec des sujets qui vont des méthodes de traitement des déchets (compostage, méthanisation, traitement des biogaz, etc.) à la modélisation des réseaux d'assainissement.

- **IFPEN, Solaize – Département Conduite de l'Expérimentation - IFPEN Direction Expérimentation Procédés** – 27 chercheurs et 65 techniciens

  Ce laboratoire a pour tâches de : assurer le fonctionnement des unités pilotes 24h/24h, 365 jours/an. Les tests opérés suivant un protocole précis permettent de valider les propriétés des produits (catalyseurs, adsorbants...) ou de qualifier les procédés.

- **IFPEN, Solaize – Département Intensification de l'Expérimentation - IFPEN Direction Expérimentation Procédés** - 10 chercheurs et 7 techniciens et 4 doctorants

  Ce laboratoire a pour tâches de concevoir et caractériser des installations fiables. Il étudie et simule les phénomènes hydrodynamiques, de transport et thermiques inhérents aux équipements de petites dimensions. Il améliore le suivi de ces équipements par le développement de capteurs et d'analyses en ligne adaptés.

- **IFPEN, Solaize - Génie Chimique et Technologies – IFPEN Direction Conception Modélisation Procédés**, 22 chercheurs, 9 techniciens et 4 doctorants

  Ce département a les tâches suivantes : comprendre et décrire l'hydrodynamique et les transferts dans les opérations unitaires, concevoir les outils expérimentaux nécessaires ; proposer et développer de nouvelles technologies pour la mise en œuvre d'opérations unitaires ; définir les règles d'extrapolation.

- **IFPEN, Solaize – Process design** - – **IFPEN Direction Conception Modélisation Procédés** - 40 chercheurs

  Ce département comprend 4 groupes : 1- Gaz naturel, H_2, CO_2, énergie, légers, essences ; 2- Distillats moyens, conversion des lourds ; 3- Pétrochimie et chimie verte ; 4- Biocarburants, XTL. Il a pour tâches de : proposer des procédés et des enchaînements innovants prenant en compte les exigences futures ; contribuer au pré-développement des procédés ; définir les schémas, les enchaînements et les technologies à mettre en œuvre ; vérifier la faisabilité technique des nouveaux procédés et identifier les points clés à approfondir ; réaliser l'optimisation énergétique et environnementale des procédés ; comparer les procédés à la concurrence ; réaliser les guides d'études R&D les process book et le démarrage des plateformes collaboratives.

- **IFPEN, Solaize – Réactions et modélisation des réacteurs** - **IFPEN Direction Conception Modélisation Procédés** - 21 chercheurs, 7 techniciens et 6 doctorants

  Ce département a pour tâches de : réaliser les modèles et les simulateurs de réacteurs à destination de clients externes et en support à la réalisation des test de développement ; développer les méthodologies de modélisation et d'acquisition de données pour accélérer la mise à disposition de modèles ; conduire une recherche dans le domaine de la modélisation cinétique en poursuivant le développement et l'application des méthodologies d'études des réseaux réactionnels complexes.

- **LAGEP, Lyon - Laboratoire d'Automatique et Génie des Procédés ; UCB, CNRS.** 45 chercheurs, 5 techniciens et 45 doctorants

Les activités du LAGEP portent d'une part sur la modélisation dynamique pour l'estimation des paramètres physico-chimiques et pour la commande de procédés et des systèmes énergétiques et, d'autre part, sur la maîtrise des propriétés physiques des particules solides. Mise au point des procédés d'élaboration du solide particulaire. Le laboratoire comprend 4 équipes : Procédés Elaboration du Solide ; Génie Pharmaco-technique ; Dynamique et commandes procédés ; Systèmes non linéaires et Procédés. Le LAGEP inscrit ses activités dans le GP avec des thèmes comme : théorie des graphes et bond graphs pour la modélisation ; approche thermodynamique pour la modélisation ; modélisation des phénomènes de transfert de matière et de chaleur dans les milieux poly-phasiques ; modélisation des phénomènes de transition de phase, d'agrégation, de brisure, de coagulation, de nucléation des particules solides ; techniques expérimentales de suivi en ligne et in situ de l'état du solide divisé lors d'un procédé.

- **LGP2, Grenoble – Laboratoire de Génie des Procédés Papetiers - G-INP, CNRS, AGEFPI –** 23 chercheurs, 10 techniciens et 40 doctorants

Le laboratoire est structuré en 3 équipes de recherche : 1- Bioraffinerie - chimie et éco-procédés ; 2- Matériaux biosourcés multi-Echelles ; 3- Fonctionnalisation de surface par procédés d'impression. Ses activités portent sur les procédés de mise en œuvre de fibres végétales ; les bioraffineries ; les procédés d'élaboration matériaux biosourcés : les procédés d'impression.

- **LGPC, Lyon - Laboratoire de Génie des Procédés Catalytiques - CPE, CNRS, UCB.** 10 chercheurs, 14 techniciens et 8 doctorants

Le laboratoire a des activités typiques du GP : Intensification des procédés - réacteurs catalytiques – réacteurs structurés – cinétique – transferts de masse et de chaleur – hydrodynamique – microréacteurs – milieu réactif – catalyseur structurés – milieux polyphasiques – couplage réaction-transfert. Ses activités portent sur : l'énergie – la chimie des intermédiaires – la chimie fine et pharmaceutique – l'environnement – la biomasse.

- **LOCIE, Chambéry – Laboratoire Optimisation de la Conception et Ingénierie de l'Environnement - USMB, CNRS -** 27 chercheurs, 7 techniciens et 25 doctorants

Les activités du laboratoire s'inscrivent dans le domaine du génie des procédés. Elles sont articulées autour de 4 thèmes : 1- Conversion locale de l'énergie pour l'autonomie des bâtiments ; 2- Systèmes solaires thermiques et stockage ; 3- Maitrise des flux pour la qualité des ambiances : 4- Caractérisation du bâtiment, évaluation et amélioration des performances. Ceci comprend des activités sur les bioconversions et les biopiles ; le traitement de l'air, l'électrofiltration, l'adsorption, le stockage de l'énergie par absorption ou adsorption, etc.

- **LRP, Grenoble – Laboratoire Rhéologie et Procédés - UGA, G-INP, CNRS –** 18 chercheurs, 6 techniciens, et 17 doctorants.

  Le laboratoire comporte 3 équipes : « mécanique des fluides complexes », « rhéophysique de la matière molle » et « génie des procédés ». Il affiche, en particulier dans la troisième équipe, des activités en génie de procédés : - bioraffinerie ; extraction continue de nano-cristaux ; fibrillation in-situ par extrusion ; transferts de chaleur de matière et réactivité ; écoulements sous ultrasons ; catalyse hétérogène de réaction gaz liquide ; séparation membranaire ; scale-up, séparation membranaire et intensification des procédés par ultrasons ; étude de la distribution des temps de séjour sur un réacteur ultrasonore ; fabrication de mousse de cellulose à l'aide de mélangeurs statiques ; conditionnement de produits agro-alimentaires, etc.

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Automatique (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **Institut Pascal, Clermont-Ferrand – Axe Génie des Procédés, Énergétique et Biosystèmes, CNRS, UCA, SIGMA -** 27 chercheurs – 4 techniciens et 18 doctorants

  L'institut Pascal regroupe toutes les forces de recherche en sciences de l'ingénierie et de systèmes de la place clermontoise. Le centrage scientifique de l'axe GePEB se situe dans le domaine génie des procédés et des bioprocédés. Ceci recouvre des thèmes de recherche qui portent sur : cultures de microorganismes ; photobioréacteurs et systèmes photoréactifs ; biotransformations ; biopolymères : caractérisations, fonctionnalisation et séparations ; bioséparations ; thermodynamique appliquée ; écosystèmes clos artificiels pour l'exploration spatiale, etc.

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Biologie (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **BBF, Marseille – AMU, INRA –** Biodiversité et Biotechnologies Fongiques : 4 chercheurs, 2 techniciens et 2 doctorants

  Une partie de la thématique de recherche du laboratoire s'inscrit dans le cadre du programme bioraffinerie des lignocelluloses. Plus largement, le laboratoire étudie les champignons filamenteux comme source d'innovations pour la valorisation de la biomasse pour la chimie et l'énergie (9 brevets déposés depuis 2013 et 2 licences de savoir-faire exclusives) avec des aspects émergeants en génie des procédés.

- **BIAM, Marseille – AMU, CNRS, CEA – Institut de Biosciences et Biotechnologies :** 4 chercheurs, 2 techniciens et 2 doctorants sont concernés par les approches GP

  L'institut (près de 150 personnes) s'intéresse aux réponses du vivant aux contraintes environnementales, aux mécanismes de bioconversion de l'énergie et de production de molécules à forte teneur énergétique (Bioénergies). Il développe des biotechnologies visant à préserver la qualité de l'environnement et la santé (bio-détection & bio-remédiation) ou à produire des biocarburants. C'est sur ces derniers aspects qu'interviennent les approches GP.

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Bioressources (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **CERMAV, Grenoble – Centre de Recherches sur les Macromolécules Végétales - CNRS –** 5 chercheurs, 3 techniciens et 3 doctorants

  Le CERMAV est un centre de recherche sur les macromolécules végétales. Dans un contexte de recherche englobant des activités de recherche sur la structure et la fonctionnalisation de polysaccharides, le laboratoire affiche des thèmes de recherche centrés sur le génie des procédés, tel que : fractionnement d'agroressources (nanocristaux, microfibrilles) ; fonctionnalisation de surface ; élaboration et mise en œuvre de matériaux biosourcés ; relation structure-procédé-propriétés ; production d'oligosaccharides complexes en fermenteurs.

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Chimie (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **CEA, Marcoule – Département Radiochimie et Procédés (90 personnes) – Département d'études du traitement et du conditionnement des déchets (146 personnes) – Département de technologie du cycle du combustible (57 personnes) – Service d'études des procédés d'enrichissement (60 personnes).** Soit environ 180 chercheurs au total dont les activités sont centrées sur le génie des procédés.

  Dans un contexte large de traitement du combustible nucléaire, les trois départements et le service d'étude ont des activités et des compétences qui ressortent du domaine du génie des procédés.
  Pour le premier département, ceci comprend : le développement de procédés de dissolution et de piégeage des rejets gazeux ; la chimie séparative et le développement des procédés de séparation ; le développement des procédés de conversion des actinides.
  Pour le deuxième département, il s'agit : de procédés de vitrification/céramisation des déchets et la modélisation associée ; Procédés thermiques innovants de traitement des déchets (incinération, incinération/vitrification) ; de procédés de décontamination des

déchets liquides et solides, mettant notamment en œuvre des fluides complexes (fluides denses et supercritiques, tensioactifs, mousses et gels) ; de procédés mettant en œuvre des fluides supercritiques, notamment pour l'imprégnation et l'élaboration des matériaux, l'extraction, la destruction de liquides organiques.

Pour le troisième département, il s'agit : des études technologiques et de la mise au point des procédés de traitement, pour l'amont et l'aval du cycle, en soutien à l'Installation nucléaire de base Atalante et pour les besoins des installations des cycles des systèmes du futur, notamment l'extraction liquide/liquide ; des expérimentations pilotes en génie des procédés ; d'intégrer les résultats de recherche et développement pour assurer l'interface avec les industriels et de réaliser l'évaluation technico-économique des actions liées au cycle, en liaison avec l'Institut de technico-économie des systèmes énergétiques.

Le service d'études des procédés d'enrichissement a pour mission d'assurer une veille technologique sur les procédés d'enrichissement et un soutien aux industriels de l'amont du cycle ; de concevoir, de dimensionner et de mettre en œuvre des bancs d'essai et des installations pour les programmes ; d'élaborer, de caractériser et de modéliser le comportement dans le temps en situations représentatives des composants des procédés.

- **ICCF, Clermont-Ferrand - Institut de Chimie de Clermont-Ferrand - Thermodynamique et Interactions Moléculaires, CNRS, UCA, SIGMA -** 6 chercheurs, 2 techniciens et 4 doctorants en génie des procédés.

L'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand regroupe toutes les forces de recherche en chimie de la place clermontoise. L'équipe « thermodynamique et interactions moléculaires » a des activités dans le domaine de la thermodynamique appliquée avec des applications en génie des procédés sur les procédés de captage du CO_2 : les séparations de gaz ; les nouveaux solvants et milieux réactionnels pour chimie durable, etc.

- **LEPMI, Grenoble, Chambéry – Laboratoire d'Électrochimie et de Physicochimie des Matériaux et des Interfaces - USMB, UAG, G-INP, CNRS –** 10 chercheurs, 3 techniciens et 3 doctorants

L'équipe « électrochimie interfaciale et procédés » au sein du LEPMI affiche des activités en génie électrochimique (transferts de matière, charge et chaleur, procédés électrochimiques, électro-synthèse, électrodéposition, électro-décomposition, caractérisations électrochimiques couplées, etc.). L'équipe a également des activités en bioprocédés avec des applications à la production de biohydrogène et aux biopiles (piles à combustibles microbiennes).

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Environnement (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **CEREGE, Aix-en-Provence – Centre Européen de Recherche et d'Enseignement en Géosciences et en Environnement - AMU, CNRS, INRA, Collège de France –** 5 chercheurs, 3 techniciens et 3 doctorants.

  Dans le thème nanomatériaux, déchets et polluants, des études sont mises en place dans le but de développer et proposer des procédés innovants pour minimiser l'impact des déchets sur l'homme et l'environnement, traiter les pollutions et contribuer à la protection des milieux fragiles.

- **IMBE, Marseille – AMU, CNRS, IRD - Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie Marine et Continentale** : 5 chercheurs et 3 doctorants concernés par l'approche GP

  L'équipe « écotechnologies et biorémédiation » étudie en conditions de laboratoire et *in situ* des solutions de détoxification, de dépollution ou de stabilisation de contaminants à l'aide de plantes et de microorganismes.

- **LCE, Marseille – AMU, CNRS – Laboratoire de Chimie de l'Environnement :** 5 chercheurs, 2 techniciens et 3 doctorants

  Des travaux sur le compostage des boues d'épuration, sur la déchloration des eaux et sur un procédé d'élimination de matières organiques et de production d'énergie (6 brevets depuis 2007).

- **REVERSAAL, Lyon – IRSTEA –** 4 chercheurs, 3 doctorants.

  L'UR REVERSAAL (REduire VaLorisEr Réutiliser les reSsources des eAux résiduAires) mènent des recherches visant à préfigurer la station de récupération des ressources de l'eau, impliquant des procédés de valorisation et de traitement des effluents urbains (eaux résiduaires, rejets urbains de temps de pluie, boues d'épuration). Les recherches se déclinent selon trois axes : (i) réduire les flux émis ; (ii) réutiliser les eaux traitées et (iii) récupérer et valoriser les ressources. Les questions des recherche concernent : a) La mesure et la modélisation du transfert et des transformations des effluents, b) l'élaboration de protocoles et dispositifs pour caractériser les performances techniques et énergétiques des écotechnologies, c) l'optimisation des procédé de traitement de l'eau, dont ceux de valorisation (gaz, eau, matières), d) le maintien des capacités d'infiltration et la porosité des milieux de traitement (lutte contre le colmatage), e) le lien entre la composition de la matière organique des eaux résiduaires et leur capacité à produire un vecteur énergétique. L'unité compte 15 permanents dont 11 ingénieurs/chercheurs, et une dizaine d'agents non titulaires (doctorants/post-doctorants/CDD).

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont Matériaux (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **CINAM, Marseille – AMU, CNRS – Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille** : 5 chercheurs, 2 techniciens et 2 doctorants concernés par le GP

  La partie concernée par des approches GP porte sur l'étude de la compréhension et du contrôle des différentes étapes de la cristallisation - solubilité, nucléation, croissance et transition de phases (polymorphismes et démixtion), sur des approches classiques et non classiques de la cristallisation et sur l'étude des interactions moléculaires, la structuration, l'assemblage et la cristallisation des biomolécules.

- **SIMaP, Grenoble – Science et Ingénierie des Matériaux et Procédés UGA, G-INP, CNRS –** 15 chercheurs, 20 techniciens et 11 doctorants

  SIMaP est un laboratoire centré sur l'ingénierie des matériaux. Les activités de 2 groupes ressortent plus particulièrement du génie des procédés : groupe « thermodynamique, modélisation et optimisation des procédés » et groupe « élaboration par procédés magnétiques ». Ceci couvre des activités comme : fabrication additive, procédés de dépôts en surface CVD et ALD, croissance cristalline, procédés de traitement électromagnétique, purification ; conception et procédé pour la fabrication d'architectures, etc.

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont Mécanique – Energétique - Thermique (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **CEA LITEN, Grenoble – Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et de nanomatériaux - CEA –** effectif en génie des procédés : environ 120 chercheurs

  Cet institut est focalisé sur les piliers principaux accompagnant la stratégie française dans la transition énergétique : 1- énergies renouvelables (énergie solaire et bioressources) ; 2- maîtrise de la consommation énergétique (bâtiments et systèmes industriels) ; 3- matériaux pour l'énergie. Une partie de l'institut a un ancrage fort avec les thématiques du génie des procédés, notamment pour les applications qui concernent la production, le stockage, la conversion et la gestion des vecteurs énergétiques.

- **IRPHE, Marseille – AMU, ECM, CNRS – Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibres :** 15 chercheurs et 7 doctorants ressortant de l'approche GP

  Au sein de cet institut pluridisciplinaire, des travaux ressortent d'approche en génie des procédés, par exemple la combustion et les systèmes réactifs, la physique des fronts et des interfaces. Dans le domaine plus spécifique du procédé, des travaux sont menés en collaboration avec des industriels sur les problématiques de mélange industriel.

- **IUSTI, Marseille – AMU, CNRS – Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels -** 20 chercheurs et 15 techniciens et 10 doctorants concernés par le GP

  Le laboratoire est une UMR CNRS AMU et regroupe plus de 150 chercheurs. Les thèmes qui ressortent du génie des procédés comprennent : les milieux divisés et les fluides complexes ; la combustion ; les changements de phase et interfaces ; les écoulements polyphasiques ; la microfluidique ; la thermique ainsi que des sujets qui touchent à la propagation des ondes de choc et des aspects diagnostics et imagerie. Des travaux importants sont réalisés sur les procédés thermiques (de gazéification notamment), mais aussi sur des procédés à lits fluidisés, des procédés de traitement de surface ou encore sur l'étude des transferts de masse et d'énergie pour des applications de dessalement d'eaux.

- **LEGI, Grenoble – Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels – G-INP, UGA, CNRS –** 6 chercheurs et 7 doctorants

  Le laboratoire a une activité centrale en mécanique des fluides. L'équipe « énergétique » a des thèmes de recherche qui impliquent le génie des procédés. Elle se consacre à l'étude expérimentale et théorique de phénomènes ou procédés thermiques en lien avec l'industrie ou l'habitat. Elle est née de la fusion du groupe dédié aux turbomachines et à la cavitation et de celui dédié aux transferts de chaleur et de masse.

- **LGF (SPIN), St Etienne - Laboratoire Georges Friedel - Sciences des Procédés Industriels et Naturels – Mines St Etienne – CNRS -** 10 chercheurs, 15 techniciens et 15 doctorants.

  Une des cinq équipes du laboratoire Georges Friedel, dont l'activité principale ressort plutôt de la mécanique (au total 50 chercheurs et 150 techniciens et doctorants), inscrit ses activités dans le domaine du génie des procédés : équipe « procédés en milieux dispersés et granulaires ». Les activités portent sur la physico-chimie des milieux granulaires et particulaires et sur les outils spatio-temporels utilisés pour la modélisation de ces milieux. Les mots clés correspondants comprennent : simulation et modélisation de milieux solides, bilan de populations, caractérisation physico-chimiques et morphologiques de milieux solides, etc.

- **M2P2, Marseille – AMU, ECM, CNRS – Laboratoire de Mécanique, Modélisation et Procédés Propres -** 21 chercheurs, 7 techniciens et 15 doctorants

  Le laboratoire est structuré autour de deux thèmes - génie des procédés et mécanique - et en six équipes. La partie génie des procédés concerne essentiellement 3 équipes : procédés membranaires, procédés et fluides hypercritiques, traitement des eaux et des déchets. On retrouve une intersection avec la thématique mécanique dans une quatrième équipe « procédés et mécanique aux petites échelles ». Les mots clés comprennent le génie de la réaction biologique, les transferts gaz-liquide en milieux haute pression, les procédés de gazéification en lits fixes et fluidisés, les procédés membranaires (dont les bioréacteurs à membranes), l'extraction et le fractionnement supercritique, la cristallisation.

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Plasmas (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **LP3, Marseille – AMU, CNRS – Lasers, Plasmas et Procédés Photoniques :** 4 chercheurs, 2 techniciens et 2 doctorants concernés par les approches GP

  Ce laboratoire mène des travaux sur la physique des interactions lasers impulsionnels – matière afin de développer de nouveaux procédés photoniques. Certains travaux liés au génie des procédés portent sur les plasmas, au sein de la communauté française des plasmas, notamment sur la fabrication de nanoparticules et sur la maitrise des impacts environnementaux pour l'environnement de ces procédés.

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Sciences des Aliments (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **BioDyMia, Bourg en Bresse - Bioingénierie et Dynamique Microbienne aux Interfaces Alimentaires – UCB – ISARA -** 3 chercheurs.

  Le laboratoire a une activité en périphérie du génie des procédés. C'est une unité mono-équipe dont les activités sont centrées sur la bio-préservation des aliments. Ceci comprend 2 thèmes principaux : l'identification et la caractérisation d'agents de bio-préservation ; les stratégies innovantes d'association bio-polymères et les agents de bio-préservation.

- **LRFA, Aurillac - Laboratoire de Recherches Fromagères d'Aurillac – INRA –** 8 chercheurs, 3 techniciens et 2 doctorants.

  Les missions de l'unité s'inscrivent dans le contexte de la production de fromages traditionnels au lait cru. Elles ont pour objectif de mieux comprendre les interactions entre les facteurs déterminants dans l'élaboration de ces qualités que sont : les caractéristiques de la matière première lait en relation avec l'alimentation des animaux ; les communautés microbiennes de la ferme aux fromages affinés.

- **QuaPA, Clermont-Ferrand Theix - Qualité des Produits Animaux – INRA -** 3 chercheurs, 2 techniciens et 2 doctorants en génie des procédés.

  L'unité « Qualité des produits animaux » a une activité reconnue en génie des procédés alimentaires. Ses activités du domaine comprennent : transferts de chaleur et de matière pour les procédés de transformation des produits carnés ; génie des réactions d'oxydation ; modélisation hydrodynamique des procédés de séchage ; optimisation des itinéraires technologiques (ensemble d'opérations unitaires) en vue de limiter les pertes en produits carnés, etc.

- **SQPOV, Avignon – UA, INRA - Sécurité et Qualité des Produits d'Origine Végétale :** 7 chercheurs, 5 techniciens et 4 doctorants rattachés aux activités en GP

  Les aspects génie des procédés concernent essentiellement l'équipe « Éco-extraction des produits naturels ». Son positionnement se situe dans la chaine globale « du végétal à la molécule » avec plusieurs opérations unitaires comme le broyage, le séchage du végétal, l'extraction solide/liquide, la distillation, la séparation, la purification et l'hémi-synthèse. Ceci recouvre la mise au point de procédés d'extraction « sans solvant » utilisant des procédés propres comme les micro-ondes mettant en jeu des nouveaux phénomènes thermiques pouvant intensifier les phénomènes de transfert de matière.

- Laboratoires de la Région Sud-Ouest (ex-Aquitaine, Occitanie) (428 chercheurs, 407 doctorants-post-doctorants)

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Génie des Procédés

- **BIOWOOEB, Montpellier, Biomasse, Bois Energie Bio-produits, UR CIRAD :** 20 chercheurs et Enseignants-chercheurs - 16 doctorants – post-doctorants.

  Les thèmes de recherche sont :
  -Connaissance et caractérisation de la biomasse ligneuse et de son pré conditionnement
  -Génie des procédés thermochimiques
  -Bioproduits fonctionnels et matériaux composites
  - Stratégies économiques et environnementales des systèmes biomasse.

- **IATE, Montpellier, Ingénierie des Agropolymères et Technologies Emergentes UMR INRA, CIRAD, Université Montpellier II et SupAgro:** 57 chercheurs et Enseignants-chercheurs - 29 doctorants – post-doctorants.

  L'Unité a pour objectif général de contribuer à l'amélioration des connaissances sur les fonctionnalités des produits végétaux et de leurs constituants en vue d'augmenter leurs performances tant pour des usages alimentaires que non alimentaires. Les axes de recherches concernent :
  - Fractionnement des agro ressources
  - Structuration sous contraintes des agropolymères et réactivité des poudres
  - Transmat : transferts de matière et réactions dans les systèmes aliment/emballage
  - Biotechnologie microbienne et enzymatique des lipides et des agropolymères
  - Ingénierie des connaissances pour améliorer l'usage des agro-ressources.

- **LATEP, Pau, Laboratoire de Thermique Energétique et Procédés, EA 1932, Université de Pau et des Pays de l'Adour :** 23 chercheurs et Enseignants-chercheurs – 19 doctorants – post-doctorants

  Les compétences du laboratoire sont mises en application pour répondre à des enjeux sociétaux d'importance focalisés autour de la transition énergétique : stockage de l'énergie (surface et sous-sol), optimisation et efficacité des systèmes énergétiques et des procédés, chaine CTSC "Captage, Transport et Stockage du CO2", traitement de l'air intérieur, valorisation des déchets, déshydratation des boues.

- **LBE Narbonne, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement UPR INRA, sous contrat avec Montpellier Supagro :** 12 chercheurs et Enseignants-chercheurs - 19 doctorants – post-doctorants.

  Le LBE est centré sur le concept de la bioraffinerie environnementale. Les thèmes de recherche sont :
  - Diversité et ingénierie des écosystèmes microbiens (DIEM)
  - Matières complexes et ingénierie des bioprocédés (MaXIP)
  - Système analyse modélisation et informatique (SAMI)

- Développement Technologique et Innovation (DTI)

- **LE2P, La Réunion, Laboratoire d'Energétique, d'Electronique et Procédés Université de la Réunion** : 12 chercheurs et Enseignants-chercheurs – 15 doctorants – post-doctorants

  Le laboratoire travaille sur l'optimisation de systèmes énergétiques solaires photovoltaïques intelligents" Ces travaux sont organisés au sein de 4 projets transversaux et pluridisciplinaires:
  - variabilité du gisement solaire à La Réunion et en zone tropicale
  - caractérisation, optimisation énergétique de cellules photovoltaïques
  - stockage de l'énergie
  - optimisation énergétique de réseaux de capteurs.

- **LGC, Toulouse, Laboratoire de Génie Chimique UMR5503 du CNRS, Institut National Polytechnique de Toulouse, Université Paul Sabatier de Toulouse :** 110 chercheurs et Enseignants-chercheurs - ~120 doctorants – post-doctorants – 55 personnels administratifs et techniques.

  Les activités de recherche traitent de la conception des réacteurs chimiques ou biologiques, de la thermodynamique de systèmes complexes, des cinétiques de transformation physique, chimique ou biologique, de modélisation des phénomènes de l'échelle moléculaire à l'échelle du procédé. Les recherches sont particulièrement actives dans le domaine du traitement de l'eau et des effluents, de l'ingénierie pour la santé, de la conception de procédés hybrides, des microprocédés, des procédés pour la production de matériaux avancés incluant les micro- ou nano-particules ou les objets nanostructurés, de la production d'énergie non carbonée. Le LGC est structuré en six départements scientifiques :
  -Génie des Interfaces et des Milieux Divisés (GIMD)
  -Procédés Electrochimiques (PE)
  -Ingénierie des Réacteurs Polyphasiques Innovants (IRPI)
  - Science et Technologie des Procédés Intensifiés (STPI)
  - Bioprocédés et Systèmes Microbiens (BioSyM)
  - Procédés et Systèmes Industriels (PSI).

- **PROMES, Odeillo-Font Romeu et Perpignan, Procédés Matériaux et Energie Solaire, UPR8521 CNRS :** 48 chercheurs et Enseignants-chercheurs - 50 doctorants – post-doctorants.

  Les activités sont centrées sur l'énergie solaire et sa valorisation sur tous les plans. Deux axes sont développés :
  - Matériaux et conditions extrêmes :
  - Matériaux Hautes Températures et Carburants Solaires
  - Photovoltaïque, Plasmas, Couches Minces
  - Systèmes et Structures Nanométriques : Propriétés Optiques, Electroniques et Magnétiques
  - Conversion, stockage, transport de l'énergie :
  - Thermophysique, Rayonnement et Écoulement pour les Centrales Solaires
  - Thermodynamique, Energétique et Systèmes réactifs
  - Stockage pour Hélioprocédés Photochimiques et Energétiques

- Commande des Systèmes, Instrumentation et Caractérisation
- Supervision, Énergie solaire, Systèmes Électriques.

- **RAPSODEE, Albi, Recherche d'Albi en génie des Procédés des Solides Divisés, de l'Énergie et de l'Environnement, UMR5302, CNRS, Mines Telecom :** 35 chercheurs et Enseignants-chercheurs - 46 doctorants – post-doctorants.

  Les activités du laboratoire sont structurées en deux groupes de recherche qui mènent des recherches dans les domaines de l'énergie, de l'environnement et du génie particulaire.
  • la production de vecteurs énergétiques et de matériaux à propriétés contrôlées, en développant des procédés à haute efficacité énergétique et environnementale, à partir de biomasse issue de cultures dédiées ou de biomasse résiduaire plus ou moins contaminée par des polluants métalliques et/ou organiques.
  • la conception et le développement de nouveaux procédés durables (plus intenses, plus économes, plus respectueux, plus sûrs) utilisant des solides divisés et mettant en œuvre des méthodes de caractérisation, de génération, de transport, de formulation, de mélange et de mise en forme des particules.

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Biologie (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **LISBP Toulouse, Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Biologiques et des Procédés, UMR5150 CNRS, INRA, INSA:** 38 chercheurs et Enseignants-chercheurs – 12 doctorants – post-doctorants

  Le laboratoire fonctionne autour de trois domaines scientifiques : biocatalyse, Microbiologie et Génie des Procédés. Pour le génie des procédés, les équipes concernées sont :
  - Fermentation advances and microbial engineering
  - Ecosystèmes microbiens et bioprocédés d'épuration et de valorisation
  - Transfert interface mélange
  - Séparation oxydation et procédés hybrides pour l'environnement

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Bioressources (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **LCA, Toulouse, Laboratoire de Chimie Agro-industrielle, UMR 1010, INRA, INP :** 10 chercheurs et Enseignants-chercheurs – 20 doctorants – post-doctorants.

  Le laboratoire développe des connaissances sur les structures chimiques, les propriétés et la réactivité des agromolécules.

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Chimie (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **LOF, Bordeaux, Laboratoire du Futur, UMR 5258, CNRS/Université de Bordeaux/Solvay :** 3 chercheurs– 2 doctorants – post-doctorants**.**

  Procédés aux petites échelles, microfluidique, physico-chimie, expérimentation, réacteur hétérogène, système hétérogène.

Laboratoire dont les activités principales de recherche sont en Matériaux (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **IEM, Montpellier, Institut Européen des Membranes, UMR CNRS, Université de Montpellier, ENSCM:** 14 chercheurs et Enseignants-chercheurs – 15 doctorants – post-doctorants

  L'IEM est structuré en trois départements scientifiques qui sont :
  - Design de Matériaux Membranaires et systèmes Multifonctionnels (DM3)
  - Interface, Physicochimie, Polymères (IP2)
  - Génie des Procédés Membranaires (GPM)

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Mécanique – Energétique - Thermique (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **IMFT, Toulouse, Institut de Mécanique des Fluides, UMR 5502 du CNRS, de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, de l'Université Paul Sabatier de Toulouse** : 3 chercheurs et Enseignants-chercheurs – 4 doctorants – post-doctorants**.**

  Les thèmes développés dans le domaine du génie des procédés sont :
  - Transferts et Réactions chimiques dans les milieux hétérogènes et les écoulements diphasiques
  - Lits Fluidisés réactifs / Combustion / Fluides non-newtoniens
  - Génie pétrolier (extraction, transport et transformation des hydrocarbures).

- **LFCR, Pau, Laboratoire Fluides Complexes et leurs Réservoirs, UMR5150 CNRS, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Société TOTAL :** 10 chercheurs et Enseignants-chercheurs – 10 doctorants – post-doctorants

  Le laboratoire étudie la physico-chimie des interfaces, la géologie des réservoirs, la thermodynamique des fluides sous pression, la géomécanique et la géophysique, Il est organisé en quatre équipes de recherche :
  - « Interfaces et systèmes dispersés »
  - « Propriétés thermophysiques »
  - « Géomécanique et Milieux poreux »
  - « Caractérisation des Réservoirs géologiques ».

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont en Plasmas (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **LAPLACE, Toulouse, Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie, UMR 5213 du CNRS, de Institut National Polytechnique de Toulouse, de l'Université Paul Sabatier de Toulouse** : 5 chercheurs et Enseignants-chercheurs – 7 doctorants – post-doctorants**.**

  Les thèmes développés dans le domaine du génie des procédés sont :

  - Le dépôt assisté par plasma froid (PECVD) à très basse pression (env. 10-3 mbar), basse pression (quelques millibars) et pression atmosphérique.
  - L'élaboration de couches nanocomposites
  - Le traitement et préparation de surfaces
  - La cinétique en phase gazeuse
  - La simulation des décharges à la pression atmosphérique et du transport réactif dans les réacteurs de PECVD.

Laboratoires dont les activités principales de recherche sont Sciences des Aliments (les effectifs correspondent à ceux du Génie des Procédés)

- **Qualisud, Montpellier, UMR CIRAD, Université de Montpellier, Montpellier SupAgro :** 33 chercheurs et Enseignants-chercheurs – 18 doctorants – post-doctorants.

  QualiSud œuvre dans le domaine de la transformation de l'aliment, de son processus d'élaboration après récolte ou abattage jusqu'à l'appréciation de sa qualité sensorielle en bouche, de sa qualité nutritionnelle, de son bénéfice santé, de son innocuité et de ses propriétés technologiques. Les mécanismes dynamiques de construction de cette qualité nécessitent une bonne connaissance de la matrice alimentaire et de son interaction avec le milieu. L'objectif scientifique est la mise en œuvre d'une démarche intégrée originale pour la conception et/ou l'optimisation de procédés de transformation ou de stabilisation durables de produits agro-alimentaires tropicaux et méditerranéens.

- **SPO, Montpellier, Laboratoire Sciences pour l'Oenologie, UMR 1083 INRA, Université de Montpellier, Montpellier SupAgro :** 34 chercheurs et enseignants-chercheurs, dont 5 en Génie des Procédés – 20 doctorants – post-doctorants, dont 5 en Génie des Procédés.

  Les recherches menées au sein de l'UMR SPO visent à mieux comprendre les mécanismes impliqués lors de l'élaboration du vin. L'Unité Mixte de Recherches Sciences Pour l'Œnologie (UMR 1083) est constituée de 3 équipes de recherche :

  - ADEL : Adaptation, Diversité et Ecologie des Levures
  - BIO : Biomolécules d'Intérêt Œnologique
  - FLAM : Fermentation alcoolique : Levures, Arômes, Métabolisme.

Les Fédérations de recherche

Les laboratoires de Génie des Procédés sont impliqués dans plusieurs Fédérations de Recherche du CNRS ou des Structures Fédératives, qui permettent de travailler en interaction forte avec les autres disciplines. Voici quelques exemples (les ***laboratoires de Génie des Procédés*** sont en italiques et gras) :

- **FédEsol – FR CNRS :** Fédération de Recherche sur l'Energie Solaire : Laboratoires : ICUBE Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie (UMR7357) (Strasbourg),, Institut d'électronique du solide et des Systèmes UMR 7357 (Strasbourg), LGRE Laboratoire de gestion des risques et environnement EA 2334 (Mulhouse), I2M Institut de mécanique et d'ingénierie UMR 5295 (Bordeaux), SIAME Laboratoire des sciences de l'ingénieur appliquées à la mécanique et au génie électrique EA4581 (Pau), Institut Pascal UMR 6602 (Clermont-Ferrand), CIRED Centre international de recherche sur l'environnement et le développement UMR 8568 (Paris), ILV Institut Lavoisier Versailles UMR 8180 (Versailles), IRDEP Institut de recherche et développement sur l'énergie photovoltaïque UMR 7174 (Chatou), LGEP/Supélec Laboratoire de génie électrique de Paris UMR 8507 (Gif sur Yvette), LPICM Laboratoire de Physique des interfaces et couches minces - Polytechnique UMR 7647 (Palaiseau), LPN Laboratoire de photonique et de nanostructures UPR 20 (Marcoussis), ***PROMES Procédés matériaux et énergie solaire UPR 8521 (Perpignan-Odeillo), RAPSODEE Centre de recherche en génie des procédés de solides divisés de l'énergie et de l'environnement UMR 5302 (Albi),*** LAAS Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes UPR 8001 (Toulouse), CEISAM Chimie et interdisciplinarité : Synthèse, Analyse, Modélisation UMR 6230 (Nantes), CERMA Centre de recherche méthodologique d'architecture UMR1563 (Nantes), ***GEPEA Laboratoire de génie des procédés, environnement, agro-alimentaire UMR 6144 (Nantes)***, IMN Institut des matériaux Jean Rouxel UMR 6502 (Nantes), LTN Laboratoire de thermocinétique de Nantes UMR 6607 (Nantes), CETHIL Centre de thermique de Lyon UMR 5008 (Lyon), INL Institut des nanotechnologies de Lyon UMR 5270 (Lyon), LEPMI/LMOPS Laboratoire matériaux organiques à propriété spécifiques UMR 5279 (Grenoble), LOCIE Laboratoire optimisation de la conception et ingénierie de l'environnement UMR 5271 (Chambéry), PACTE Laboratoire de recherche en sciences sociales UMR 5194 (Grenoble), SIMAP Science et ingénierie des matériaux et procédés UMR 5266 (Grenoble), LN2 Laboratoire nanotechnologies nanosystèmes (Sherbrooke).

- **Fédération Jacques Villermaux** pour la Mécanique, l'Energie et les Procédés (Nancy) : Laboratoires : ERPI : Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (EA 3767), GREEN : Groupe de Recherche en Électrotechnique et Électronique de Nancy (EA 4366), LCPM : Laboratoire de Chimie Physique Macromoléculaire (UMR 7375), LEMTA : Laboratoire Energies et Mécanique Théorique et Appliquée (UMR 7563), LERMAB : Laboratoire d'Étude et de Recherche sur le Matériau Bois (EA 4370), ***LRGP : Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (UMR 7274).***

- **FERMAT** : Fluides, Energie, Réacteurs, Matériaux et Transferts (Toulouse) : Laboratoires : LGC, IMFT, LISBP, CIRIMAT, LAPLACE, LAAS - Tutelles : CNRS, INRA, Université de Toulouse. La Fédération de Recherche FERMAT (Fluides, Energie, Réacteurs, Matériaux et Transferts) a pour objectif central d'initier et de soutenir des projets de recherche interdisciplinaires dans de larges domaines des Sciences pour l'Ingénieur, sur Toulouse et la Région Midi-Pyrénées. Le noyau dur de cette Fédération est constitué d'équipes appartenant à 6 laboratoires toulousains : ***le Laboratoire de Génie Chimique (LGC UMR5503)***, l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT UMR5502), ***le Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Biologiques et Procédés (LISBP UMR5150)***, le Centre Interuniversitaire de Recherche et d'Ingénierie des Matériaux, le LAboratoire PLAsma et Conversion et d'Energie (LAPLACE UMR5213) et le Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS UPR8001). D'autres laboratoires (pour l'essentiel situés en Midi-Pyrénées) sont associés de façon plus ponctuelle. A ce jour, 9 thèmes de recherche sont actifs. Ces thèmes peuvent se regrouper suivant trois axes :

  - le couplage entre mécanique des fluides et transferts réactifs chimiques ou biologiques
  - les transferts réactifs et/ou thermiques au voisinage de surfaces ou couches minces
  - le couplage entre les propriétés de transfert de l'énergie et la structure des matériaux.

- **IBSM – SFR 4202 : Ingénierie des Biopolymères pour la Structuration de Matrices et de Matériaux (Nantes)** : La Fédération (IBSM, SFR 4202) regroupe l'Unité INRA BIA (Biopolymères, Interactions, Assemblage) et l'**UMR CNRS 6144 GEPEA** qui ont des compétences fortes et complémentaires sur les bioressources (structure et fonctionnalité des produits, approches multi-échelles, génie des procédés). Les retombées attendues sont de mieux répondre à la demande socio-économique des filières agroalimentaires ou non–alimentaires, en développant des approches plus intégrées « du producteur au consommateur ».

- **INCREASE** : Chimie Verte (International Consortium on Eco-conception and Renewable Resources) : Laboratoires : Institut de chimie des milieux et des matériaux de Poitiers (IC2MP, CNRS/Université de Poitiers), Centre de recherche sur l'intégration économique et financière (Crief) de l'Université de Poitiers, Institut des Sciences Chimiques de Rennes (CNRS/Université Rennes 1/ENSC Rennes/INSA Rennes), Biopolymères, interactions assemblages (BIA, INRA Nantes), Laboratoire Littoral, Environnement et Sociétés (CNRS/Université de La Rochelle), Institut des Sciences Moléculaires (CNRS/Université de Bordeaux/Bordeaux INP), Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques (CNRS/Université de Bordeaux/Bordeaux INP), ***Laboratoire de Génie Chimique (CNRS/Université Toulouse III – Paul Sabatier/INP Toulouse)***. Club d'industriels.

- **Inge'LySE** : Fédération d'ingénierie Lyon-Saint Etienne, fédère 23 laboratoires autour des enjeux : mobilité, transport aéronautique et espace, énergie et environnement, ingénierie pour le vivant, dispositifs et systèmes pour la société numérique. Laboratoires : Ampère, Centre d'énergétique et de thermique de Lyon (CETHIL), Centre de recherche en acquisition et traitement d'images pour la santé (CREATIS), Institut des nanotechnologies de Lyon (INL), ***Laboratoire d'automatique et de génie des procédés (LAGEP)***, Laboratoire de mécanique des contacts et des structures (LaMCoS), ***Laboratoire Georges Friedel (LGF),Laboratoire de génie des procédés catalytiques (LGPC)***, ***Laboratoire Hubert Curien (LaHC)***, Laboratoire de mécanique des fluides et d'acoustique (LMFA), Laboratoire de tribologie et dynamique des systèmes(LTDS), Laboratoire Matériaux : ingénierie et sciences (MATEIS), Laboratoire Ingénierie des matériaux polymères (IMP), ***Laboratoire Déchets, eaux, environnement, pollutions (DEEP),*** Laboratoire d'analyse des signaux et processus industriels (LASPI), Laboratoire de génie électrique et ferroélectricité (LGEF), Laboratoire Vibrations acoustiques (LVA), Laboratoire de biomécanique et mécanique des chocs (LBMC), Centre de recherche de l'ECAM de Lyon (LabECAM), Institut de recherche sur la catalyse et l'environnement de Lyon (IRCELYON), Laboratoire Décision et information pour les systèmes de production (DISP), Centre d'innovations en télécommunications et intégration de services (CITI), Laboratoire ElyTMaX Lyon-Tohoku.

- **IRSTV – FR CNRS 2488 : Institut de Recherche sur les Sciences et Techniques de la Ville Nantes)** : Air Pays de la Loire, Délégation Régionale des Pays de la Loire, BRGM, CERMA - Centre de Recherche en Méthodologie d'Architecture - UMR CNRS 1563 – ENSA (Nantes), Département Géotechnique Eau et Risques -IFSTTAR, Département Infrastructure et Mobilités -IFSTTAR, ESO - Espaces et Sociétés - UMR CNRS 6590 - Université Rennes 2 - Université d'Angers - Université de Caen - Université du Maine - Université de Nantes, GeM - Institut de recherche en Génie civil et Mécanique - UMR CNRS 6183 -École Centrale - Université de Nantes, ***GEPEA - Génie des Procédés Environnement et Agro-alimentaire - UMR CNRS 6144 - Université de Nantes - École des Mines de Nantes – ONIRIS***, IRCCyN - Institut de Recherche en Communication et Cybernétique de Nantes –UMR CNRS 6597 - École Centrale - École des Mines - Université de Nantes, LAUM - Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine - UMR CNRS 6613, LaSIE - Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement FRE-CNRS 3474 - Université de La Rochelle, LHEEA - Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique et Environnement Atmosphérique - UMR CNRS 6598 - École Centrale de Nantes, LIENSS, LIttoral, ENvironnement et Sociétés - UMR CNRS 6250 - Université de la Rochelle, L2G - Laboratoire de Géomatique et de Géodésie - JE 2508 - École Supérieure des Géomètres et Topographes, L3I, Laboratoire Informatique, Image et Interaction - Université de la Rochelle, LRC - Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-Octeville, Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire, Centre de Nantes du CSTB - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, EPHOR - Environnement Physique de la Plante Horticole - Agrocampus Ouest, Unité Propre Paysage, Agrocampus Ouest, LPGN - Laboratoire de Planétologie et Géodynamique - UMR CNRS 6112 - Université de Nantes.

- **IUML – FR CNRS 3473 : Institut Universitaire Mer & Littoral (Nantes)** : ***GEPEA – UMR CNRS 6144***, LETG – UMR CNRS 6554, LPGN – UMR CNRS 6112, GeM – UMR CNRS 6183, LHEEA – UMR CNRS 6598, LEMNA – EA 4272, CDMO 6 EA 1165, MMS – EA 2160, CRHIA – EA 1163, LIMATB – EA 4250, SG2M – IFRMER, BRM – IFREMER, DYNECO – IFREMER, EMH – IFREMER, UL – IFREMER, LERMPL – IFREMER. L'Institut Universitaire Mer et Littoral rassemble environ 450 chercheurs répartis dans 19 laboratoires et unités de recherche de différents établissements de la région Pays de la Loire (Universités de Nantes, d'Angers et du Mans, Ecole Centrale de Nantes, Ifremer). L'IUML a pour ambition d'améliorer la structuration et la lisibilité de l'offre régionale en matière de recherche mais aussi d'enseignement supérieur lié à la mer et au littoral. En recherche, l'objectif de l'IUML est de favoriser les collaborations entre les sciences humaines et sociales (SHS), les sciences de la vie et de la terre (SVT) et les sciences pour l'ingénieur (SPI) sur les 4 axes suivants : Biodiversité et environnement côtier, Exploitation et valorisation des ressources marines, Systèmes marins, ouvrages et géomatériaux, Changements, conflits et gouvernance. Ces axes de recherche sont notamment développés dans le cadre de grands programmes intégrés soutenus par la région des Pays de la Loire.

Description de certains établissements de recherche à vocation nationale

CEA

Dans le domaine Nucléaire (le Département de recherche sur les procédés pour la Mine et le Recyclage du Combustible - DMRC et le Département de recherche sur les technologies pour l'Enrichissement, le Démantèlement et les Déchets - DE2D de Marcoule, le Département d'Etudes des Combustibles - DEC et le Département de Technologie Nucléaires - DTN de Cadarache et le Département de Physico-Chimie - DPC de Saclay), le CEA développe les procédés suivants : dissolution des matériaux, séparation des éléments, conversion de solides, fabrication adaptés aux matériaux recyclés, procédés thermiques de traitement des déchets (incinération, incinération/vitrification, vitrification/céramisation), décontamination des déchets liquides et solides, traitement et de recyclage du plutonium et des actinides mineurs, procédés associés au cycle du combustible. Dans le domaine des énergies renouvelables (le Laboratoire d'Innovation pour les Technologies des Energies Nouvelles et les Nanomatériaux - LITEN de Grenoble), le CEA développe à la fois des procédés d'élaboration et de mise en forme des matériaux pour les applications énergétiques (filière silicium, matériaux pour les batteries ou pour l'hydrogène) et des procédés de conversion d'énergie, notamment appliquées à la transformation des biomasses pour produire des carburants, d'autres vecteurs énergétiques ou des molécules d'intérêt pour la chimie. Le CEA travaille également sur les thèmes chimie verte et intensification (fluides supercritiques, membranes, bio catalyse…) et sur l'évaluation technique et économique des procédés. Dans les deux branches de recherche sur l'énergie, les développements s'appuient sur l'expérimentation ainsi que les démarches analytiques et de modélisation associées. L'ensemble des branches du génie des procédés est représentée : génie de la réaction chimique, thermique, écoulements, chimie aux

interfaces, physico-chimie des matériaux, cinétique, séparation, thermodynamique. S'ajoute à cela la connaissance spécifique des effets du rayonnement sur la matière, dans le domaine nucléaire.
Les finalités de recherche sont du domaine de l'accroissement des connaissances et de la conception des procédés. La recherche appliquée est résolument tournée vers la réalisation d'objets technologiques.

IFP Energies nouvelles

IFP Energies nouvelles (IFPEN) est un acteur majeur de la recherche et de la formation dans les domaines de l'énergie, du transport et de l'environnement. De la recherche à l'industrie, l'innovation technologique est au cœur de son action.

Dans le cadre de la mission d'intérêt général confiée par les pouvoirs publics, IFPEN concentre ses efforts sur :

- l'apport de solutions aux défis sociétaux de l'énergie et du climat, en favorisant la transition vers une mobilité durable et l'émergence d'un mix énergétique plus diversifié ;
- la création de richesse et d'emplois, en soutenant l'activité économique française et européenne et la compétitivité des filières industrielles associées.

Ses programmes sont structurés autour de 3 priorités stratégiques :

- **Mobilité durable** : développer des solutions pour des transports efficients et à faible impact environnemental
- **Énergies nouvelles** : produire, à partir de sources renouvelables, des carburants, des intermédiaires chimiques et de l'énergie
- **Hydrocarbures responsables** : proposer des technologies visant à satisfaire la demande en énergie et en produits chimiques en consommant moins d'énergie et en réduisant l'impact environnemental

Partie intégrante d'IFPEN, son école d'ingénieurs IFP School prépare les générations futures à relever ces défis.

INRA – Département CEPIA (Caractérisation et Elaboration des Produits Issus de l'Agriculture

La mission principale de CEPIA est la production de connaissances permettant de construire des itinéraires de transformation de matières premières d'origine organique en produits finalisés à fonctions ciblées. Dans son domaine d'intervention, CEPIA développe des approches permettant de caractériser les matières, dans leur état initial, au cours de leur transformation et jusqu'au produit final. Il le fait à différentes échelles afin de comprendre les mécanismes qui conduisent à la création ou à la conservation de fonctions dans les produits finaux. A l'aide des connaissances sur les mécanismes de transformation de matières organiques, CEPIA développe des recherches visant à innover dans le domaine des procédés. En particulier, les activités des chercheurs et ingénieurs conduisent au développement de simulateurs ainsi qu'à la mise au point de nouvelles opérations

unitaires et de nouveaux procédés. Enfin, pour aborder la complexité des systèmes étudiés et pour permettre des approches prédictives, le département CEPIA déploie des démarches relevant des domaines des mathématiques appliquées et de l'intelligence artificielle. En particulier, ces actions qui permettent de modéliser et simuler des processus et de développer des outils d'aide à la décision, sont mises en jeu pour raisonner la qualité des produits selon une logique de multi-performances.

Les matières premières et produits étudiés par CEPIA sont divers. Pour les filières alimentaires, les grandes catégories d'aliments sont couvertes/représentées dans les objets de recherche (céréales, lait, œuf, produits carnés et fruits et légumes). Pour ces différentes filières, il s'agit de développer des itinéraires de transformation permettant d'élaborer des aliments de qualité. Cette notion de qualité est plurielle, couvrant à la fois les indicateurs de qualité intrinsèques de l'aliment (ex. sensorielle, nutritionnelle et sanitaire), et l'indicateur de durabilité environnementale (tenant compte des pertes et gaspillages). Pour les produits non-alimentaires, l'action de CEPIA porte sur une large gamme de coproduits de l'agriculture (ex. pailles, tiges, etc.) et des industries de transformation (ex. pulpes, rafles, tourteaux, pelures, coproduits animaux, etc.) ainsi que sur les produits du secteur forêt/bois. Pour toutes ces matières, il s'agit de concevoir des outils et procédés de transformation, notamment ceux relevant de la biotechnologie industrielle, et d'élaborer des molécules intermédiaires ou des produits finaux biosourcés. En ce qui concerne les matériaux et emballages bio-sourcés, il relève de nos missions de développer des produits répondant aux attentes en termes de fonctionnalités techniques, mais aussi en termes de durabilité et de sécurité.

Les Ecoles Doctorales

On dénombre environ 1200 doctorants dans les laboratoires ou équipes de Génie des Procédés. Les doctorants sont pour la plupart inscrits dans des Ecoles Doctorales des Sciences pour l'Ingénieur, mais on en trouve également dans d'autres spécialités (Agronomie, Chimie, Environnement, Science de la Matière). Une liste indicative des écoles doctorales est donnée ci-dessous.

- ED 072 : Science pour l'Ingénieur, Lille
- ED 104 : Science de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement, Lille
- ED 206 : Chimie, Lyon
- ED 222, Sciences Chimiques, Strasbourg-Mulhouse (280 doctorants)
- ED 251 : Sciences de l'Environnement, Université d'Aix-Marseille
- ED 305 : Energie Environnement Université de Perpignan, 120 doctorants (60 en GP)
- ED EDSYS 309 : Systèmes, Université de Toulouse, 167 doctorants (47 en GP)
- ED GEET 323 : Génie Electrique, Electronique, Télécommunications: du système au nanosystème, Université de Toulouse, 153 doctorants (4 en GP)
- ED 410, RP2E Ressources, Procédés, Produits, Environnement, Université de Lorraine (280 doctorants)
- ED SEVAB 458 : Sciences Ecologique, Vétérinaire, Agronomique et Bioingénieries, Université de Toulouse, 249 doctorants (44 en GP)
- ED 467 Aéronautique et Astronautique, Université de Toulouse, 40 doctorants (2 en GP)
- ED MEGEP 468 : Mécanique Energétique, Génie Civil et Procédés Université de Toulouse, 493 doctorants (200 en GP)
- ED 498 : Sciences pour l'Ingénieur, Université de Bretagne Loire, 400 doctorants (90 en GP)
- ED ABIES 581 : Agriculture Alimentation Biologie Environnement Santé, Paris
- ED GAIA 584 : Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau. Université de Montpellier/Montpellier SupAgro/Agro ParisTEch
- ED 254 : Sciences de la matière, Université de Rennes 1

Evolution des thématiques depuis 1991 et enjeux actuels

Depuis la création de la SFGP et de l'évolution sémantique du Génie Chimique vers le Génie des Procédés pour montrer que la discipline ne se focalisait plus entièrement sur les industries chimique et pétrolière, le mouvement thématique vers les industries de procédés s'est largement amplifié.

Le Génie des Procédés est un acteur incontournable du développement durable, ce qui s'est traduit par le développement de procédés propres, sobres et sûrs. Les procédés mis en œuvre doivent répondre aux contraintes environnementales, économiques et de sécurité, tout en considérant l'économie et valorisation des déchets, qui s'intègrent dans l'ingénierie écologique, et par voie de conséquence dans l'économie circulaire. La concomitance de la raréfaction des ressources fossiles liquides et gazeuses et du réchauffement climatique dû aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre implique une optimisation des procédés en termes d'énergie et de consommation de matière, et le recours à des sources d'énergie à faible contenu en carbone telles que les énergies renouvelables ou à des gisements de déchets (méthanisation) ou de carbone végétal (produits bio-sourcés). La raréfaction des ressources en eau conduit à l'économiser, à la recycler et à produire des eaux utilisables à partir de ressources secondaires.

La raréfaction des ressources fossiles implique que les industries de procédés vont devoir substituer progressivement de nouvelles ressources aux matières premières traditionnelles, ce qui induit des problématiques nouvelles dues à des matières premières peu standardisées. Pour l'alimentation, il s'agit de satisfaire les besoins croissants qu'entraîne l'augmentation de la population mondiale en trouvant de nouvelles sources de protéines (algues et champignons microscopiques, insectes, krill …). Pour les secteurs non alimentaires de la chimie, de l'énergie et des matériaux, il s'agit de faire face à la raréfaction des ressources non renouvelables et de réduire les impacts environnementaux et l'empreinte carbone en particulier, en substituant biomasse et matériaux recyclés aux matières premières pétrolières.

Ces dernières années, le thème sur le renouveau industriel et l'usine de procédé du futur s'est installé dans le monde académique et dans le monde industriel. Les thématiques associées à ce concept d'usine de procédés du futur sont nombreuses et dépendent de la structure industrielle concernée. Il s'agit de concevoir des procédés intensifiés, flexibles et modulables, de prendre en compte les demandes sociétales (« produire est un acte sociétal »), de modéliser les différentes échelles du procédé pour l'optimiser et pour mieux le contrôler, d'intégrer les nouveaux outils numériques et connectés, de reconfigurer les unités de production en pensant à la dualité des gros sites de production centralisés versus les petits sites délocalisés agiles/reconfigurables.

Le génie des procédés se penche sur un domaine aux dimensions de plus en plus étendues, allant des nano et micro-échelles aux échelles du réacteur, de l'usine, et jusqu'aux écoparcs industriels. Ces horizons extrêmes correspondent d'une part au MicroGénie des Procédés, pour l'étude de l'usine cellulaire ou pour la conception de capteurs miniaturisés et d'autre part au MacroGénie des Procédés, pour l'agronomie quantitative et pour l'étude de la structure industrielle à l'échelle du territoire (écoparcs).

Stratégie Nationale de la Recherche : positionnement du Génie des Procédés

Le Génie des Procédés participe à 8 des 10 défis de la Stratégie Nationale de la Recherche et à 19 des 41 orientations prioritaires.

1- Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique

2- Une énergie propre, sûre et efficace

3- Le renouveau industriel

4- Santé et bien-être

5- Sécurité alimentaire et défi démographique

6- Transports et systèmes urbains durables

7- Société de l'information et de la communication

10- Liberté et sécurité de l'Europe, de ses citoyens et de ses résidents

DEFI 1 : Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique		
Orientation de recherche de la SNRI	Extrait du texte de la SNRI	Thème développé dans les laboratoires de Génie des Procédés
2. Gestion durable des ressources naturelles	L'étude des ressources naturelles doit dépasser la vision en silo et disciplinaire des écosystèmes, de la biodiversité, de l'eau, des sols, des ressources du sous-sol, et des territoires, pour développer une vision plus globale. […]. Elle doit viser un inventaire national actualisé des ressources « critiques », minérales et énergétiques, avec une vision de leur disponibilité, de leurs usages et des éventuels conflits d'usage.	*Ingénierie des éco systèmes *Réutilisation des eaux, production d'eau potable et d'eau ultra pure *Dessalement *Devenir des micro-polluants organiques *Procédés de valorisation matière et énergie des déchets solides et liquides. *Valorisation des ressources aqueuses et fossiles *Caractérisation thermocinétique du sous-sol (bio-eau-gaz-roche) *caractérisation des fluides complexes *Récupération des métaux *Recyclage *Etude de potentiel des gisements de biomasse dans les pays en voie de développement *Analyse systémique *Prospection, récupération assistée,
4 : Éco et biotechnologie pour accompagner la transition écologique	La recherche sur les éco et biotechnologies devra être encouragée afin de contribuer au développement d'industries à faible impact environnemental (faible utilisation des ressources, meilleure efficacité, technologies curatives). En particulier, l'analyse de cycle de vie constituera un socle méthodologique à affiner pour l'adapter aux questions particulières des écosystèmes et de leur gestion.	*Analyse de cycle de vie (notamment sur systèmes eaux et déchets et métabolisme urbain), couplage avec la simulation des procédés *Ecoconception *Nouveaux procédés chimiques et biotechnologiques *Bioéconomie *Evaluation environnementale de l'usage des ressources dans les procédés de production d'énergie *Adaptation méthodologique de l'analyse de cycle de vie aux spécificités de la biomasse et aux contextes des pays en voie de développement *Membranes pour l'intensification des procédés. *Séparations à la source *Récupération des nutriments et métaux.

DEFI 2 : Energie propre, sûre et efficace		
6 : Gestion dynamique des systèmes énergétiques	Les sources d'énergie renouvelable de plus en plus nombreuses, diversifiées et localisées, nécessitent une recherche sur les moyens d'intégration efficace et dynamique de ces énergies dans les réseaux de distribution, grâce à des solutions techniques combinant de façon optimale les sources d'énergie « bas carbone », souvent irrégulières, avec des sources d'électricité programmables. Cela suppose de développer différents vecteurs énergétiques, les technologies de stockage et de conversion, ainsi que des réseaux d'énergie intelligents et sûrs permettant de distribuer l'électricité au niveau local, comme de la transporter via les grands réseaux européens.	*Solaire : captage, stockage, conversion ou utilisation directe. *Géothermie : caractérisation du fluide géothermal et processus associés (dégazage, corrosion) *Gazéification de la biomasse. *Méthanisation et méthanation biologique et chimique *Production de biocarburants. *Combustion de poudres en brûleurs ou moteurs *Procédés catalytiques de production de biocarburants à partir d'huiles végétales à petite échelle *Piles à combustibles *Procédés de production d'hydrogène *« Smart grids » *Modélisation et simulation de systèmes énergétiques complexes *Optimisation des systèmes réseaux de distribution et des systèmes énergétiques *Biogaz, biofuel *Ecoconception
7 : Gouvernance multi-échelles des nouveaux systèmes énergétiques	[], il sera nécessaire de travailler à l'optimisation des interfaces entre les différentes échelles, du local au global. Les modes de gouvernance prendront en compte la gestion des énergies au niveau du territoire et leur articulation avec le national, ils devront inclure les coûts des systèmes énergétiques et anticiper les impacts sur les entreprises et les particuliers	*Optimisation économique, énergétique et environnementale des voies de valorisation de l'hydrogène * Valorisation du CO2. Ce co-produit renforçant l'écosystème industriel et urbain du site dans le cadre de «Territoires Hydrogène » *Stockage souterrain et procédés associés aux nouveaux gaz (hydrogène, biogaz…)
8 : Efficacité Energétique	Les efforts de recherche et d'innovation doivent être poursuivis pour limiter les besoins énergétiques dans les secteurs du bâtiment, des transports et des systèmes productifs. Pour être efficaces, les solutions développées devront combiner différentes technologies innovantes (nouveaux isolants, récupération de chaleur, optimisation des moteurs, compteurs intelligents…), une évolution des comportements d'acteurs, des logiques collectives et des dispositifs d'incitation et de diffusion.	*Procédés intégrés *Procédés intensifiés *Filière de dessalement intégrée *Couplage production/traitement d'eau *Tri-génération pour la valorisation du méthane * Efficacité énergétique des procédés et des bâtiments

9 : Réduction de la dépendance en matériaux stratégiques	[] réflexion sur la chaine allant de leur extraction à leur recyclage en passant par leur utilisation. Il faudra regrouper les compétences sur ces trois volets afin de soutenir l'émergence d'une filière durable (méthodes de production et de recyclage innovantes et propres). Cela supposera notamment d'étudier les comportements de ces matériaux sous sollicitations multiples, de trouver des matériaux de substitution, d'optimiser les rendements et les durées de vie.	*Mine urbaine *Bioproduits fonctionnels et matériaux composites *Procédés d'élaboration de matériaux fonctionnalisés *Substitution de matériaux (fossiles, minéraux) par des matériaux biosourcés *Valorisation par sorption/filtration de métaux d'intérêt (métaux de base, terres rares, métaux du groupe platine) sur polymères fonctionnalisés * Procédés d'extraction de matériaux stratégiques à partir de déchets aqueux et miniers.
10 : Substituts au carbone fossile pour l'énergie et la chimie	[] il faudra rompre avec des raisonnements de spécialité et penser le procédé chimique ou le biocarburant à la lumière des applications concurrentes, de l'échelle (locale ou non) à laquelle la ressource et le produit sont mobilisés et utilisés, de ses conditions d'obtention, des possibilités de recyclage du produit, de l'existence d'autres matériaux de substitution.	*Bioraffinerie *Bioprocédés *Production de synthons biosourcés *Biogaz, biofuel *Synthèse microbienne du méthanol et autres carburants et produits plateforme à partir du méthane ou de dioxyde de carbone *Production de charbon végétal comme matériaux catalytique, matériaux réducteur en sidérurgie ou comme charbon actif.

DEFI 3 : Renouveau industriel		
11 : Usine numérique	[]. Il s'agira de poursuivre [] par des recherches sur l'usage du numérique pour améliorer l'efficacité de l'ensemble des fonctions de l'usine et de ses interactions avec les partenaires extérieurs, dont potentiellement les clients finaux. Ces efforts de recherche devront s'intégrer dans une vision globale du processus de production, pour assurer une chaîne cohérente et collaborative de la conception au produit fini.	*Intensification des procédés *Simulation de procédés *Développement de progiciels dédiés *Contrôle - commande *Analyse systémique *Modélisation, capteurs et commande de (bio)procédés *Modélisation et optimisation des procédés avec changement d'échelle du laboratoire à l'échelle industrielle.
12 : Usine verte et citoyenne	Dans un monde de ressources rares et de plus en plus chères (énergie, matière première, eau, air, sol…), l'usine du futur devra être économe et responsable. La recherche visera à concevoir des systèmes industriels intégrés de gestion de l'énergie, des matières premières et des risques. Ces systèmes s'inscriront dans une logique d'économie circulaire et d'éco-conception, en prévoyant l'économie des matières premières, le recyclage des rejets d'un procédé en vue d'un autre usage, et les matières de remplacement pour les ressources non durables.	*Approche d'éco conception *Utilisation de solvants verts *Réactions en milieux supercritiques *Développement de procédés basés sur des énergies renouvelables (solaire, biomasse, …) *Analyse de cycle de vie *Conception et développement de nouveaux procédés durables * Nouvelles ressources en eau, réutilisation, recyclage * Usine décentralisée et modulaire *Appui aux industries agro-alimentaires et forestières pour la valorisation de leurs résidus et l'amélioration de leur efficacité énergétique *Synthèse verte (réacteurs enzymatiques, lit fixe en milieu supercritique, liquides ioniques)
13 : Procédés de fabrication flexibles, centrés sur l'homme	Il s'agira d'inventer et de déployer à grande échelle des modes de fabrication flexibles, capables de s'adapter aux besoins des clients, ainsi que des systèmes de contrôle des dispositifs de production simples et ergonomiques (coopération homme-machine, cobotique industrielle). []	*Procédés intensifiés *« Flow chemistry » *Procédés couplés (filtration membranaire – réaction, oxydation, sorption, …) * Fabrication additive

14 : Conception de nouveaux matériaux	Les procédés de mise en forme et de mise en œuvre de ces multi-matériaux (technologies d'assemblage, fabrication additive, poudres, traitements de surfaces…). Il conviendra également de caractériser ces nouveaux matériaux, de les valider et d'évaluer leur vieillissement et leur tolérance aux dommages.	*Nouveaux procédés d'élaboration de matériaux *Matériaux innovants à changement de phases *Structuration d'agro polymères et réactivité des poudres *Production de matériaux composites à base de fibres végétales, évaluation de la durabilité vis-à-vis des agents biologiques de dégradation *Auto assemblage, fabrication additive *Milieux fondus, Thermodynamique du solide *Génie des milieux divisés (broyage, cristallisation,) *Etude de la relation entre les conditions de formulation et d'élaboration des poudres et matériaux, les transferts de masse / chaleur et leur morphologie *Matériaux fonctionnels issus de la biomasse Matériaux fabriqués par biotransformations *Génération et mélange de poudres *Matériaux en conditions extrêmes
15 : Capteurs et instrumentation	Les recherches consisteront principalement à concevoir et produire des micros capteurs, à les intégrer dans les matériaux et les procédés, ainsi qu'à imaginer et développer des systèmes de collecte et de traitement haute performance des données recueillies.	*Analyse en ligne *Capteurs électrochimiques, biocapteurs *Capteur intégrés dans les procédés et les bioprocédés : réseaux de capteurs, capteurs logiciels.

DEFI 4 : Santé et bien-être		
16 : Analyse multi-échelle de la diversité et des évolutions du vivant	Il s'agit d'identifier, de quantifier et de formaliser les propriétés de l'ensemble du vivant à différentes échelles (de la molécule aux populations) en faisant appel aux mathématiques, à la physique, la chimie, l'informatique et aux sciences humaines et sociales. L'enjeu est d'étudier les fonctions biologiques élémentaires et les différents niveaux d'intégration de ces fonctions au sein des systèmes biologiques. Ces études s'appuyant sur la diversité des modèles expérimentaux bénéficieront, en particulier, au développement de la biologie de synthèse et de la biologie des systèmes et contribueront à ouvrir des voies originales dans les domaines industriel, environnemental et médical.	*Études systémiques *Thermodynamique du non équilibre des systèmes vivants *Flux métabolomiques

DEFI 5 : Sécurité alimentaire et défi démographique		
19 : Alimentation saine et durable	S'agissant de la durabilité de la production de notre alimentation, les chaînes de transformation, stockage, et approvisionnement des aliments devront être ré-évaluées sous l'angle de leur consommation énergétique : les procédés de transformation et de stockage consommateurs d'énergie devront être améliorés et des procédés alternatifs recherchés	*Optimisation des procédés de transformation ou de stabilisation durable des produits agroalimentaires *Limitation des pertes post-récolte *Prévention des dangers microbiens et mycotoxines par traitement technologiques Interactions aliments - emballages
20 : Approche intégrée des systèmes productifs	il est nécessaire de mieux comprendre et mesurer ce que les écosystèmes peuvent apporter aux systèmes de production et comment les utiliser sans les déséquilibrer. []. On s'attachera à concevoir les outils d'évaluation multicritères permettant d'apprécier les différentes composantes de la durabilité de ces systèmes et les coûts de transaction.	*Optimisation multicritères appliquée aux systèmes de production *Stratégies économiques et environnementales des systèmes biomasse *Application intégrée de la connaissance, de l'information et des technologies pour accroitre la qualité et la sécurité des aliments *Evaluation multi-critères des systèmes de production à partir de biomasse

21 : De la production aux usages diversifiés de la biomasse	Optimisation de l'usage total de la biomasse en fonction de ses diverses transformations possibles (aliments, matériaux, énergie), en évitant notamment la concurrence avec l'usage alimentaire, est un enjeu central pour le développement de la bioéconomie. Vision intégrée s'appuyant sur les nouveaux outils de modélisation des systèmes complexes. Ces outils permettront de prendre en compte les jeux d'acteurs, le fonctionnement des écosystèmes, les échanges, et de prendre des options au plan politique Réévaluation des procédés technologiques et biologiques existants, notamment pour la transformation des aliments, pour identifier les verrous technologiques et scientifiques liés au bio-raffinage et, enfin, développer les concepts, méthodes et outils de la biologie de synthèse.	*Participation à la bioéconomie *Diversité et ingéniérie des écosystèmes microbiens *Procédés de l'alimentaire *Procédés thermochimiques de la valorisation de la biomasse, des coproduits et des résidus *Biotechnologie microbienne et enzymatique des lipides et agro polymères *Valorisation d'effluent agricole *Valorisation en cascade de la biomasse

DEFI 6 : Transports et systèmes urbains durables		
24 : Outils et technologies au service de la ville durable	Efficacité énergétique et environnementale des bâtiments Contrôle de la qualité intérieure de l'air et de l'eau	*Traitement de l'eau *Dispositifs de traitement de l'eau au point d'usage *Séparation à la source et métabolisme urbain des eaux et déchets *Traitement des gaz (de l'air) *Capteurs pour l'analyse de traces *Energétique de l'Habitat et du quartier * Procédés de traitement de l'air intérieur *Efficacité énergétique des bâtiments *Végétalisation, biofaçades

DEFI 7 : Société de l'information et de la communication		
28 : Exploitation des grandes masses de données	Développement d'algorithmes de fouille de grandes masses de données	* Application intégrée de la connaissance, de l'information et des technologies pour accroitre la qualité et la sécurité des aliments * Couplage des méthodologies d'Ingénierie des Connaissances (IC) et d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) * Couplage ACV, modélisation procédé et optimisation multicritères
DEFI 10 : Liberté et sécurité de l'Europe, de ses citoyens et de ses résidents		
41 : Résilience des systèmes de sécurité	Développer les approches et outils d'aide à la conception de dispositifs résilients (tolérance aux défauts, aux sabotages, aux dégradations) ainsi que des méthodologies pour l'analyse ex post encore trop peu utilisée	Sécurité des procédés

Conclusion

Les forces de recherche en Génie des Procédés se sont beaucoup développées depuis le début des années 1990, à la fois par le nombre de laboratoires de Génie des Procédés, qui sont maintenant répartis sur tout le territoire français, et par le nombre d'équipes de Génie des Procédés dans des laboratoires ayant une thématique principale différente, comme : l'Automatique, la Biologie, les Bioressources, la Catalyse, la Chimie, l'Environnement, les Matériaux, la Mécanique des Fluides/Thermique/Energétique, les Plasmas et les Science des Aliments. Ce dernier constat montre la capacité du Génie des Procédés à nouer des relations intégratives avec les autres secteurs scientifiques.

Le Génie des Procédés est en interaction très forte avec le Génie Industriel. Ces deux Génies ont des histoires similaires et nous sont venus du monde anglo-saxon (plus particulièrement du Canada pour le génie industriel), importés dans les années d'après-guerre et ont fortement contribué à la structuration et au développement des industries, l'un plus particulièrement dans le domaine des industries de transformation de la Matière et l'autre dans le domaine des industries manufacturières, notamment en Gestion de production.

Plus récemment avec le développement des ateliers discontinus, l'essor de la mondialisation avec le management de la chaîne logistique, il apparait indéniable que le Génie industriel apporte des outils, méthodes et paradigmes fort utiles et complémentaires au Génie des Procédés. Originellement basé sur le triptyque –Gestion de production, Gestion de Projet, gestion des systèmes notamment

d'information-, le génie industriel vise l'analyse Système au sens large et se rapproche en cela de l'extension des paradigmes du Génie des Procédés au Process Systems Engineering (PSE). Plus récemment les concepts entre autre d'Ingénierie Systèmes fort prisés dans les industries automobiles et aéronautiques, de management de l'innovation, de management de la chaîne logistique intégrée…sont venus enrichir la panoplie du génie industriel. Ils créent indéniablement une véritable synergie avec les paradigmes et outils du Génie des procédés, permettant d'avoir une vision système encore plus large.

Ainsi, le Génie des Procédés a tout intérêt à utiliser, digérer et adapter les concepts et outils du génie industriel afin de résoudre avec les techniques ad hoc les problèmes auxquels il doit faire face notamment relativement à la gestion de l' énergie et au mix énergétique, à la gestion de l'eau, à la problématique de la raréfaction des matières premières, à la gestion mondialisée des usines dans l'industrie 4.0 afin de répondre au défi de la digitalisation.

L'implication du Génie des Procédés dans la réponse aux questions industrielles et sociétales est totale comme les montreront les exemples choisis dans le chapitre 3 pour illustrer l'impact de la discipline sur l'industrie et la société en France. Cette participation au renouveau industriel est aussi patente dans la participation très active dans les pôles de compétitivité, dont une liste significative, par les thématiques abordées, est donnée ci-dessous :

- **Aerospace Valley** (Toulouse) Le pôle de compétitivité mondial Aerospace Valley associe les régions Nouvelle Aquitaine et Occitanie, L'ambition du pôle Aerospace Valley est de faire croître les emplois sur son territoire dans les domaines de l'aéronautique, de l'espace et des systèmes embarqués.

- **Agrimip Innovation** (Toulouse) développe des projets collaboratifs autour de 3 axes stratégiques prioritaires : – Développement de l'agro-raffinerie et valorisation de l'ensemble des constituants des productions agricoles – Amélioration de l'efficience des systèmes de production au champ et à l'usine afin de gagner en compétitivité – Optimisation des intrants de production pour une agriculture plus propre et plus productive.

- **ALPHA-RLH** (Bordeaux) : le pôle fédère les talents autour des technologies Photonique & Hyperfréquences et facilite le progrès et l'innovation au service du développement économique de la région Nouvelle-Aquitaine. Structuré autour de deux socles : Photonique-Laser (sources et procédés laser, composants optiques, instrumentation) et Electronique-Hyperfréquences (électronique intégrée, systèmes de radiocommunications, systèmes radars),

- **Axelera (Lyon).** Le pôle AXELERA est un pôle à vocation mondiale axés sur 5 domaines stratégiques : Les matières premières renouvelables, L'usine éco-efficiente, Les matériaux et produits pour les filières industrielles, Le recyclage et la recyclabilité, La préservation et restauration des espaces naturels et urbains.

- **CancerBioSanté** (Toulouse) est impliqué dans la filière santé et biotechnologies en particulier dans le domaine de la lutte contre le cancer. Le pôle contribue au développement de produits et technologies innovants pour améliorer le soin du patient et la lutte contre le cancer d'une part et le soutien à l'innovation et à la création de valeur en bio-santé d'autre part.

- **Elastopole** (Orléans). Pôle de compétitivité des filières polymères et caoutchouc, implanté sur 4 régions dont les Pays de la Loire.

- **EMC2** (Nantes). Pôle à vocation mondiale dédié à l'innovation dans les technologies avancé de production, en prise directe avec la filière mécanique matériaux. Le pole est fortement positionné sur les problématiques de l'usine du futur.

- **IAR** (Hauts de France) **:** Le pôle de compétitivité Industries et Agro-ressources (IAR), présent en Picardie et en Champagne-Ardenne, a été créé en 2005 autour du concept de raffinerie végétale (ou bio-raffinerie). Fort de plus de 360 membres, IAR rassemble les acteurs actifs et innovants sur l'ensemble de la chaine de valeur, depuis l'amont agricole jusqu'à la mise sur le marché de produits finis : coopératives agricoles, établissements de recherche et universités, entreprises de toutes tailles, acteurs publics… Les filières, marchés et thématiques couverts par IAR. Le Pôle et ses adhérents couvrent tous les champs de la production et de la valorisation des ressources biologiques (agricole, forestière, marine, co-produits, résidus) pour des applications dans les domaines de l'alimentaire, de l'industrie et de l'énergie. Les marchés considérés par IAR sont dès lors nombreux et variés.

- **PMBA - Pôle Mer Bretagne Atlantique** (Brest), pôle à vocation mondiale. La valorisation biotechnologique des ressources marines entre dans les compétences du PMBA. Le pôle est également implanté en région Pays de la Loire à travers son relais Atlanpole Blue Cluster (Nantes).

- **Pôle Eau- Aqua Valley** (Montpellier) Le pôle de compétitivité Aqua-Valley fédère un réseau de 250 adhérents (grands groupes, ETI, PME/TPE ; organismes de recherche et de formation). Les membres sont principalement localisés en régions Occitanie et PACA, et leurs compétences et savoir-faire couvrent la totalité du cycle de l'eau. Aqua-Valley fédère également au travers de sa marque internationale « France Water Team » un réseau national constitué des 3 pôles de compétitivité de l'eau avec DREAM et HYDREOS, et de plusieurs clusters régionaux, regroupant près de 750 adhérents, réseau actif à l'international au travers de partenariats de coopération avec des clusters étrangers (Europe, Amériques, Afrique, Asie).

- **Pôle Européen de la Céramique** (Limoges). Les compétences du pôle incluent des aspects procédés (élaboration de matériaux, catalyse hétérogène à base de céramiques nanostructurées …).

- **Pôle Matikem** (Hauts de France) : Le pôle Matikem est un pôle de compétitivité français en chimie verte, écomatériaux et plastiques végétaux. Il est établi depuis 2005 dans le Nord de la France, dans le parc technologique de la Haute Borne de Lille Métropole.

- **Team2** (Hauts de France) : Le pôle de compétitivité Technologies de l'Environnement Appliquées au Matières et aux Matériaux (TEAM2) développe la recherche et les applications industrielles dans le domaine des écotechnologies, des éco-matériaux, du recyclage et la dépollution en France. Établi dans les Hauts-de-France autour d'acteurs industriels et de recherche du développement durable, de la déconstruction et du retraitement des déchets, il a été labellisé Pôle de compétitivité en mai 2010.

- **Valorial** (Rennes), pôle de compétitivité agro-alimentaire déployé principalement sur les régions Bretagne, Pays de la Loire et Normandie. Le pôle couvre l'ensemble de la chaine agroalimentaire, en incluant les secteurs de l'alimentation animale, des équipementiers et de l'emballage.

- **ViaMéca** (Clermond-Ferrand) développe une stratégie pour l'innovation dans la Production de Systèmes mécaniques Intelligents adaptés à l'usage.

Chapitre 3 : quelques exemples illustrant l'impact du Génie des Procédés sur l'industrie et la société

Introduction

Les exemples montrant l'impact du Génie des Procédés et ses succès sont présentés suivant les différents domaines d'application :

- Industries conventionnelles (chimie, pétrochimie, textile)
- Energie, environnement
- Agro-ressources
- Nouvelles filières industrielles (CO_2, bioraffinerie, micro-algues, économie circulaire, …)
- Nouveaux horizons (santé, biotechnologies, nanotechnologies, ...)

Industries conventionnelles (chimie, pétrochimie, …)

Les principaux faits marquants dans l'industrie chimique concernent l'intensification des procédés grâce notamment à la mise en place d'équipements multi-fonctionnels. Un exemple est la production d'acétate d'isopropyle par distillation réactive. Novapex a développé un concept innovant alliant à la fois intensification des procédés avec une distillation réactive et efficacité énergétique et environnementale. Cette innovation est le fruit d'un partenariat avec IFP Energies Nouvelles (IFPEN). L'IFPEN a développé et breveté dans les années 1990 la technologie de distillation réactive pour les réactions d'éthérification et c'est cette technologie française qui a servi de base au développement de ce nouveau procédé de production de l'IPAC. La distillation réactive n'avait jamais été utilisée en milieu corrosif et avec une résine acide comme catalyseur solide, c'est une première mondiale. Cette technologie via une catalyse hétérogène permet une chimie « propre » avec très peu d'impuretés formées et donc une quasi-absence de rejets aqueux et gazeux associée.

L'intensification des étapes de séparation et de réaction et l'utilisation de flux thermiques internes existants aboutit à une consommation énergétique très basse. Dans ce procédé, le principe d'intensification des procédés consiste à réaliser une partie de la réaction dans une colonne à distiller ce qui permet un taux de transformation élevé car la distillation permet d'extraire le composé limitant la réaction. Par ailleurs, les économies d'énergies sont réalisées en utilisant les principes d'intégration que ce soit par la mise en place d'échangeurs thermiques ayant une fonction d'économiseur ou par l'utilisation de vapeur basse pression co-produite sur le site par d'autres ateliers.

L'utilisation de matières premières produites localement (l'isopropanol produit par Novapex à partir de l'acétone et l'acide acétique coproduit de la production d'aspirine par la Division Pharmaceutical & Cosmetics de Novacap) s'inscrit complétement dans une logique vertueuse d'économie circulaire. L'utilisation d'isopropanol déjà très pur associé à ce nouveau procédé de production innovant et respectueux de l'environnement, permet à Novapex d'offrir un acétate d'isopropyle de pureté exceptionnelle, et donc très attractif pour les applications les plus exigeantes, notamment dans la pharmacie et la cosmétique.

Entrant dans le procédé de fabrication de nombreux types de résines synthétiques, l'acétate d'isopropyle est également très utilisé comme solvant d'extraction dans l'industrie pharmaceutique,

dans la fabrication des encres pour les emballages alimentaires ou alors dans l'industrie de la cosmétique et des parfums en raison notamment de ses qualités intrinsèques. Opérationnelle dès la fin 2015, cette nouvelle unité, construite sur la plateforme chimique de Roussillon a nécessité un investissement de 4 M€ pour une capacité annuelle de plus de 5 000 tonnes.

Cette innovation a été récompensée par le prix Pierre Potier en 2016. Créé en 2006 par le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, et porté aujourd'hui par la Fondation de la Maison de la Chimie et l'Union des Industries Chimiques (UIC), le Prix Pierre Potier a pour objectif de mettre en lumière les initiatives de l'industrie chimique en faveur du développement durable et de favoriser le développement de démarches éco-responsables dans la filière.

Figure 3.1 : Production d'acétate d'isopropyle utilisant une distillation réactive

Energie, environnement

Les travaux concernent les deux domaines du génie de l'énergie et du génie de l'environnement, avec la gestion, l'optimisation et l'intégration des procédés et des systèmes énergétiques, le traitement de l'eau, celui de l'air, le traitement et la valorisation des déchets et le développement de nouveaux vecteurs énergétiques. Les études portent par exemple sur le développement de procédés avancés de traitement des eaux (traitement de micropolluants émergents dans l'eau à potabiliser, dans les eaux d'infiltration dans les sols ou dans les eaux industrielles) ; le traitement des composés volatils (odeurs, COV) dans les effluents gazeux issus de différents secteurs industriels, comme le

traitement de fumées d'incinération de déchets; le développement de nouveaux matériaux pour le traitement de la micropollution dans l'eau ou dans l'air, ou encore le développement de procédés de valorisation de déchets organiques ou inorganiques.

Des filières industrielles nouvelles se sont mises en place sur le traitement et la valorisation des déchets organiques urbains, agricoles et agroalimentaires, avec d'une part l'élaboration de stratégies d'amélioration des filières et de réduction de leurs impacts (caractérisation des déchets, évaluation sanitaire et environnementale, mesure et réduction des émissions gazeuses et des odeurs), et d'autre part le développement de procédés de valorisation agronomique et énergétique des déchets organiques, par méthanisation ou compostage. Avec 60 % de la production porcine Française localisée en Bretagne, le lisier de porcs constitue à la fois une source de pollution des sols et une matière première de base pour la méthanisation. Depuis les années 1980, près de 400 stations de traitement des lisiers ont été installées en Bretagne pour exporter le phosphore des zones sensibles (séparation de phase et exportation des solides) et éliminer l'azote par traitement biologique (nitrification et dénitrification des liquides) (Fig. 3.2). Le développement de la méthanisation, initié dans les années 2000, se heurtait donc au problème de l'intégration d'une étape de méthanisation dans une filière de traitement déjà existante. Le programme de recherche ANR 2005 –DIGESTAERO, réalisé en collaboration avec la PME Evalor, a eu pour objectif de créer et valider une nouvelle filière qui permettrait la production d'énergie renouvelable (le biogaz) sans compromettre le traitement de l'azote des lisiers.

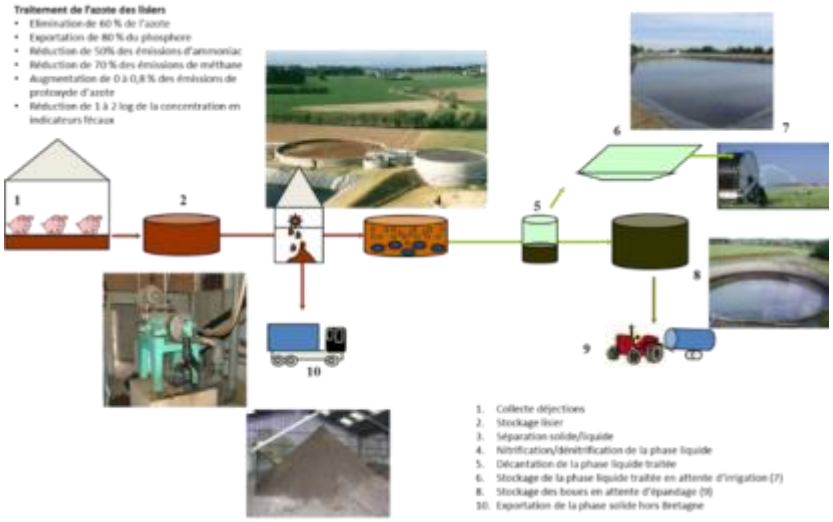


Figure 3.2 : Le traitement de l'azote des lisiers porcins

Le traitement de l'azote s'effectue en deux étapes séparées dans l'espace (2 bassins différents) ou dans le temps (réacteur séquentiel). L'étape de nitrification permet l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrates dans un contexte aérobie et en l'absence de source de carbone facilement biodégradable pour favoriser la croissance des bactéries nitrifiantes. Puis l'effluent traité passe en dénitrification qui requiert l'absence d'oxygène et la présence d'une source de carbone facilement biodégradable pour favoriser l'activité des bactéries dénitrifiantes. Le bon fonctionnement du procédé repose donc sur la maitrise et la combinaison des réactions biologiques, elles-mêmes dépendantes de la maitrise des procédés (charges appliquées, taux d'aération et flux de carbone

recirculés entre les étapes de nitrification-dénitrification). La méthanisation est un processus de minéralisation anaérobie de la matière organique en méthane et gaz carbonique qui conduit à la production d'un digestat pauvre en carbone facilement biodégradable et riche en azote ammoniacal. Le traitement biologique de l'azote de ce digestat est un challenge au niveau procédé car il requiert une forte aération pour l'étape de nitrification et qu'il manque de carbone pour l'étape de dénitrification. L'approche choisie a été de construire un procédé pilote de deux réacteurs d'une centaine de litres chacun, l'un permettant la méthanisation et l'autre le traitement biologique séquentiel de l'azote, avec un réacteur intermédiaire de transfert des effluents. Les deux réacteurs ont été mis en œuvre séparément dans le hall pilote d'IRSTEA (300m2) pour acquérir des données sur les cinétiques de dégradation et modéliser leur fonctionnement sur la base des modèles de l'International Water Association ADM et ASM. Ces modèles ont été modifiés pour les besoins de l'étude et une interface a été créée pour les coupler. Au total, 40 scenarii ont été testés numériquement pour optimiser le fonctionnement des processus de méthanisation-nitrification-dénitrification du lisier. Six de ces scenarii ont finalement été retenus et testés en fonctionnement réel sur le pilote (équivalent à 600 jours d'expérimentation). Plusieurs configurations ont été validées en pilotes puis analysées avec la PME Evalor pour en choisir une à implémenter sur site réel. Les données fournies par les essais pilotes ont aidé au dimensionnement du procédé. Le projet DIGESTAERO a été distingué au salon Pollutec 2010 parmi les techniques innovantes pour l'environnement.

1. Méthaniseur
2. Réacteur de transfert
3. Traitement de l'azote

(a) **(b)**

Figure 3.3 : (a) Le pilote DIGESTAERO dans la halle d'OPAALE-IRSTEA ; (b) La première installation sur site DIGESTAERO (Evalor)

Une première installation a été construite en 2011 par la PME Evalor et une deuxième est à l'étude. IRSTEA a participé au développement du système expert qui supervise et pilote le procédé. Le suivi de la première installation démontre une amélioration et une stabilisation significative des performances de la station de traitement, une réduction des coûts de fonctionnement de 30% d'économie par m^3 de lisier traité et une réduction de 60 % du volume de boues à épandre. Le bilan global montre que la filière est une installation à énergie positive puisqu'elle produit 3 fois plus d'électricité que ce qu'elle consomme (sans compter la valorisation de la chaleur). La PME EVALOR (25 personnes) est aujourd'hui leader sur le marché du traitement des effluents agricoles avec plus de 230 réalisations à son actif. Elle a également construit une vingtaine d'unités de méthanisation à

la ferme, avec ou sans traitement des digestats, sur tout le territoire national. IRSTEA et EVALOR collaborent depuis une 15aine d'années au travers de nombreux projets de recherche (ANR, ADEME et européens). Ces projets, d'abord orientés vers le traitement de l'azote des lisiers, ont évolué en parallèle du contexte socio-économique et environnemental vers le développement de procédés de valorisation des effluents d'élevage tels que la méthanisation, le compostage et le recyclage des nutriments (azote et phosphore). Enfin, IRSTEA et AVALOR se sont associés pour dispenser ensemble des formations aux services déconcentrés de l'Etat.

Un autre exemple concerne la valorisation des déchets résiduels issus de l'industrie ou du traitement des ordures ménagères dans le cadre du projet SAPICO2 également axé sur la préservation des ressources naturelles et l'utilisation efficace du CO_2. Pour répondre à cette problématique, la technologie de carbonatation accélérée permet la valorisation des déchets d'incinération par la production de granulats à bilan carbone négatif utilisables dans le domaine de la construction. Le projet SAPICO2 a été sélectionné dans le cadre du programme européen de coopération transfrontalière INTERREG IV A France (Manche) – Angleterre, cofinancé par le FEDER.

Figure 3.4 : Centre de production des granulats carbonatés. Carbon8 Aggregate. Brandon, UK

Les procédés membranaires se développent dans beaucoup d'industries, notamment pour le traitement des eaux. L'une des premières usines de potabilisation d'eau de surface équipée de fibres creuses d'ultrafiltration en acétate de cellulose a été mise au point dans le cadre du GdR CNRS « Filtration - Fibres creuses ».

Figure 3.5 : Usine de potabilisation d'eau utilisant des membranes d'ultrafiltration

L'optimisation du procédé nécessite de développer des modèles pour les phénomènes aux interfaces, qui peuvent être abordés par des modèles de transfert classiques ou par des simulations

de type Monte-Carlo et de dynamique moléculaire, en interaction avec les physiciens. Afin de rationaliser l'ensemble des phénomènes physiques impliqués dans une séparation membranaire et ainsi repousser les limites actuelles en matière de compréhension et de prévision des performances de séparation, il apparaît nécessaire de recourir à une démarche orientée vers une description microscopique des systèmes membranaires. C'est dans cette optique que l'équipe *Chimie et Ingénierie des Procédés* de l'Institut des Sciences Chimiques de Rennes a engagé une étroite collaboration avec le département *Matériaux-Nanosciences* de l'Institut de Physique de Rennes pour le développement de modèles atomiques de membranes d'osmose inverse et pour l'étude du transport à travers ces systèmes à l'aide de la simulation moléculaire. A partir de cette approche microscopique, très innovante dans le domaine du génie des procédés, une membrane en polyamide aromatique présentant un taux de réticulation similaire aux membranes commerciales a été générée à partir des deux monomères les plus utilisés à l'heure actuelle (méta-phénylènediamine et chlorure de trimésoyle) par les fabricants de membranes d'osmose inverse, en utilisant une méthodologie combinant des simulations de type Monte Carlo et dynamique moléculaire (Figure 3.6).

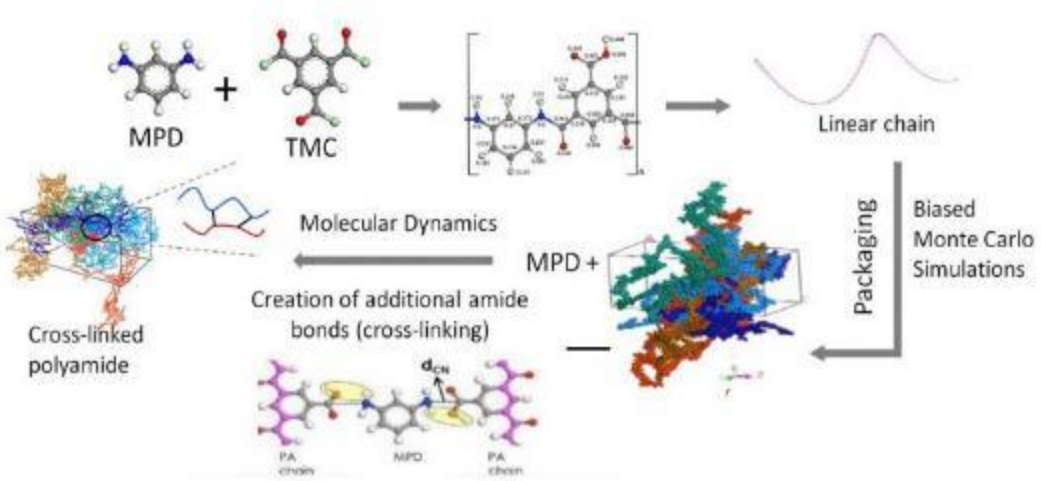


*Figure 3.6 : Principe du protocole de construction d'un modèle atomique d'une membrane d'osmose inverse en polyamide aromatique (*MPD = méta-phénylènediamine; *TMC =* chlorure de trimésoyle).

L'hydratation de la membrane ainsi générée a ensuite été étudiée par dynamique moléculaire en connectant la membrane à deux réservoirs contenant des molécules d'eau. Le taux d'hydratation obtenu par simulation est en très bon accord avec l'expérience, de même que la taille moyenne des cavités (volumes libres en les chaines de polymères) (Figure 2) [3]. Ces résultats permettent de considérer que le modèle atomique généré représente raisonnablement bien la structure complexe des membranes en polyamide aromatique dominant à l'heure actuelle le marché de l'osmose inverse. Grâce à la simulation moléculaire il a également été possible d'étudier les interactions entre les molécules d'eau et la matrice membranaire, ce qui a permis de montrer que les molécules d'eau perdent des liaisons-Hydrogène entre elles lorsqu'elles pénètrent dans la membrane et qu'elles compensent partiellement la pénalité énergétique associée à cette perte en créant de nouvelles liaisons-Hydrogène avec certains sites d'interaction préférentielle de la membrane (notamment les atomes d'oxygène des fonctions amides et des résidus d'acides carboxyliques). Ces résultats illustrent l'apport considérable que la simulation moléculaire est susceptible d'apporter dans le

domaine des procédés. En effet, la méthodologie développée dans ce travail étant transposable à d'autres polymères, les différentes perméabilités des matériaux membranaires disponibles sur le marché pourront prochainement être comprises sur la base des interactions fluide/membrane, ce qui fournira une aide précieuse pour l'optimisation et la conception de matériaux pour les procédés membranaires. Enfin, des travaux préliminaires visant à étudier les mécanismes contrôlant la rétention d'ions par les membranes d'osmose inverse ont été entrepris. Ceci a nécessité le développement de techniques permettant la simulation moléculaire du transport sous l'action d'un gradient de pression extérieur (dynamique moléculaire hors équilibre). Les premiers résultats, réalisés avec une solution de chlorure de sodium, suggèrent qu'une déshydratation partielle des ions se produit lors de leur transfert sous pression à travers la membrane [4]. Le coût énergétique important associé à cette perte de molécules d'eau explique en partie la très forte rétention ionique des membranes d'osmose inverse en polyamide aromatique et donc leur efficacité pour le dessalement. L'approche développée dans ce travail a été appliquée exclusivement à des séparations en phase aqueuse. Elle sera prochainement étendue aux séparations membranaires en milieu non-aqueux, domaine qui suscite actuellement un intérêt grandissant dans des secteurs tels que les industries chimiques et pharmaceutiques.

Le Génie des Procédés est une discipline clef pour la gestion optimale de l'énergie, de l'eau, pour le traitement de l'air et des déchets, jusqu'à leur valorisation. Il accompagne la transition énergétique, notamment pour l'énergie solaire concentrée.

Figure 3.7 : CSP2 : récepteur solaire à lit fluidisé (PROMES, Odeillo)

Le Génie des Procédés est également très actif dans le domaine des bioénergies. Les procédés thermochimiques de la biomasse nécessite des travaux de mise à l'échelle par l'intermédiaire de plateformes pilotes. Dans ce domaine, le Génie des Procédés est un moteur pour le développement technologique.

Dans le cadre du projet ADEME GAYA, un démonstrateur pré-industriel a été mis en place pour la gazéification de la biomasse en lit fluidisé circulant pour la production de biocarburants gazeux (LGC Toulouse). Le démonstrateur a pour but de produire du biométhane à partir de la biomasse. La production du biométhane est assurée à partir de la transformation de cette biomasse :

- Par gazéification en gaz de synthèse,
- Puis par méthanation en biométhane.

Figure 3.8 : Schéma de principe de la production de biométhane à partir de la biomasse

L'objectif des travaux du LGC est d'apporter une meilleure compréhension des phénomènes couplés se déroulant en lit fluidisé double : hydrodynamique associée à différents phénomènes liés à la conversion thermochimique de la biomasse : pyrolyse, réactions en phase gaz, gazéification ou combustion du charbon produit. Cette compréhension passera par un travail expérimental étroitement associé à un travail de modélisation.
Les travaux expérimentaux sont réalisés sur :

- Une installation pilote conçue et réalisée :
  - Un banc d'essais hydrodynamiques pouvant fonctionner à haute température (entre 300°C et 950 °C) ;
  - Une unité de production de gaz de synthèse par gazéification de biomasse, associée à des analyseurs permettant de caractériser la composition des gaz et condensables produits par la conversion thermochimique de la biomasse.
- Un mini réacteur à lit fluidisé conçu pour l'étude cinétique des réactions élémentaires de la combustion et de la vapogazéification du char ainsi que du craquage et du reformage de goudrons issus de la pyrolyse de la biomasse. Ce dispositif unique, équipé d'un système d'analyse en ligne permet de mieux comprendre les phénomènes qui se produisent dans une cellule élémentaire d'un gazéifieur à lit fluidisé.
- Les différents pilotes hydrodynamiques conçus pour étudier les phénomènes de mélange, de ségrégation et d'élutriation.

Dans un domaine similaire, la société Europlasma a décidé, en 2007, de créer une filiale (CHO_Power) dédiée à la production d'électricité à haut rendement par un procédé innovant de gazéification de déchets capable de délivrer 11 MW sur le réseau électrique. Ce procédé, développé avec le LaTEP de Pau, est basé sur une séquence de gazéification en lit fixe, suivi d'un étage plasma haute température de reformage. Après élimination des polluants soufrés et halogénés et récupération de sa chaleur sensible, le gaz est brulé dans des moteurs à combustion interne, entrainant des alternateurs et pour lesquels la chaleur du circuit de refroidissement est valorisée.

Figure 3.9 : Schéma de principe du CHO-Power process

En 2007, Europlasma disposait de la maitrise de la conception et du développement de ses torches à plasma mais n'était pas en capacité de concevoir un réacteur haute température pour le craquage des goudrons contenus dans le gaz issu du gazéifieur. La société s'est donc naturellement tournée vers son partenaire de recherche historique, le LaTEP (Laboratoire de Thermique Energétique et Procédés de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour) pour l'assister dans cette tâche. Grâce notamment aux travaux réalisés dans le cadre d'une thèse CIFRE et du soutien de l'Agence Nationale de la Recherche (2009 BIOE 004 002) la collaboration entre la société et le laboratoire a permis de dimensionner et concevoir un réacteur de capacité industrielle (volume de 60 m^3) et un réacteur pilote dédié à la recherche et au développement du groupe (volume de 10 m^3). Aujourd'hui, les deux réacteurs sont parfaitement opérationnels et remplissent le cahier des charges pour lesquels ils avaient été conçus, attestant ainsi de la richesse et de la complémentarité des travaux menés dans le cadre de la collaboration entre une PME et un laboratoire de Génie des Procédés.

Figure 3.10 : Réacteurs développés sur le site de Morcenx (40).
Gauche : Procédé industriel CHO_Power. Droite pilote R&D Kiwi

Dans le traitement des déchets plastiques, différentes approches du Génie des Procédés permettent d'envisager des solutions de valorisation économiquement viable et à faible emprunte environnementale même si des développements sont encore nécessaires. Dans ce cadre et à titre d'exemple, une Equipe Mixte Laboratoire – Entreprise (PYROCAT – associant UMET, UCCS, NéoEco et Baudelet) développe un procédé de pyrolyse catalytique pour la valorisation des déchets polymères dans l'industrie chimique.

Agro-ressources

Dans le domaine de l'agroalimentaire, le Génie des Procédés développe de recherches sur la

modélisation des opérations unitaires, sur le développement d'outils prédictifs, sur l'étude des relations procédé / produits et sur l'écoconception des procédés. Ces travaux peuvent se traduire par le développement de logiciels, comme par exemple le logiciel de détermination des paramètres de séchage par atomisation SD2P®, basé sur une approche thermodynamique, qui permet d'obtenir des gains de productivité substantiels par rapport aux systèmes-experts de suivi utilisés actuellement par les industriels laitiers. Le séchage est une opération industrielle particulièrement coûteuse en énergie, notamment dans le secteur agro-alimentaire où il représente environ 60 % de la dépense énergétique. La maîtrise du séchage de produits alimentaires passe par deux axes d'amélioration : l'optimisation du coût énergétique du procédé et la conformité de la qualité du produit pulvérulent. Ces axes impliquent de lever les verrous cognitifs et méthodologiques liés d'une part à la disponibilité dynamique de l'eau au sein du concentré à sécher, (disponibilité et interactions eau-constituant), et d'autre part à la rapidité des cinétiques de transfert d'énergie et de matière (quelques secondes). Plusieurs équipes de recherche (Pays-Bas, Irlande, Australie, Nouvelle Zélande, USA, etc.) ont tenté de modéliser les mécanismes de transfert d'eau et les cinétiques de séchage. Ces tentatives étaient pour la plupart limitées au seul cas du lait écrémé, non extrapolables aux autres matrices laitières de composition complexe (e.g. formules infantiles comportant jusqu'à 70 ingrédients différents) et très difficilement transférables industriellement. Pour cette raison, l'UMR STLO (INRA-Agrocampus-Ouest) a développé un logiciel de prédiction des paramètres de séchage avec différents partenaires académiques internationaux (notamment *Monash University*, Australie) et des partenaires privés, dont la Laiterie de Montaigu et un équipementier suisse, la société Rotronic.

Le développement a nécessité de traduire la problématique industrielle (comment optimiser les conditions de séchage par atomisation ?) en question de recherche (comment modéliser les mécanismes de transfert d'eau et d'énergie au sein d'un concentré au cours du séchage ?), afin d'élaborer une stratégie de recherche et de développement pour lever différents verrous cognitifs. Le logiciel ainsi développé (Spray Drying Parameters Simulation and Determination ; $SD^2P^®$) est un outil d'aide à la décision pour la maîtrise des paramètres de séchage de produits concentrés alimentaires et non alimentaires. Ce logiciel qui à l'origine s'adressait à l'industrie laitière, quelle que soit la nature des concentrés laitiers à sécher, a depuis été étendu avec succès au séchage d'autres produits agroalimentaires et pharmaceutiques. Il permet d'améliorer la productivité des installations de séchage de poudres laitières de 5 à 25 %, en offrant simultanément la possibilité de réaliser des économies d'énergie globale du même ordre. L'accès à la prédiction des paramètres de séchage est indispensable pour fiabiliser les démarrages de production, réduire les risques de collage en tour et optimiser en continu les conditions de séchage à l'échelle industrielle. Commercialisé depuis 2007, SD2P® est aujourd'hui au 1er rang des valorisations de licence de logiciel INRA. Plus d'une trentaine de licences ont été vendues, dont 8 à l'étranger. Les principaux groupes laitiers mondiaux sont aujourd'hui équipés de ce logiciel (dont 4 des 5 premiers en termes de chiffre d'affaire, à savoir Lactalis, Nestlé, Danone et Friesland Campina), ce qui fait porter actuellement l'impact du logiciel de séchage $SD^2P^®$ sur plus de 10 à 15 % du volume des poudres laitières produites à l'échelle mondiale, soit environ 1 à 2 millions de tonnes par an. Des licences ont également été concédées dans d'autres domaines (food, feed, pharmacie, etc), pour sécher des matrices telles que les dérivés d'amidon et maltodextrines, la gélatine, les ovoproduits, le soja, les "Pet Food", les hydrolysats de poissons, etc. Ainsi, de nombreux utilisateurs industriels, incluant également des équipementiers tels que les concepteurs de tours de séchage, s'intéressent aujourd'hui au développement et à l'application de ce logiciel dans leurs domaines spécifiques.

Un autre enjeu est l'écoconception des procédés des industries laitières et des ovo-produits. Les démarches mises en œuvre concernent le développement de procédés visant à la réduction de fluides (eau, énergie, produits) ou la régénération et le recyclage de solutions alcalines de nettoyage en place ((UMET Lille – projet ECONETIAA et ISCR&STLO de Rennes). Les opérations de nettoyage des installations agro-alimentaires, indispensables pour maintenir la qualité hygiénique des équipements et des produits, conduisent à des consommations d'eau et de produits détergents qui représentent une fraction majeure des eaux résiduaires arrivant en station d'épuration. En dépit de l'augmentation de la taxe sur les rejets et de la sévérité de la réglementation sur les normes de rejet, la mise en décharge et l'épandage, ces opérations sont encore majoritairement conduites de manière empirique et non optimisée, avec des paramètres utilisés à titre de précaution par excès. Dans ce contexte, le STLO et l'ISCR ont conduit des projets en collaboration avec plusieurs partenaires industriels (aussi bien de l'agro-alimentaire que spécialistes en audit environnemental (GES-SA) et en formulation de produits détergents), pour permettre de dégager des stratégies de "régénération" de solutions de nettoyage en recherchant les propriétés pertinentes caractérisant la "fonctionnalité" des solutions à traiter. Dans le secteur laitier, il s'avère que, quels que soient le système de nettoyage-en-place (NEP) et le type d'atelier considérés, lors des utilisations successives des solutions de soude industrielles, l'augmentation de la charge polluante des solutions s'accompagne d'une diminution rapide de la tension superficielle (γ). Ces faibles valeurs, semblables à celles des solutions détergentes complexes commerciales, sont la résultante de la saponification de la matière grasse en savons d'acides gras et de l'hydrolyse alcaline des protéines en peptides tensio-actifs. Il a été montré que l'abaissement de la tension superficielle des solutions de NaOH usagées conjuguée à l'absence de Matières En Suspension (MES) exerce une action positive sur la cinétique de nettoyage de membranes (membrane céramique/organique d'ultrafiltration colmatée par du lait écrémé) : la solution de NaOH "usagée/polluée" sans MES présente en effet une constante de vitesse similaire à celle d'un détergent alcalin complexe reconnu industriellement pour son efficacité et supérieure à celle de la soude "neuve/propre". Grâce à une simulation numérique du couplage entre un système de NEP et une opération de régénération (filtration tangentielle, centrifugation et décantation) il a été montré que la microfiltration tangentielle, MF, était parmi les opérations d'épuration les plus performantes, y compris économiquement, avec des temps de retour sur investissement inférieurs à 2 ans. La MF génère cependant un niveau élevé de DCO soluble (DCO_s), dont l'impact reste à quantifier. Si une valeur limite forte de DCO_s dans les solutions régénérées n'était pas acceptable (viscosité, précipitation de composés …), il a été démontré que le choix de l'UF 5-10 kDa avec des membranes polymères était une solution efficace pour des solutions à pH 11.5-12.0. La NF de même que l'OI retiennent trop fortement les tensio-actifs présents dans la soude usagée conduisant à une augmentation la tension superficielle des solutions régénérées : la soude « trop propre » n'est plus aussi efficace que la soude légèrement polluée ! Ces résultats originaux ouvrent des retombées industrielles importantes pour le nettoyage des installations en acier inoxydable, la détermination des limites de la régénération des solutions de soude sur plusieurs semaines (effet de la DCO_s, développement bactérien, …) restant à valider par les industriels eux-mêmes. Mais ces résultats ouvrent également la voie à une réflexion générale sur le nettoyage des équipements à membrane, le recyclage des solutions et plus généralement la formulation de solutions détergentes alcalines. Les opérations à membrane font en effet partie des rares installations industrielles utilisant encore des solutions de nettoyage à usage unique, ce qui conduit à de fortes consommations de produits chimiques et d'eau (1,25 – 5,0 m^3 d'eau / 100 m^2 de membrane/ opération). La maîtrise des phases

de nettoyage et la formulation raisonnée des solutions détergentes nécessite donc d'approfondir nos connaissances sur les caractéristiques physico-chimiques des composés responsables de la faible tension de surface et de leur incidence sur les différentes composantes de cette tension superficielle.

Dans le domaine de la mise en œuvre d'approches de modélisation / simulation associée à l'optimisation multi-objectifs et l'aide à la décision, le développement d'éco-procédés d'extraction, fractionnement et purification de biomolécules actives pour la valorisation des agro-ressources fait également partie des grandes avancées du domaine. L'Institut Charles Violette de Lille travaille sur la conception, la maîtrise et l'optimisation des procédés séparatifs permettant l'obtention de produits à haute valeur ajoutée à partir de différentes sources naturelles, et une valorisation optimale des agro-ressources. Des opérations d'extraction et de purification « vertes » sont privilégiées en cherchant des rendements importants et des hautes sélectivités, tout en préservant l'activité recherchée des biomolécules. Une attention particulière est portée à l'intensification des procédés par leur intégration et à l'évaluation des impacts environnementaux des procédés développés via la méthodologie d'ACV (analyse du cycle de vie). La modélisation des procédés et leur scale-up font également partie des objectifs de ce projet de recherche.

Le Génie des Procédés est en prise directe avec les équipementiers de l'agroalimentaire, qui sont un maillon essentiel à l'innovation pour les PMI-PME de ce secteur. On peut citer comme travaux significatifs le développement de fours de cuisson de pain à faible énergie. Sur la base d'un four du fabricant français Bongard, le GEPEA Nantes, le LTeN Nantes et l'IRDL Lorient (programme ANR Braise) ont développé un four à jets en impacts permettant de travailler à plus basse température et de réduire la consommation énergétique de 15 %. D'autres stratégies ont été proposées dans des projets européens (FP6 FreshBake, FP7 LEO). C'est ainsi qu'a été développé un nouveau concept de fours basés sur le rayonnement infrarouge. Permettant une cuisson plus rapide avec un gain énergétique de 20 %, il est actuellement en phase d'industrialisation avec des équipementiers suédois et portugais. De même, les travaux ont porté sur la maîtrise des flux d'air dirigés et des transferts associés dans les atmosphères industrielles, en particulier dans les IAA (atmosphères propres et atmosphères froides) afin de réduire la consommation énergétique, d'améliorer la qualité des produits alimentaires et d'augmenter le confort thermique des opérateurs. Le laboratoire OPAALE de l'IRSTEA Rennes a développé FROILOC®, un concept breveté innovant de diffusion localisée d'air froid ultra-propre sur les zones entourant les produits, en limitant fortement la diffusion du froid dans l'ambiance. FROILOC® répond à 3 préoccupations majeures pour les industriels de l'agro-alimentaire : la préservation des aliments contre la contamination et le développement microbien, par la maîtrise des conditions de température et de pollution sur et autour des aliments et des chaînes de production ; l'amélioration des conditions de santé au travail en rendant possible un travail des opérateurs à plus de 13°C ; l'économie d'énergie en évitant la dispersion de l'air froid dans la salle. Dès le début du projet en 2003, l'équipe ACTA s'est entourée de nombreuses collaborations externes pour adapter les travaux aux contraintes techniques et sanitaires : l'ABEA (Association Bretonne des Entreprises Alimentaires), le Pôle Cristal (centre technique Froid et Climatisation) basé à Dinan, la CRAM (Caisse régionale d'Assurance Maladie). Plusieurs sources de financement (Ministère de l'Agriculture, Région Bretagne, ANR, PIA-P3A) ont permis le développement de la technique (TRL 4 à 7). Aujourd'hui, Cesbron-Dalkia détient une licence d'exploitation exclusive en France et le concept FROILOC® est en phase d'industrialisation. L'enjeu scientifique est de maîtriser et contrôler les échanges (transfert de chaleur et particulaire) qui s'opèrent entre 2 flux d'air différents en vitesse, température et concentration de particules. Ce

type de transferts couplés est rarement pris en compte par la communauté de mécanique des fluides, qui par ailleurs privilégie des configurations canoniques pour ses objets de recherche. Ceci implique une intégration de notions fondamentales de la dynamique des nappes tourbillonnaires telles que les mélanges et transferts turbulents (de chaleur et de particules) s'exerçant entre des flux juxtaposés. La compréhension scientifique de la diffusion de l'air de part et d'autres d'un guidage a permis de comprendre et de maitriser les mélanges de chaleur et de particules entre un air dirigé et un air ambiant calme, pour assurer une séparation d'ambiance climatique efficace. Elle a sollicité à la fois expérimentation en conditions de laboratoire et simulation numérique.

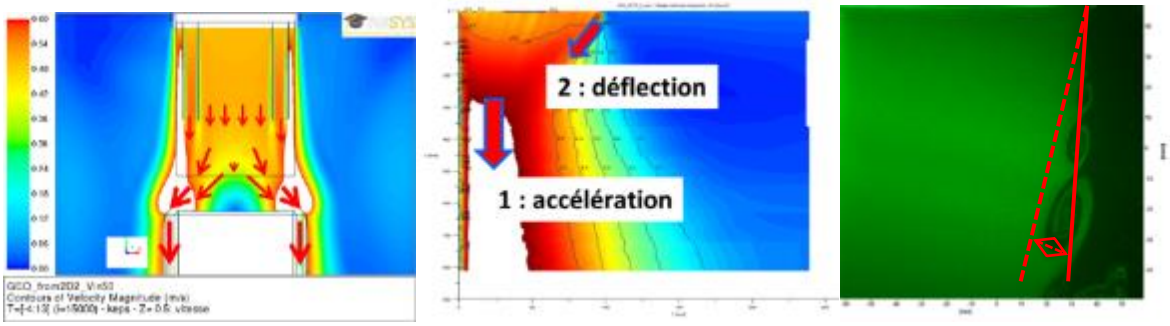


Figure 3.11 : A gauche, Simulation numérique de l'écoulement autour d'une table équipée d'un dispositif FROILOC®. Au milieu, mesure du champ de vitesse moyen par PIV, en bordure du caisson de diffusion. À droite analyse d'une couche cisaillée externe du jet.

Le concept FROILOC® a été étudié de façon à apporter des améliorations substantielles par rapport à l'état de l'art sur au moins trois aspects :

La qualité sanitaire des produits : Le concept assure une propreté de niveau ISO 5 (ISO 14644-1) ce qui permet d'allonger ou de fiabiliser la DLC, tout en réduisant voire supprimant les conservateurs.

Le confort des opérateurs : En remontant les températures de l'atelier à plus de 13°C, on atteint une zone de confort thermique (niveau PMV > -0,5 selon norme ISO 7730), ce qui réduit sensiblement le risque de troubles musculo-squelettiques, et apporte une meilleure attractivité du poste de travail.

La consommation énergétique : - réduction du volume réfrigéré car seule la zone produit est à basse température (0 à 4°C par exemple), le reste de l'atelier est maintenu à 13°C voire plus. Quand on sait qu'un gain de 1°C sur la température de source froide induit 2 à 3% de gain énergétique sur une machine frigorifique, on identifie le gain important que cela procure. - 70 à 80% de l'air froid diffusé est recyclé ce qui réduit d'autant le besoin énergétique de froid, et peut empêcher de chauffer pour augmenter les températures d'ambiances. D'après les premières estimations, la consommation d'énergie induite par le diffuseur d'air ultra-propre est inférieure de 50% à celle d'une salle froide complète en air ultra-propre.

Aujourd'hui, Cesbron-Dalkia détient une licence d'exploitation exclusive en France. Pour le moment, chaque installation sur site nécessite une partie recherche & développement pour adapter la protection FROILOC® aux géométries aussi complexes que différentes que l'on peut rencontrer dans l'industrie agro-alimentaire. La phase de développement (de mise en place en usines) est au niveau TRL 6 à 7 selon les cas rencontrés.

Nouvelles filières industrielles (CO_2, bioraffinerie, microalgues, économie circulaire ….)

- **Valorisation CO2**

La valorisation du CO2 est une problématique complexe. Le message important est le développement de procédés industriels faiblement demandeurs d'énergie, illustré par deux aspects :

- comment concevoir des procédés industriels faiblement émetteurs de CO_2. S'il y a un travail important sur la conception du procédé (par exemple choisir un équipement de séparation faiblement consommateur d'énergie, membrane par exemple, ou en intensifiant), on conçoit qu'il est indispensable d'avoir une vision plus globale qui intègre l'ensemble de la chaine de valeur avec la prise en compte des réactifs et produits, les voies de synthèse plus respectueuses (chimie verte, économie d'atomes) et le recyclage,

- sur la valorisation du CO_2 : les quantités de CO_2 valorisées sont très faibles (qq %) en regard des quantités de CO_2 émises. L'impact environnemental de la valorisation du CO_2 n'est cependant pas nul car tout CO_2 capté et valorisé en produit d'usage, contribue par un facteur 2 à la réduction du réchauffement (non relargué dans l'atmosphère et évitant également l'utilisation de ressources fossile pour la fabrication de ce produit). Les enjeux concernent donc plus le développement de filières économiques rentables permettant une valeur ajoutée aux produits fabriqués avec le CO_2. Cette filière est étroitement liée à la filière hydrogène, utilisé comme co-réactif, produit par électrolyse d'électricité décarbonée.

Le projet VALORCO (VALOrisation et Réduction des émissions de CO2 en industrie) est un exemple de l'apport du Génie des Procédés à cette thématique. Ce projet est accompagné par l'ADEME dans le cadre du programme Energies décarbonées des investissements d'avenir.

Aujourd'hui, l'industrie sidérurgique est un émetteur intensif de CO_2. En effet, la production d'aciers se fait majoritairement à partir de minerai de fer, par séparation du fer et de l'oxygène contenus dans le minerai grâce à un agent réducteur qui contient du carbone. Ce procédé conduit donc fatalement à la production de quantités importantes de CO_2 dont les émissions directes atteignent près de 2 tonnes de CO_2 par tonne d'acier liquide et 2,5 tonnes si on intègre les émissions indirectes dues aux énergies auxiliaires consommées. Les progrès faits durant les dernières décennies en matière de réduction des émissions de CO_2 dans la sidérurgie connaissent actuellement un ralentissement qu'on ne peut dorénavant surpasser que par une rupture technologique des procédés de transformation, soit en abaissant la consommation de carbone, soit en évitant l'émission du CO_2 produit.

Le projet VALORCO, coordonné par Arcelor Mittal, propose de réduire à la source les quantités de CO_2 et de valoriser celles qui sont émises en produits intermédiaire qui permettraient d'éviter de puiser dans les ressources fossiles. Les objectifs du projet sont de développer à l'échelle du laboratoire des procédés de réduction et de valorisation du CO_2 provenant de procédés industriels, d'en quantifier le degré de profitabilité et de mettre en œuvre les plus prometteurs sous la forme d'un pilote à l'échelle du laboratoire.

Le projet explore différentes voies dont un des scénarios privilégié concerne l'utilisation des gaz sidérurgiques produits en grandes quantités, comme le gaz de cokerie (environ 60% H_2, 27% CH_4, 8%

CO et 3% N2) et le gaz de convertisseur (riche en CO, 55%). Ces gaz réducteurs peuvent être injectés dans le haut-fourneau et ainsi réduire sa consommation de carbone, ou co-valorisés avec le CO_2 pour produire des produits d'intérêt.

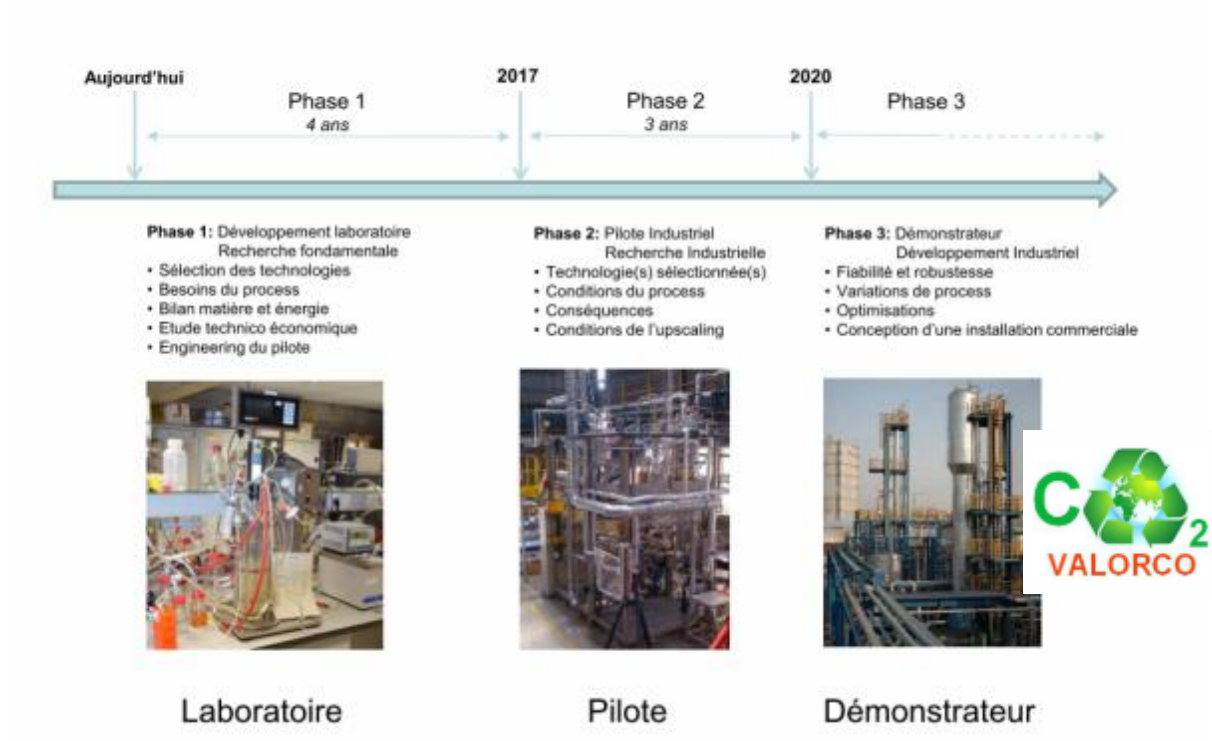


Figure 3.12 : Principe de VALORCO

Les enjeux concernent trois volets :

- Le dépoussiérage, la capture, la préparation et la séparation chimique et/ou physique des gaz par filtration, séparation et enrichissement pour que la qualité du gaz soit compatible avec les procédés de valorisation prévus en aval. L'enjeu concerne la recherche d'un compromis entre les étapes de séparation et de valorisation qui réponde aux contraintes économiques et environnementales du procédé global.

- L'utilisation du CO_2 dans des procédés biologiques (intensification de la méthanisation, production exogène de biohydrogène) ou chimique pour la production de molécules d'intérêt (méthane, méthanol ou diméthylether), énergétiques ou de matériaux (carbonatation des minerais ou des laitiers);

- Le basculement progressif de la chimie du carbone à celle de l'hydrogène pour effectuer la réduction des oxydes de fer. Les gaz réducteurs à forte teneur en hydrogène peuvent provenir d'autres unités sidérurgiques comme la cokerie ou l'aciérie, de sources naturelles de gaz riches en hydrogène, ou d'usine de production d'hydrogène (électrolyse avec de l'électricité « décarbonée »)

Pour chacune de ces volets, il est nécessaire d'élaborer des nouveaux schémas de procédés mais également de proposer des pilotes semi-industriels de démonstration de ces nouveaux schémas, en vue de juger la faisabilité et l'opérabilité d'installations industrielles de grandes tailles. Pour chaque

solution, des analyses détaillées de profitabilité économique et de cycle de vie sont réalisées afin de guider le choix des filières qui pourraient industrialisées.

Partenaires : ArcelorMittal Maizières Research, ArcelorMittal Atlantique et Lorraine, AIR LIQUIDE Centre de Recherche Claude -Delorme, IFP Energies nouvelles, Institut de Chimie de Clermont-Ferrand, Université de Lyon 1, Institut Jean Lamour Nancy (CNRS UL), Institut de Chimie Séparative de Marcoule, Laboratoire Réactions et Génie des Procédés Nancy (CNRS UL). http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/valorco.pdf, - https://www.youtube.com/watch?v=4da0T3ihcVw

- **Bioraffinerie**

Dans la valorisation des biomolécules, il y a des enjeux couplés de Chimie et de Génie des Procédés. A la fois, il est nécessaire :

- sur le plan de la chimie biosourcée, d'identifier les molécules d'intérêt qui peuvent avoir des fonctionnalités particulières pour la santé, pour la chimie et les produits comme molécule plate-forme (ou synthons) qui peuvent être ensuite fonctionnalisées, et

- sur le plan des procédés, de mettre au point des procédés innovants de séparation de ces biomolécules d'intérêt, de développer les procédés de valorisation de l'ensemble des produits issus de la biomasse, respectueux de l'environnement (impact minimal, zéro déchets), et économiquement viable. Sur le plan scientifique, un grand enjeu concerne la production de produits de très haute pureté (les molécules à l'état de trace, pouvant avoir une nocivité à long terme).

C'est une véritable transition chimique sur l'ensemble de la chaine de valeur qu'il faut accompagner. Le rapport de l'OPECST sur la bioraffinerie [5] décrit cet enjeu : « Dans ce contexte, l'effort de recherche et développement doit être soutenu : biocarburants avancés, projet Futurol de déconstruction de la cellulose sur base enzymatique, recherches sur la biométhanation, … . La recherche semble guidée par l'objectif de réduire les coûts d'exploitation de la biomasse ; elle doit aussi se préoccuper de réduire l'intensité des conflits d'usage ».

L'utilisation de nouveaux additifs et auxiliaires technologiques pour l'élaboration des produits de demain à partir des polymères naturels, qu'il s'agisse d'aliments ou de matériaux, est un enjeu important pour le génie des procédés. Ces composants permettent en effet d'adapter les procédés existants à de nouvelles matières premières ou à de nouvelles propriétés ciblées. Parallèlement, Ils ouvrent des possibilités inédites pour des procédés innovants de transformation. Au sein de la structure fédérative IBSM regroupant le GEPEA et l'unité INRA BIA, l'impact de composés ioniques sur la transformation et les propriétés des matrices amylacées font l'objet de plusieurs projets de recherche soutenus par la Région des Pays de la Loire, dans les domaines des matériaux et des aliments. Le projet LIMPONAN. (http://limponan.fr/) a notamment permis de mettre en évidence l'intérêt des liquides ioniques (des sels organiques liquides) pour la plastification de l'amidon et l'élaboration de bioplastiques fonctionnels. Ces nouveaux additifs apportent des propriétés de conductivité électrique au matériau final, tout en facilitant sa mise en œuvre lors du procédé d'extrusion. D'une manière plus générale, l'utilisation de nouveaux additifs et auxiliaires technologiques pour l'élaboration des produits de demain à partir des polymères naturels, qu'il

s'agisse d'aliments ou de matériaux, est un enjeu important pour le génie des procédés. Ces composants permettent en effet d'adapter les procédés existants à de nouvelles matières premières ou à de nouvelles propriétés ciblées. Parallèlement, Ils ouvrent des possibilités inédites pour des procédés innovants de transformation. Des travaux en cours montrent par exemple l'intérêt des liquides ioniques pour l'élaboration de nouveaux matériaux bioinspirés à partir de la cellulose et d'autres composants des parois végétales.

Un autre exemple concerne le développement de molécules tensioactives microbiennes qui nécessite le développement de procédés de production et purification adaptés permettant une exploitation aisée du système de production, un contrôle des conditions de croissance et de production du microorganisme, une intensification du procédé et une montée en échelle. Au sein de l'Institut Charles Violette, la production de lipopeptides, qui forment une famille de molécules très tensio-actives possédant des propriétés biologiques exploitables comme un fort potentiel antifongique est mise en œuvre dans un bioréacteur aérobie, aéré par un contacteur membranaire air liquide. Le procédé est conduit en continu avec une rétention de la biomasse par microfiltration et produit un extrait riche en lipopeptides débarrassé des cellules bactériennes.

- **Nouvelle filière industrielle : les microalgues**

L'enjeu scientifique est de maîtriser et contrôler une réaction photosynthétique, ce qui implique une intégration entre les notions fondamentales du Génie des Procédés, telles que la conduite des réacteurs, les phénomènes de mélange et de transferts (de masse, de chaleur, de lumière), et les disciplines issues des Sciences du Vivant (la microbiologie, l'écophysiologie, le génie métabolique). En particulier, l'un des objectifs est le développement d'un photobioréacteur solaire intensifié à haute productivité volumique et faible consommation énergétique. Ce procédé est le résultat de nombreux travaux du laboratoire (ingénierie des photobioréacteurs, optimisation du transfert de rayonnement et de l'hydrodynamique sous haute concentration cellulaire). Les performances obtenues sont en rupture par rapport à l'état de l'art permettant des gains importants en termes de productivité en biomasse et de consommation énergétique. Cela permet ainsi d'envisager une production de biocarburants à partir de microalgues avec un bilan énergétique positif, qui est un verrou actuel majeur de la thématique. Le procédé baptisé AlgoFilm© a donné lieu à 2 brevets internationaux. Les études sur le bioraffinage des microalgues, avec des applications dans différents secteurs industriels (alimentaire, chimique, parachimique, …) s'appuient sur les compétences du laboratoire développées dans le traitement humide de la biomasse (destructeurs cellulaires, membranes, extracteurs, etc), une optimisation des étapes de production-récolte-destruction-séparation, la prise en compte de la variabilité du vivant sur les étapes de bioraffinage, et donc l'optimisation rétroactive des conditions de production pour le bioraffinage (concentration en biomasse, état physiologique, orientation métabolique). La plateforme R&D **AlgoSolis** permet de travailler au changement d'échelle et à la validation/optimisation en conditions solaires réelles (gestion des phases d'attente/conditionnement entre opérations unitaires, prise en compte des variations de conditions de production…). Les trois aspects majeurs (intégration des différentes étapes du procédé, échelle importante, production basée sur une ressource solaire) ne peuvent pas être abordés à l'échelle du laboratoire, ce qui a nécessité la mise en place de **AlgoSolis** (TRL 3 à 6). Avec plus de 20 lignes de production indépendantes, l'infrastructure d'**AlgoSolis** permet le développement individuel d'unités pour en valider et optimiser les performances, ou l'étude de leur intégration dans un procédé global allant de

la production de la biomasse à sa valorisation en molécules d'intérêts. **AlgoSolis** intègre les dernières innovations dans le domaine, grâce notamment aux travaux menés par le GEPEA (UMR CNRS 6144) et ses partenaires sur le développement de procédés de rupture pour la production intensifiée en photobioréacteurs contrôlés, le bioraffinage en voie humide, la recherche de souches d'intérêt industriel, le recyclage des milieux de culture et la production sur effluents industriels. Cette filière en émergence a permis de mettre en place un continuum entre la Recherche, la R&D, la création d'une start-up et le développement industriel.

Figure 3.13 : Plateforme R&D AlgoSolis (GEPEA Saint-Nazaire)

Dans l'optique d'une algoraffinerie, des travaux se développent la fabrication de liants viscoélastiques, bio-bitume, à partir de micro-algues, comme additifs alternatifs aux produits pétroliers (bio-émulsifiants, biopolymères), liants hydrauliques plus économes. Les stratégies de raffinages du pétrole évoluent en lien avec la raréfaction de la ressource. De ce fait, il existe déjà à l'heure actuelle des tensions d'approvisionnement en bitume, fraction lourde du pétrole utilisée dans la construction. Anticiper le remplacement de ce matériau, est un enjeu économique majeur et des ressources de substitution permettant d'obtenir un liant alternatif ayant des propriétés d'usage similaires sont recherchées. A l'heure actuelle, des bitumes alternatifs issus de biomasse ont déjà été développés par les entreprises liées aux travaux routiers, à partir d'huiles d'origine agricole ou issues de l'industrie papetière. Ces huiles, acides gras libres ou estérifiées ne possèdent pas une viscosité suffisante pour jouer le rôle de liant au sein d'enrobés, et l'amélioration de leurs propriétés rhéologiques nécessitent l'emploi d'additifs ou des modifications chimiques pour augmenter leur viscosité. Par ailleurs, le fait qu'une huile alimentaire entre comme élément majoritaire dans la composition du liant limite fortement l'impact positif apporté par l'utilisation de ressources non fossiles. En utilisant des résidus de micro-algues comme système modèle, le projet exploratoire Algoroute, a permis d'apporter la preuve de concept que le traitement de cette biomasse par un procédé de liquéfaction hydrothermale (LH) était particulièrement pertinent pour cette application. Ce procédé mime en partie les conditions dans lesquelles le pétrole s'est naturellement formé, et offre l'avantage de se dérouler en milieu aqueux (l'eau sous-critique jouant à la fois le rôle de solvant et de réactif). Il ne nécessite ainsi aucun séchage préalable de la biomasse (étape très énergivore), contrairement à d'autres procédés de conversion thermique comme la pyrolyse. Cette approche innovante a fait l'objet du dépôt d'un brevet. Soutenu par la région Pays de Loire, le projet Algoroute

a rassemblé quatre partenaires, l'Ifsttar (département MAST de l'IFSTTAR de Nantes), le GEPEA, le CEISAM et Algosource.

Figure 3.14 : Production de microalgues chez AlgoSource (à gauche) et produit bitumineux à base de microalgues (à droite)

- **Economie circulaire**

L'économie circulaire intègre dans ces concepts même les fondements du génie des procédés : approche systémique, bilan matière, bilan énergie, optimisation, gestion des flux. Celui-ci est donc naturellement un élément essentiel pour la génération de ce nouveau modèle économique. Le développement de l'économie circulaire doit permettre de diminuer le prélèvement des ressources, de réduire la production de déchets et de restreindre la consommation d'énergie. L'économie circulaire vise à mettre en place un nouveau modèle de société, qui trie, recycle ou valorise, optimise les stocks et les flux de matières, d'énergie et de déchets en intégrant la notion de partage des flux entre les différents usagers ou entre différents sites, industriels ou autres, interconnectés.

C'est un champ en pleine expansion pour le Génie des Procédés, avec le développement des filières de recyclage. Ces filières touchent de nombreux secteurs industriels, comme par exemple l'aéronautique avec l'éco-conception des filières de recyclage de déchets à base de composites de polymère renforcé en fibres de carbone. Depuis une dizaine d'années, les matériaux composites sont de plus en plus utilisés dans de nombreuses applications, et en particulier dans l'aéronautique grâce à leurs excellentes propriétés mécaniques et leur faible densité. Ainsi, les derniers modèles d'Airbus (A350) et de Boeing (B787) utilisent plus de 50% en masse de composites, principalement des polymères renforcés de fibres de carbone (CFRP). Toutefois, l'augmentation de l'utilisation des CFRP soulève des préoccupations environnementales quant à leur fin de vie à travers l'élimination des déchets, la consommation de ressources non renouvelables ainsi que la nécessité de recycler les déchets CFRP. Dans ce contexte, le projet SEARRCH (Sustainability Engineering Assessment Research for Recycling Composite with High value), labellisé par Aerospace Valley et financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) de 2014 à 2017 (ANR-13-ECOT-0005) avait pour objectif de concevoir un système d'évaluation permettant d'apprécier les performances environnementales, économiques et sociales des filières de recyclage des matériaux composites, plus particulièrement en vue de la gestion des déchets de CFRP aéronautique. Il a rassemblé un consortium pluridisciplinaire regroupant quatre partenaires, Altran Research (coordinateur), l'ISM (Institut des Sciences Moléculaires), le LGC (Laboratoire de Génie Chimique) et TBS (Toulouse Business School) avec des compétences complémentaires en ingénierie, sciences de l'environnement/analyse du cycle de vie,

génie des procédés, mathématiques appliquées et économie. Un modèle générique a été développé au LGC de Toulouse, dans le département Procédés et Systèmes afin de proposer une gestion optimale des déchets de CFRP aéronautiques en prenant en compte simultanément des objectifs économiques et environnementaux. Dans un premier temps une approche systémique suivant les lignes directrices d'une approche par Analyse de Cycle de Vie a été mise en œuvre afin de modéliser les impacts environnementaux des procédés de recyclage ou de valorisation (incinération, co-incinération, recyclage mécanique, pyrolyse, traitement thermique en lit fluidisé) avec une attention toute particulière sur l'impact de réchauffement climatique. Ensuite, toute la chaîne logistique du recyclage des déchets CFRP a été modélisée en partant des sites de démantèlement des avions jusqu'à la réutilisation des fibres recyclées vers d'autres usages. Une stratégie d'optimisation multi-objectifs combinant programmation mathématique, ε-contrainte et technique lexicographique a été développée en mettant également en jeu des techniques d'aide à la décision appropriées (M-TOPSIS, PROMETHEE-GAIA) pour optimiser des critères économiques et environnementaux. Différentes configurations de chaînes logistiques de déchets CFRP ont ainsi été proposées et plusieurs scénarios ont été étudiés et optimisés de façon à prendre en compte les sites de recyclage déjà existants dans une vision mono-période ainsi que le déploiement de nouveaux sites selon une approche multi-période. Le cas de la France a servi d'illustration à la démarche et les configurations proposées pour implanter de nouveaux sites de façon optimale traitant une fibre recyclée facilement valorisable pour des applications ciblées ont été analysées et discutées.

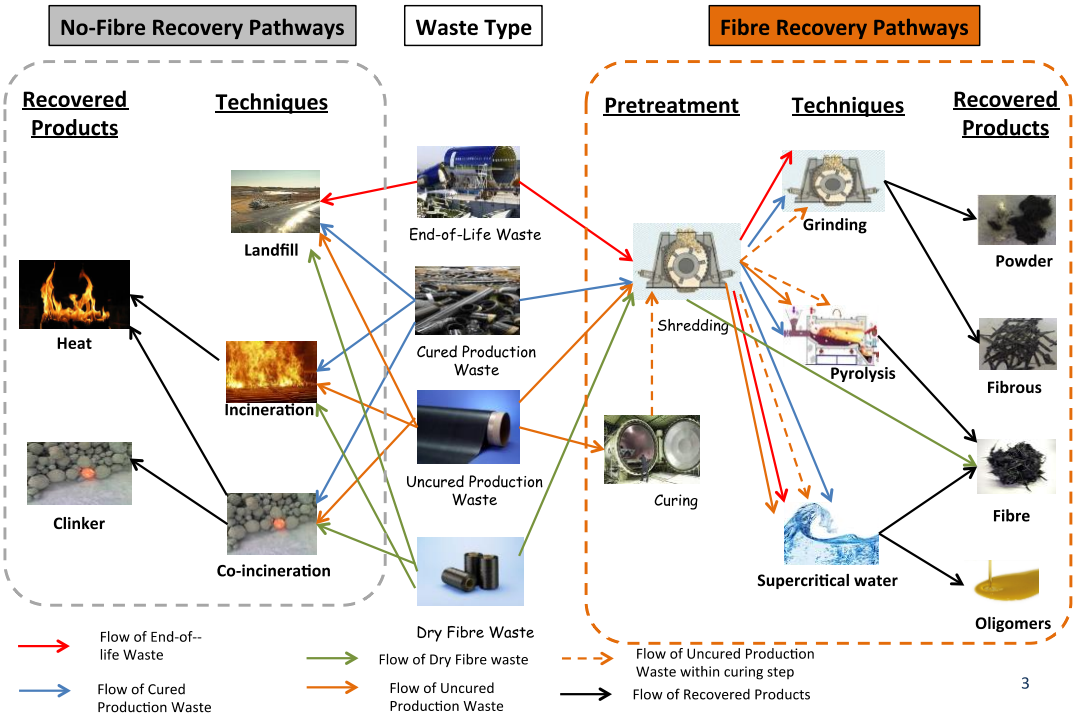


Figure 3.15 : Source : Phuong Anh VO DONG, Catherine AZZARO-PANTEL, Marianne BOIX, Leslie JACQUEMIN, Anne-Laure CADÈNE and Serge DOMENECH, A Bi-criteria Optimisation Approach for Aerospace Carbon Fibre Reinforced Polymer Waste Management in France, WasteEng2016 Conference May 23 to 26, 2016, Albi.

Le modèle implique différents groupes de données en entrée rapportés à l'unité fonctionnelle de référence à savoir la quantité de CFRP à traiter:

- un maillage du territoire afin d'identifier la localisation des gisements, les zones susceptibles d'accueillir des unités de valorisation, de stockage, de distribution ainsi que les distances inter-unités ;

- les différents procédés recensés lors de la définition du système avec leurs caractéristiques principales, notamment, types de produits valorisés, besoins en énergie et émissions de CO_2 pour chaque maillon de la chaîne (production, transport).

Le problème est résolu à travers une formulation mixte linéaire (MILP, Mixed Integer Linear Programming) avec pour variables les flux de matière circulant entre les unités, la taille et le nombre d'unités de chaque type. L'environnement de modélisation GAMS (General Algebraic Modeling System avec pour solveur retenu CPLEX) a servi de support méthodologique. Les critères d'optimisation sont de type technico-économique et environnemental. Le modèle en sortie fournit les trajectoires des différents produits ainsi que les valeurs des variables précédemment citées ainsi le taux de recyclage et les critères d'optimisation retenus.

- Cette méthodologie d'écoconception de filières de recyclage de déchets CFRP s'inscrit parfaitement dans le cadre de la mise en place d'une stratégie nationale de transition vers une économie circulaire. Elle a donc un intérêt socio-économique évident à travers le déploiement de filières de recyclage et de valorisation, domaine porteur d'emplois.

- L'application retenue concernant le traitement de déchets CFRP aéronautiques trouve un écho particulièrement pertinent dans le contexte de la région Occitanie, fleuron de l'industrie aéronautique en France.

- La solution de déploiement d'une filière de recyclage est loin d'être unique et la configuration du système de gestion des déchets global recouvre une vaste gamme de techniques de recyclage/valorisation qui évolue au cours du temps pour s'adapter à la phase de transition dans le traitement des déchets CFRP. Dans ce contexte, on observe l'évolution d'un bouquet de techniques qui fait face au compromis coût-environnement plutôt que l'émergence d'un procédé prédominant. A la lumière des résultats obtenus avec la base de données considérée dans le contexte de la France, le recyclage chimique (basé sur la solvolyse de la matrice par de l'eau en conditions supercritiques) ainsi que le traitement par micro-ondes apparaissent comme des solutions très intéressantes pour l'émergence de la filière globale permettant la valorisation des fibres vis-à-vis de certaines applications, combinées à d'autres voies de traitement.

- **Catalyse**

La catalyse joue un rôle central dans le domaine de la chimie verte et donc du Génie des Procédés durables. Les matériaux catalytiques sont en effet au cœur des enjeux sociétaux et constituent un élément de réponse incontournable aux principales préoccupations actuelles (énergie, santé, alimentation, etc.). La catalyse est un marché en forte croissance et est à l'origine de plus de 80% de la valeur ajoutée de l'industrie chimique. Le nouvel âge d'or de la catalyse vise à utiliser progressivement de moins en moins de matières premières fossiles, en cours d'épuisement, au profit

de ressources renouvelables telles que la biomasse. Ainsi, le concept de bioraffinerie est en plein essor car il est indispensable à l'avènement de la bio-économie. Cependant, le développement de nouveaux catalyseurs performants et compatibles avec les nouvelles sources de matière première renouvelable est indispensable. Dans ce cadre, REALCAT est une plateforme de criblage haut débit, unique au monde, dédiée à la catalyse sous toutes ses formes, à savoir la biocatalyse et la catalyse chimique (homogène et hétérogène) ainsi qu'à leurs nouvelles combinaisons (catalyse hybride). Cet ensemble scientifique et technologique intégré permet de répondre avec une grande réactivité à des problématiques environnementales et économiques d'actualité. Sa grande flexibilité offre en outre la possibilité de traiter des problématiques dans le domaine de la synthèse des matériaux. Portée par l'Unité de Catalyse et Chimie du Solide (UCCS - UMR 8181), le Centre de Recherche en Informatique, Signal et Automatique de Lille (CRIStAL - UMR 9189) et par l'Institut Charles Viollette (ICV - USC INRA - EA 7394), la plateforme REALCAT offre une expertise très large dans le domaine d'avenir qu'est la catalyse.

Figure 3.16 : Plateforme REALCAT

Nouveaux horizons (santé, biotechnologies, nanotechnologies, …)

Ce paragraphe a pour but de montrer comment les concepts du Génie des Procédés peuvent servir au développement industriel dans des nouveaux secteurs.

- **Génie des Procédés et santé**

Le projet CELLOX du LGC Toulouse avait pour but la mise au point d'une compresse biorésorbable selon un nouveau procédé de Chimie verte en CO_2 supercritique. Il s'agit d'un procédé d'oxydation de la cellulose qui confère au tissu de cellulose des propriétés d'hémostasie et de bio-résorbabilité,

recherchées pour la fabrication de compresses chirurgicales d'urgence. Ce projet résulte d'une collaboration entre le LGC Toulouse et le CERMAV de Grenoble, le laboratoire de référence sur la cellulose. Les propriétés du CO_2 supercritique sont ici mises à profit pour solvater la molécule oxydante et ajuster la sélectivité de l'oxydation. Ensuite, une étape de lavage au CO_2 permet l'élimination de l'oxydant non réagi adsorbé. La faible viscosité et la diffusivité élevée de ce milieu réactionnel innovant permet une très bonne pénétration dans les milieux poreux et donc une oxydation très homogène du milieu fibreux. Autre particularité, dans cette application, le CO_2 cumule ses propriétés de fluide supercritique « vert » avec une autre propriété qui lui est spécifique, sa non-oxydabilité, propriété essentielle pour un solvant lorsque l'oxydant puissant qu'il solubilise peut provoquer des réactions de dégradation du solvant lui-même.

Figure 3.17 : Le réacteur de laboratoire du LGC où ont été réalisés les premiers essais, équipé de hublots en saphir permettant la visualisation du mélange réactionnel sous pression

Après la mise au point des conditions de réactions dans un réacteur haute pression de laboratoire au LGC, une unité prototype pré-industrielle a été conçue et installée au LGC. Ce pilote a permis de valider les solutions technologiques pour l'extrapolation à grande échelle. La tâche n'était pas aisée, car il fallait maîtriser une réaction exothermique dans un réacteur sous haute pression. De plus, l'hydrodynamique dans ce réacteur devait garantir une oxydation identique pour chaque cm^2 des rouleaux de tissu traités. Un beau problème inédit de Génie des Réacteurs ! L'unité de production a été opérationnelle en novembre 2014 et mise en test intense pour valider le procédé à l'échelle industrielle. Le produit commercial, une compresse hémostatique biorésorbable composite, Veriset®, a été déployé dans les blocs opératoires européens en décembre 2015. Ce produit est une compresse d'urgence qui permet au chirurgien de faire face à une hémorragie incontrôlée qui sera jugulée en quelques dizaines de secondes. La compresse pourra être laissée à l'intérieur du corps pour empêcher une reprise d'hémorragie.

- **Des concepts du génie des procédés à l'usine cellulaire**

Les structures cellulaires, si complexes soient-elles, doivent être abordées par des extensions de modèles développés en génie des procédés : l'environnement mécanique et chimique d'une cellule et les limitations aux transferts de matière et d'énergie avec l'extérieur conditionnent sa réponse physiologique. La structure de compréhension, héritée du génie des procédés sous forme de bilans matière, énergie et quantité de mouvement, même si elle contraint la vision, offre un cadre riche de réflexions ; l'analyse exergétique est centrale… mais attention l'échelle pertinente est le nanomètre : l'univers intracellulaire est complexe mais il n'obéit pas à des lois étranges. Ce cadre dépasse

largement l'application stricte aux bioprocédés puisqu'il englobe une approche systémique locale et globale de du fonctionnement des systèmes vivants.

- **Génie des Procédés et nanotechnologie**

Le LGC a contribué au développement d'un nouveau procédé catalytique pour une production à l'échelle industrielle de nanotubes de carbone. Une collaboration entre les laboratoires LCC, CIRIMAT, LGC et l'entreprise Arkema avec le soutien du SAIC INP Toulouse, a conduit à la mise au point d'un nouveau procédé catalytique de production industrielle de nanotubes de carbone multi-parois. Le travail a démarré en 1999 avec la mise au point au LCC d'une voie de synthèse par CVD en lit fluidisé produisant 3 g/h de nanotubes. Dans le but d'accroitre le rendement de ce procédé, le LGC a été associé à ce projet dès 2001: l'optimisation des paramètres opératoires du procédé et deux changements d'échelle successifs ont permis d'atteindre 300 g/h. Le procédé a ensuite été transposé avec succès à l'échelle industrielle par la Société Arkema en 2011.

- **Génie des Procédés et les nouveaux horizons**

Bien que l'homme soit présent dans l'espace de façon presque continue depuis les années 70' (Salyut, MIR and ISS), il n'a pour l'instant jamais quitté l'orbite terrestre en dehors des missions de courte durée vers la Lune du programme Apollo. Depuis une dizaine d'années de nombreux scénarios sont à l'étude pour la poursuite de l'exploration spatiale habitée. Ces scénarios vont d'un retour vers la Lune, ou encore d'un projet d'orbiteur lunaire installé à mi-chemin Terre-Lune au point de Lagrange, jusqu'à l'ultime objectif qui est la présence sur la surface Martienne. Tous ces scénarios ont pour point commun une distance très éloignée de la Terre (environ 400 000 km pour la Lune et environ 60 millions de km pour Mars) et bien différente de la distance actuelle de la station spatiale internationale (~ 400 km).

Oublions, pour la simplicité de notre propos, les autres challenges (e.g. protection contre les radiations, médecine, psychologie, etc.) et focalisons-nous uniquement sur les besoins métaboliques minimum de l'astronaute (e.g. oxygène, eau, nourriture). En masse ces besoins diffèrent très peu du terrien et se situent aux environs de 5 kg par personne et par jour. Pour un équipage standard de 6 personnes, on obtient très rapidement des masses (~30 tonnes pour une mission martienne), absolument incompatibles avec les lanceurs actuels, qui sont capables de déposer « uniquement » une masse totale du véhicule de 9 t à la surface de la Lune. Ceci est sans compter une dépendance totale envers des cargos de ravitaillement en provenance de la Terre, sachant en plus que, pour des raisons de physique céleste, Mars n'est à proximité de la Terre que tous les 3 ans, ce qui nécessite des missions d'au moins 1000 jours.

L'approche « ravitaillement » n'étant pas réaliste, il ne reste plus qu'une seule approche possible, la réduction des masses embarquées par le recyclage des déchets à bord de la mission. En 1989, l'Agence Spatiale Européenne a initié le projet MELiSSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative) dont le but est la valorisation maximale des déchets de la mission pour la production d'oxygène, d'eau et de nourriture. Si l'on imagine assez bien la production d'une molécule d'oxygène ou d'une molécule d'eau par des procédés chimiques, la problématique augmente en complexité avec la production de la nourriture et l'extrême diversité de ces molécules. La production de nourriture impose également l'utilisation de procédés utilisant la matière vivante (bioprocédés) au moins pour les étapes de production de nourriture. On montre alors que la plupart des fonctions de décomposition et de synthèse doivent alors être assurées par des bioprocédés. Il s'agit donc de systèmes bio-régénératifs.

Inspiré par un écosystème terrestre (e.g. un lac ; figure 3.11), la structure du système MELiSSA reproduit la logique des fonctions d'un écosystème de base. Illustré en figure 1 puis 2, le procédé 1, est en charge principalement des activités de décomposition des molécules complexes en molécules simples, en obtenant en sortie principalement des acide gras volatils (AGV), des ions ammonium et des minéraux. Le procédé 2 transforme principalement les AGV en CO_2 ; le procédé 3 est en charge de la transformation de l'azote ammoniacal en nitrate, source préférentielle d'azote pour les plantes supérieures et les microalgues. Les procédés 4a et 4b sont souvent appelés « procédés producteurs », dans le sens où ils produisent, l'oxygène, l'eau et la nourriture à partir des déchets progressivement transformés dans les compartiments précédents.

Si l'on met de côté les difficultés liées à la microgravité et aux radiations, il reste toutefois plusieurs grands challenges à résoudre, que l'on peut lister ainsi :

- Le système MELiSSA est un système fermé, dont les temps de résidence du cycle sont compris entre 1 (e.g. gaz), 10 (e.g. liquides) et 100 jours (e.g. solides), en fonction bien sûr du régime alimentaire choisi et des paramètres de fonctionnement des étages de réaction. Il est donc crucial qu'il n'y ait pas de phénomène de limitation ou d'empoisonnement. C'est un système qui fonctionne également avec des masses de stockage minimales, ce qui nécessite un contrôle fin des opérations.
- Le système MELiSSA a pour but de subvenir aux besoins métaboliques de l'équipage. La sécurité des produits, mais aussi la fiabilité et la robustesse du système sont cruciaux. La production de nourriture, à partir de déchets métaboliques nécessite une maitrise et une compréhension de ces procédés aussi fine que possible et une modélisation qui comporte la capacité d'être adaptée à des conditions « non classiques » de fonctionnement (gravité réduite par exemple).
- Pour des raisons de maitrise du système, MELiSSA est un système composé d'opérations unitaires (compartiments) ce qui fournit des capacités de contrôle à différents niveaux, pour peu que ces opérations unitaires soient correctement décrites par des modèles structurés autour des bilans de conservation (matière et énergie), des lois physiques de transfert (thermique, matière et rayonnement) et des cinétiques chimiques et métaboliques

Ces challenges, et l'historique du projet, initié par un ingénieur de MATRA Espace (aujourd'hui AIRBUS), font qu'une seule solution était et reste envisageable : une approche d'ingénierie des systèmes, basée sur des modèles stœchiométriquement structurés. Initié avec des budgets relativement réduits, le projet a pris progressivement de l'ampleur et rassemble aujourd'hui une communauté Européenne importante, autour d'une trentaine d'organisations et de 14 pays.

Le développement du projet s'est concentré sur une caractérisation progressive :

- à la paillasse,
- sur des installations pilotes,
- lors d'expériences spatiales à bord de la station spatiale internationale,
- et avec le dimensionnement en vraie grandeur pour les vols futurs.

Parmi les verrous levés par ce travail, on peut mentionner :

- L'élaboration de l'analyse multicritères (e.g. plateforme ALiSSE, qui est en fait une forme d'analyse de cycle de vie) et l'élaboration des outils de simulation associés ;
- La modélisation de systèmes clos, multi-dynamiques, et multiphasiques (gaz, liquide, solide), et des bilans de masse associés,

- La démonstration de systèmes de contrôle prédictifs de bioréacteurs avec des contraintes fortes,
- La démonstration de la boucle complète en phase liquide à l'échelle pilote,
- L'élaboration de recettes sur substrat limites, et l'évaluation de l'acceptabilité humaine lors de campagnes de bed-rest de 100 jours,

Confirmé lors de la dernière réunion ministérielle de l'ESA, le projet MELiSSA continue sa mission vers l'espace lointain. Il lui reste toutefois de nombreux challenges à résoudre :

- modélisation de communautés microbiologiques complexes,
- validation des modèles prédictifs de plantes,
- réduction des masses embarquées,
- analyse des effets et modélisation des expositions longue durée aux radiations solaires et galactiques,
- compréhension et modélisation des accumulations des éléments traces,
- choix technologiques, etc.

En définitive, même si les contraintes sont très particulières (assemblage complexe d'opérations unitaires très intriquées, bioprocédés, conditions spatiales, etc.) l'approche du génie des procédés reste et restera l'approche intégrative par excellence, finalement la seule approche possible, utilisable pour organiser la connaissance indispensable des processus, en un modèle de contrôle global, en mesure de répondre à la demande de support vie d'un équipage.

Le confinement nécessite des temps de réponse rapides, en raison de tampons matière réduits. L'intelligence contenue dans le modèle anticipe une commande optimale… à condition que le modèle soit vraiment bâti à partir de modèles de connaissance utilisant des lois de conservation et des paramètres réifiés.

Figure 3.18 : Ecosystème terrestre (un lac) inspirant le projet MELiSSA

Chapitre 4 : Le Génie des Procédés et l'Usine du Futur

Introduction

La SFGP a mis en place en 2016 un groupe de réflexion mixte académiques / industriels (Air Liquide, Total, Solvay, Sanofi, Arkema, Veolia, Technip, Axens, Profluid (FIM), EDF…) pour définir les concepts de l'usine du futur dans les industries de procédés. Cette réflexion collective se concrétisera par un **guide sur « l'ingénierie du futur »**. Dans ce chapitre, seuls sont présentés quelques éléments issus des discussions à l'occasion des assises régionales et nationales, notamment lors de la table ronde « En quoi le Génie des Procédés est-il un acteur du renouveau industriel ? » des assises nationales (voir annexe 6).

L'usine du futur dans les industries de procédés

L'« Usine du futur » repose sur un fonctionnement interconnecté des équipements et des produits en cours d'élaboration circulant dans l'usine, sur le développement des outils d'aide à la décision pour la conception de nouveaux couples produits-procédés et sur une flexibilité/modularité accrue des procédés, devant permettre à la fois une adaptation aux nouvelles matières premières et une personnalisation de masse des produits. Le Génie des Procédés est clairement au cœur de ce concept. Les grandes tendances qui concourent à conduire vers ce nouveau concept sont entre autres :

- la numérisation/digitalisation de la société industrielle (connexion entre objets (Internet of Things), réalité virtuelle, nouveaux capteurs, contrôle procédés avancé)

- la ré-industrialisation s'appuyant sur les spécificités des territoires,

- la possibilité de reconfigurer des unités de production (« retrofit ») et la question sous-jacente de l'équilibre entre gros sites de production centralisés et petits sites délocalisés agiles/reconfigurables

- l'agilité des systèmes de production interdépendants dans un environnement incertain,

- les économies et le partage de ressources, dont l'énergie ; l'intensification des procédés,

- la nécessité d'une acceptabilité sociale et environnementale.

- la flexibilité/modularité accrue des procédés et des équipements, devant permettre à la fois une adaptation aux nouvelles matières premières et une personnalisation de masse des produits.

- le fonctionnement interconnecté des équipements et des produits en cours d'élaboration circulant dans l'usine,

- le développement d'outils d'aide à la décision pour la conception de nouveaux couples produits-procédés,

- le développement de nouveaux équipements pour les opérations unitaires du Génie des Procédés, qui sont des facteurs d'innovation dans les PMI-PME.

Conclusion générale

L'organisation des assises régionales en 2016 et nationales en 2017, associée à l'écriture du livre blanc, a permis de mobiliser l'ensemble de la communauté du Génie des Procédés. L'un des objectifs était de faire le bilan des évolutions de notre discipline depuis 25 ans, date du dernier recensement des forces académiques (rapport Gaillard, 1991). La discipline s'est beaucoup développée sur l'ensemble du territoire en termes de formation, du baccalauréat au doctorat, et en termes de laboratoires. Ce livre blanc a permis de recenser la très grande majorité des formations et des laboratoires. Ce recensement a pour objectif d'être dynamique et de suivre les évolutions des structures. Pour les formations, comme les laboratoires, on distingue deux catégories, celles ou ceux qui sont majoritairement dans le domaine du Génie des Procédés et celles ou ceux qui présentent des enseignements significatifs en Génie des Procédés ou des équipes de Génie des Procédés dans un ensemble plus vaste et appartenant à une autre discipline.

Nous savons qu'il est souvent difficile de définir notre discipline en dehors de notre communauté, que ce soit pour les futurs élèves, pour les collègues des autres disciplines ou pour certains décideurs. Ceci nous a conduits à rechercher ce que pouvait apporter le Génie des Procédés à l'industrie et à la société à travers des exemples, que l'on a considéré comme exemplaires, provenant de différents secteurs industriels. Ces exemples serviront de matière à une communication vers les différents publics ciblés en utilisant l'ensemble des moyens de communication familiers au jeune public. Une synthèse de ce livre blanc, montrant l'intérêt du Génie des Procédés, sera éditée pour être diffusée vers les décideurs.

Les discussions générées pendant les assises régionales et nationales ont servi à analyser les évolutions thématiques de la discipline du Génie des Procédés et à élaborer des recommandations pour son développement au service du renouveau industriel du pays et à celui de la société. Ces recommandations, volontairement placées en début de ce livre blanc, concernent les volets formation et recherche. Elles donnent un éclairage sur l'évolution future de la discipline.

Références

[1] : Gilbert Gaillard, Rapport de la mission sur l'état de Génie des Procédés en France, 1991.
[2] : GP2020, rapport soutenu par le CNRS-INSIS, coordonné par L. Falk, 2014.
[3] : Rapport de conjoncture la section 10 du CNRS, 2014.
[4] : Rapport de la 62ème section du Conseil National des Universités, 2015.
[5] : Rapport de l'OPECST sur la bioraffinerie « De la biomasse à la bioéconomie : une stratégie pour la France ». Problématiques et conclusions de l'audition publique du 25 juin 2015.

Annexe 0 : composition des comités des assises régionales

Région Est	Région Nord	Région Ouest
J.-P. Bellot (IJL-Université de Lorraine) **L. Falk** (LRGP-CNRS-Nancy, **coordinateur**) E. Favre (LRGP-Université de Lorraine) P. Gervais (PAM—Université de Dijon) P. Haller (ARKEMA-IRT M2P) A. Marc (LRGP-CNRS-Nancy) M. Sardin (LRGP-Université de Lorraine) C. Serra (Institut Charles Sadron-Université de Strasbourg) J. Tayeb (FARE-INRA-Reims).	J.-C. De Hemptine (IFPEN-Rueil-Malmaison) **M. Debacq** (CMGPCE-CNAM-Paris, **coordinatrice**) P. Dhulster (I.C. Violette-Université de Lille) S. Duquesne (UMET-ENSCL-Lille) **F. Nicol** (VEOLIA-Limay, **coordinateur**) A. Pauss (TIMR-UTC-Compiègne) P. Perré (LGPM-Ecole Centrale de Paris) S. Sarrade (CEA-Saclay) B. Taouk (LSPC-INSA-Rouen) G. Trystram (GENIAL-AgroParisTech).	P. Bourseau (GEPEA-Université de Bretagne Sud) B. Cazacliu (IFSTTAR-Nantes) A. Couvert (ISCR-ENSCR-Rennes) C. Dagot (GRESE-ENSIL-Limoges) G. Gesan-Guizou (STLO-INRA-Rennes) M. Havet (GEPEA-ONIRIS-Nantes) K. Allaf (LASIE-Université de La Rochelle) L. Le Coq (GEPEA-Ecole des Mines de Nantes) **J. Legrand** (GEPEA-Université de Nantes, **coordinateur**) T. Lucas (IRSTEA-Rennes) L. Luo (LTN-CNRS-Nantes).

Région Sud-Est	Région Sud-Ouest
M. Aurousseau (LGPP-Pagora-Grenoble) C. De Bellefon (LGPC-CNRS-Lyon) C. Dartiguelongue (Axelera) C.-G. Dussap (IP-Université Blaise Pascal-Clermont) C. Dupont (CEA-Grenoble) C. Jallut (LAGEP-CPE-Lyon) **J.-F. Joly** (IFPEN-Solaize, **coordinateur**) C. Pijolat (SPIN-Ecole des Mines de Saint-Etienne) N. Roche (M2P2-Université d'Aix-Marseille)	**B. Biscans** (LGC-CNRS-Toulouse, **coordinatrice**) P. Cézac (LATEP-Université de Pau) J.-M. Commandre (CIRAD-Montpellier) S. Dechelotte (PROSIM-Toulouse) G. Flamant (PROMES-CNRS-Odeillo) B. Grondin (U. de la Réunion) M. Meireles (LGC-CNRS-Toulouse) X. Meyer (LGC-ENSIACET-Toulouse) A. Nzihou (RAPSODEE-Ecole des Mines d'Albi) E. Paul (LISBP-INSA-Toulouse) N. Régnier (I2M-Université de Bordeaux) J.-P. Steyer (LBE-INRA-Narbonne).

Annexe 1 : Les assises en région Est

Pour la première fois, le 8 novembre 2016, se sont tenues à Nancy les assises régionales du Génie des Procédés EST réunissant sur invitation des enseignants chercheurs, des chercheurs académiques et industriels, des responsables d'organismes régionaux venus de deux grandes régions : Grand Est (Alsace, Champagne-Ardennes, Lorraine) et Bourgogne Franche Comté. Au plus fort de la journée près de soixante personnes étaient présentes.

Après la présentation de la SFGP et du programme de la journée, par Michel SARDIN, vice-Président du Conseil Scientifique et Technique de la SFGP, Eric Schaer, professeur à L'ENSIC, l'un des animateurs du groupe de travail « éducation » de la SGFP, a présenté le panorama des structures d'enseignement dans l'ensemble EST. Il y a 30 ans la formation en Génie Chimique était concentrée sur l'ENSIC à Nancy. Aujourd'hui, le bilan des formations en GP a montré une dissémination des formations sur l'ensemble du territoire EST en particulier dans les formations de chimie, de matériaux et de biotechnologie. Le centre historique de Nancy a continué de se développer également tout en irriguant les autres centres de formation de l'EST.

Le panorama de la recherche en Génie des Procédés, présenté par Laurent Falk, Directeur du Laboratoire Réactions et Génie des Procédés CNRS-Université de Lorraine a permis de mettre en évidence les mêmes tendances que pour l'enseignement : un renforcement du pôle Nancéien, et une dispersion d'équipes dans des laboratoires non directement concernés par le GP mais se tournant soit en chimie soit en agro-alimentaire vers le développement de procédés. Cette dispersion est due en partie à la fusion de petits laboratoires regroupés maintenant dans des unités de grandes tailles. Cet ensemble offre une vaste ressource pour la collaboration avec l'industrie, comme le montre leur forte implication dans les Instituts Carnot.

Quatre présentations sur des réussites de la recherche en Génie des Procédés intéressant les biotechnologies, les matériaux, et l'énergie, secteurs clé pour nos régions sont venues illustrées ses collaboration et réussite industrielles.

C'est ainsi que, que pour les biotechnolgies, Anne Endrizzi, ingénieure Responsable Projets, Welience Agroalimentaire et Bio-industriel (SATT Grand Est) a présenté de nouvelles technologies de décontamination microbienne des produits et ingrédients alimentaires faiblement hydratés permettant de préserver la texture et les performances du produit, et Anthony Bresin, Directeur scientifique ARD, a illustré le passage du laboratoire au développement de pilote industriel par le scale-up du procédé de production d'acide succinique. L'élaboration des matériaux a fait l'objet d'une présentation commune par Alain Jardy, directeur de recherche CNRS à l'Institut Jean Lamour et Neill MacDonald, directeur du centre de recherche Métafensh, sur les procédés de refusion d'alliages métalliques : de la modélisation de processus à l'échelle microscopique à l'usage intensif d'un simulateur dans le monde industriel. Enfin Jean-Marc Commenge, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieur des Industries Chimiques, est venu nous entretenir d'une collaboration industrielle avec Air Liquide sur l'application des réacteurs-échangeurs microstructurés dans le secteur de l'énergie : Covalorisation de H2 et de CO2.

Trois ateliers ont travaillé pendant deux heures à l'élaboration des évolutions et perspectives pour la discipline :

• Génie des procédés et matériaux (métalliques et alliages, composites, polymères, bois, fibres, minéraux, déchets, recyclage ...)

• Energie et ressources renouvelables, non renouvelables et vecteur énergétique (nucléaire, biocarburant, H2, ...) et économie circulaire

• Bioéconomie des agro-ressources

La fin de la journée a été consacrée à la restitution des trois ateliers en séance plénière et à une table ronde animée par Valéry Dubois, journaliste scientifique. Y ont participé :

• Jean-Yves le Déaut, député de Meurthe et Moselle, et Président de l'Office Parlementaire d'Evaluation des choix Scientifiques et Technologique

• Neill MacDonald, Directeur de MétaFensch

• Patrick Gervais, Professeur–Directeur de l'UMR PAM – Agrosup Dijon

• Jean Tayeb, Directeur adjoint de l'institut Carnot 3BCar

• Laurent Falk, directeur du LRGP

Au cours du débat, Jean-Yves le Déaut a réaffirmé l'intérêt que portait les parlementaires à une discipline, le Génie des Procédés qui est un accélérateur de l'industrialisation de nouveaux procédés innovants, performants, économe en énergie et à faible impact environnemental.

En conclusion de la journée, Michel Sardin s'est félicité de la qualité des dossiers préparatoires, des présentations et des débats qui ont permis d'élaborer des conclusions pertinentes à ces assises régionales.

Annexe 2 : les assises en région Nord

Les assises NORD du génie des procédés se sont tenues le 4 novembre 2016 à Paris. Elles ont rassemblé une soixantaine de participants : industriels, académiques et quelques institutionnels, venant des régions Île-de-France, Normandie et Hauts-de-France.

Les **introductions** (Jean-Pierre DAL PONT, Jack LEGRAND et Marie DEBACQ) ont repris le contexte et les objectifs des assises et ont soulevé un certain nombre de questions sur lesquelles nous sommes revenus tout au long de la journée.
La première conférence a apporté un regard historique en France et ailleurs dans le monde : **« De la chimie appliquée aux arts au Génie des procédés, à la recherche de nouveaux paradigmes »**. Jacques BREYSSE est notamment revenu sur l'évolution du génie des procédés, à la fois sur le plan industriel et sur celui de l'enseignement, ses progrès et les difficultés qu'il a rencontré pour se faire reconnaître, pour terminer sur la notion de paradigme, le fait que le génie des procédés a bien toutes les caractéristiques d'une science et le besoin de constamment le réinventer, en fonction des besoins de la société.

Le **bilan des forces du génie des procédés en Île-de-France, Normandie et Hauts-de-France** est difficile à établir dans la mesure où toutes les structures de recherche et de formation n'ont pas répondu à l'enquête. Il se dégage néanmoins que ces forces sont disséminée : avec une répartition environ moitié/moitié entre les formations en génie des procédés et celles incluant du génie des procédés et une assez bonne couverture du territoire ; en revanche le génie des procédés est quasiment toujours une thématique parmi d'autres (et généralement très minoritaire) dans les laboratoires de recherche. De surcroît, si le génie des procédés s'est davantage implanté dans les formations généralistes ou des formations d'autres spécialités (matériaux, chimie, agroalimentaire), l'identité d'un certain nombre de formations en génie des procédés se trouve désormais peu visible suite aux choix de regroupements politiques des établissements, ce qui n'est pas sans conséquence en termes de recrutement notamment.

crédit photo : Sandrine VILLAIN, Cnam

Les présentations de **« réalisations remarquables » industrielles** ont été très riches et diverses : trois exemples en vidéo et trois témoignages en direct ont été présentés. Le point commun est la recherche permanente de l'innovation : soit en termes de produits, soit en termes d'efficacité.

- Struvia, recyclage du phosphore
- Emulsar, la solution en émulsion - Christophe ARNAUD
- BioTFuel, production du biogazole et du biokérosène de 2e génération
- Prosernat, technologies pour le traitement de gaz - Jérémie ESQUIER
- Gecco, collecte et recyclage des huiles de friture
- Adionics, une solution de dessalement d'eau de mer - Guillaume de SOUZA

Réflexion en atelier sur le financement de la recherche et de l'innovation
crédit photo : Sandrine VILLAIN, Cnam

L'après-midi a débuté avec deux ateliers menés en parallèle : l'un sur **la visibilité du génie des procédés et la manière d'attirer les talents** ; l'autre sur la problématique du **financement de la recherche et de l'innovation**. Il est ressorti du premier atelier un fort besoin de communiquer vers diverses cibles, y compris le jeune public, avec des outils adaptés pour chaque cible (vidéos, BD, « kits pédagogique », fiches métiers, MOOC, etc.). Le second atelier a souligné la présence du génie des procédés dans des appels à projets très divers, ainsi que la difficulté de financer les pilotes pourtant indispensables aux développements dans notre discipline.

Réflexion en atelier la visibilité du génie des procédés
crédit photo : Sandrine VILLAIN, Cnam

La journée s'est terminée par une table ronde, au cours de laquelle les conclusions de chaque atelier ont été présentées, permettant aux participants de l'autre atelier de réagir.

Puis les intervenants et participants ont débattu de la **formation**, y compris la formation doctorale par la recherche, en soulignant l'importance de la polyvalence (modes de travail, numérique, innovation, ou encore sensibilisation à la cybersécurité par exemple) et de l'alternance (expérience professionnelle) quelle qu'en soit la forme. Ceci n'implique pas tant de revoir les contenus pédagogiques, que les méthodes de formation. Il apparaît que dans tous les cas qu'une réflexion permanente sur le parcours de formation, qui peut durer toute la vie, est porteur de réussite.

Annexe 3 : les assises en région Ouest

Les Assises Ouest ont eu lieu le 9 novembre à ONIRIS Nantes. Il y a eu une soixantaine de participants des régions Bretagne, Limousin, Pays de la Loire et Poitou-Charentes, dont des académiques du Génie des Procédés et des autres disciplines, des industriels, des pôles de compétitivité, des structures d'interface et des représentants des collectivités territoriales.

D. Buzoni-Gatel, Directrice d'ONIRIS, a introduit la journée et les objectifs des assises ont été présentés par Jack Legrand, Président du Conseil Scientifique et Technique de la SFGP. Le bilan des structures d'enseignement et de recherche de la région Ouest, ainsi que des centres techniques, a été fait par Patrick Bourseau (GEPEA-UBS).

Le rapport Gaillard notait en 1991 un seul site isolé en Génie des procédés dans l'Ouest de la France : *« Le laboratoire de Génie des procédés (LGP) de Saint-Nazaire, qui parallèlement à la formation annuelle d'environ 55 diplômés dans le département « Génie Chimique » […] a des activités de recherche (10 enseignants chercheurs permanents) orientés vers les techniques séparatives (membrane et extraction) en relation avec des applications agroalimentaires (produits de la mer) ».*

Aujourd'hui, le bilan fait apparaître une très forte progression du potentiel à la fois sur le plan de la **formation** et sur celui de la recherche. Le génie des procédés est ainsi présent dans les programmes de 18 formations relevant de 4 universités et de 6 écoles d'ingénieurs (AgroCampus Ouest, Ecole de Mines de Nantes, ENSCI, ENSCR, ENSIL, ONIRIS). Une filière ingénieurs spécifique a été en particulier créée au sein de Polytech Nantes, ainsi qu'un second département GC-GP à l'IUT de Lorient (site de Pontivy), à côté de celui de Saint-Nazaire.

Sur le plan de la **recherche**, une dizaine de laboratoires ont des activités en Génie des Procédés, pour un effectif total de 460 personnes, dont 175 enseignants-chercheurs et 180 doctorants environ. Deux laboratoires ont des activités relevant très majoritairement du génie des procédé, l'UMR 6144 GEPEA sur Nantes et Saint-Nazaire (47 % des effectifs), et l'unité de recherche OPAALE à l'IRSTEA de Rennes (17 % des effectifs). Sept autres laboratoires ont des activités relevant du génie des procédés, l'UMR 6226 ISCR à Rennes, l'UMR 7315 SPCTS à Limoges, le département MAST de l'IFSTTAR de Nantes, l'UMR 1230 STLO à Rennes, l'UMR 6607 LTN à Nantes, la FRE 3744 IRDL à Pontivy et le laboratoire GRESE à Limoges. D'autre part, cinq centres techniques ont des activités relevant du génie des procédés, dans les domaines de l'agroalimentaire (Tecaliman, CTCPA, IDMer), de la valorisation des agroressources (CVA) et de la chimie verte (Valagro) et des industries mécaniques (Cetim).

Les thématiques de recherche dans l'Ouest relèvent de la **valorisation des bioressources**, des **écotechnologies** (génie de l'énergie et génie de l'environnement) et des **matériaux**, avec comme applications principales la transformation de produits alimentaires et la valorisation non alimentaire de bioressources marines et de déchets (GEPEA, OPAALE, STLO) ; la gestion, l'optimisation et l'intégration des procédés et des systèmes énergétiques (GEPEA, LTN) ; le traitement de l'eau (GEPEA, ISCR, GRESE) et de l'air (GEPEA, ISCR) ainsi que le traitement et la valorisation des déchets (OPAALE, GEPEA, GRESE). Parmi les questions scientifiques abordées, la conception optimale, l'éco-conception et l'intégration des procédés, la mise en œuvre de nouvelles ressources et les nouveaux usages de ressources existantes, la modélisation et le développement de nouveaux capteurs adaptés à ces nouvelles ressources tiennent une place importante.

Ces axes de recherche sont en accord avec les stratégies d'innovation régionales ainsi qu'avec les priorités de la SNR (défis 1 à 6) et en particulier celle du **renouveau industriel.** Plusieurs équipes sont ainsi positionnées sur les problématiques de l'**usine du futur**, de l'**économie circulaire** et de la gestion de **nouvelles ressources** (alimentation, énergie, chimie, matériaux), qui ont été retenues comme thèmes des ateliers de réflexion prospective.

Par ailleurs, des collaborations régulières existent avec les disciplines fondamentales, biochimie, chimie, biologie, physique et mathématiques appliquées, souvent dans une logique de site à Nantes-Saint-Nazaire ou à Rennes. Elles ont vocation à être renforcées et étendues, et des contacts ont été établis en ce sens avec plusieurs laboratoires de l'Ouest ayant des compétences dans le domaine des bioressources, en particulier BIA (physico-chimie des bioressources, INRA de Nantes), MMS (chimie et biologie des ressources marines, Nantes), IC2MP (catalyse hétérogène appliquée aux bioressources, Poitiers) et LIENSs (biotechnologies, La Rochelle) …

Quatre réalisations marquantes du Génie des Procédés dans la région Ouest ont été choisies, deux pour illustrer l'apport du Génie des Procédés pour développer des filières industrielles :

- Génie des Procédés pour la valorisation des microalgues - *Olivier Lépine, Algosource Technologies*
- Génie des Procédés pour l'optimisation des filières de traitement/valorisation des effluents d'élevage - *Fabrice Béline, OPAALE, IRSTEA*

Et deux réalisations liées aux développements d'équipement :

- Fours de cuisson de pain à faible consommation d'énergie - *Michel Havet, GEPEA, ONIRIS*
- Froiloc®, procédé de maîtrise localisée des flux d'air propres et froids - *Dominique Heitz, OPAALE, IRSTEA*

La dernière partie de la journée était consacrée à trois ateliers en parallèle, qui ont été animés par des chercheurs et des spécialistes de la créativité de Capacités SAS et de l'Oniris. La réflexion s'est déroulée au sein de sous-groupes de 5 personnes environ, selon des méthodes adaptées à chaque problématique, et a été suivie d'une phase de synthèse. Les trois ateliers étaient les suivants :

- ***Atelier 1** : **Que sera l'usine du futur pour les industries de procédé ?*** Capteurs, équipements innovants, modélisation, simulation.

La méthode utilisée était le « mind mapping ; maquettage et représentation 3D ». Après une réflexion collective sur la question « A quoi devrait ressembler l'usine du futur ? », quatre sous-groupes ont travaillé en parallèle sur les questions de l'atelier flexible, des aspects sécurité-sobriété-propreté, de l'usine éco-citoyenne, et de l'usine régénérable.

- ***Atelier 2 : Economie circulaire, quel enjeu pour les territoires ?*** Intégration de procédés et d'usines, optimisation énergétique et environnementale de la chaine de valeur, valorisation et recyclage des déchets, réduction des émissions tout au long du procédé, réduction des consommations de matières et d'énergie**.**

La méthode utilisée était le « mind mapping ; word café ». La réflexion s'est effectuée au sein de trois ateliers tournants dédiés respectivement au rôle du Génie des Procédés dans la transition vers des modes de production durable, vers une consommation durable et dans le développement du recyclage des déchets.

- ***Atelier 3 : Quelles ressources pour remplacer le pétrole et pour l'alimentation de demain ?*** Bioéconomie, produits de la mer, matériaux biosourcés, chimie verte, bioénergie, nouvelles sources alimentaires.

La méthode utilisée était le « Mind mapping ; scénario catastrophe. Le scénario retenu, « En 2040, les ressources fossiles sont totalement épuisées », a été travaillé en 2 étapes autour des deux questions suivantes : « comment en est-on arrivé là ? » et « quelles solutions peut-on imaginer pour éviter qu'on en arrive là ? ».

Annexe 4 : les assises en région Sud-Ouest

Les assises Sud-Ouest ont eu lieu le 13 Octobre à l'ENSIACET Toulouse. Il y a eu une trentaine de participants des régions Occitanie et Nouvelle Aquitaine dont des académiques du Génie des Procédés, des industriels, des pôles de compétitivité, et des représentants institutionnels. Béatrice Biscans, membre du CA de la SFGP, coordinatrice des assises Sud-Ouest, a introduit la journée en rappelant les objectifs des assises.

Bilan sur les axes forts de recherche, de formation et lien avec le milieu socio-économique

Pierre Aimar, directeur du LGC Toulouse, a présenté une **synthèse des activités de recherche** des principaux centres de Génie des Procédés de la région (Toulouse, Montpellier, Narbonne, Albi, Pau, Perpignan, Font-Romeu, Bordeaux…). Plus de 1000 chercheurs travaillent dans le domaine du Génie des Procédés avec des approches renforçant les fondamentaux de la discipline (Mécanismes de transport/Cinétique / Catalyse/Changements de phase/Couplages réactions- transport) mais aussi traitant de problématiques plus contemporaines tels que les milieux complexes, le multi échelle, les concepts « d'énergie maps », l'usine numérique, l'éco-conception.

Le bilan fait apparaître un très fort potentiel de recherche à travers les laboratoires (LGC, LISBP, RAPSODEE, IEM, PROMES, LATEP, I2M, LBE, IATE, QUALISUD) avec des axes stratégiques autour :

- De la transformation des agroressources
- L 'énergie : solaire, hydrogène, biomasse, georessouces,
- Le génie d'élaboration des matériaux
- Les cycles de la matière : procédés de traitement des déchets solides, des eaux effluents, des sols

Les recherches sont présentes dans 7 des 10 défis de la SNRI. L'interaction est forte avec les pôles de compétitivité de la région : DERBI (énergie) Pôle EAU, AGRIMIP, moins avec les pôles Santé et Aéronautique.

Xuan Meyer, directrice adjointe de l'ENSIACET, a présenté le **bilan sur les formations de la région Sud-Ouest**. Le bilan fait apparaître une très forte progression du potentiel de formation ces dix dernières années. Le génie des procédés est ainsi présent dans les programmes de 16 formations relevant de 5 universités et de 8 écoles d'ingénieurs (ENSCM, Sup Agro Montpellier, Ecole de Mines d'Albi, Sup EnR ; ENSGTI, INSA, ENSIACET, ENSCBP). Le nombre de diplômés en Génie des Procédés n'a cessé d'augmenter sur tous les niveaux de 1991 à 2015: IUT (de 50 à 180), Licence (80), Master (de 40 à 180) et Ingénieurs (de 100 à 700).

Le parcours type inclus les fondamentaux du génie des procédés (thermodynamique, cinétiques, transport), l'ingénierie des Procédés (opérations unitaires, optimisation des procédés), les sciences de l'ingénieur (informatique et méthodes numériques, management) et des parcours de spécialisation (énergie, biotechnologies, génie industriel, génie du produit). De nouvelles méthodes pédagogiques ont été introduites et l'interaction avec le milieu socio-économique au cours de la formation. Il faut noter une ouverture vers l'international en forte croissance ces dernières années.

Les caractéristiques socio-économiques du site ont été présentées par Mathilde Convert de l'Agence Madeeli, (agence du développement économique, de l'export et de l'innovation en Occitanie). Au cours de cette présentation, des exemples de dynamique partenariale académiques/entreprises et d'accompagnement et de financement des tutelles (ADEME, Région, ...) ont été donnés. Les enjeux discutés pour poursuivre le développement des compétences liées au génie des procédés sont de pouvoir développer des outils permettant d'aller au-delà de l'échelle du laboratoire, de rendre ces équipements flexibles et mutualisés : pour les laboratoires entre eux et entre les laboratoires et les entreprises. A l'échelle régionale, il paraît nécessaire de structurer et mettre en réseau les outils existants et à venir (importance d'avoir une vision globale et multi-site).

Présentations de réalisations remarquables de la discipline

Six réalisations marquantes du Génie des Procédés dans la région Sud-Ouest ont été choisies, quatre pour illustrer les apports dans le domaine de l'énergie, une dans le domaine de l'environnement et la dernière sur le génie pharmaceutique.

Voyage au cœur des Energies

- Solaire – Gabriel Olalde, Promes, Odeillo
- Hydrogène- Pierre Aimar, LGC Toulouse
- Sous-sol - Pierre Cézac, LATEP Pau
- Biomasse -Jean-Michel Commandré, Cirad Montpellier

L'agro-industrie face aux défis environnementaux - Etienne Paul (LISBP Toulouse)/Jean-Philippe Steyer (LBE Narbonne)

Le Génie pharmaceutique - Fabienne Espitalier, RAPSODEE Albi

Table ronde

La dernière partie de la journée était consacrée à une table ronde qui a été animée par une journaliste. Les participants étaient :

- des représentants des pôles de compétitivité : Pôle DERBI, Xavier Py ; Pôle EAU : Guillaume Nourrit ; Pôle Agrimip Michèle Marin qui représentait également l'INRA,
- une représentante du CNRS : Bernadette Vallernaud de la DR14,
- une représentante de la Délégation Régionale à la Recherche et à la Technologie (DRRT), Elisabeth Borredon
- un représentant d'une entreprise : PDG de Prosim : Stéphane Dechelotte

Les questions centrales ont tourné autour de la promotion du génie des procédés et son ancrage durable dans le territoire Occitanie; Comment contribuer concrètement à la création de valeur et d'emplois dans les entreprises du Site; comment faire identifier la région Occitanie comme un territoire d'accueil et d'excellence de l'industrie liée au Génie des Procédés. Plus précisément les questions suivantes ont été débattues :

Sur l'énergie : Le Génie des Procédés intervient déjà sur l'*efficacité énergétique des procédés, la biomasse et la bioénergie, la capture et le stockage de CO2, les nouveaux matériaux pour l'énergie, l'énergie solaire…*Quelle ambition pour notre territoire ? Quelles nouvelles pistes de collaboration avec les entreprises ? Quelles sont les problématiques actuelles et de quelle manière le GP peut-il intervenir?

Dans le domaine de l'eau : Les actions du Génie des Procédés dans le domaine de l'Eau sont nombreuses et anciennes.
- Eaux potables: contaminants chimiques, microbiologiques, micropolluants (floculation, précipitation, membranes)
- Gestion des réseaux (optimisation multicritères)
- Eaux usées domestiques, effluents hospitaliers (bioréacteurs à membranes, adsorption, oxydation avancée)
- Eaux industrielles: effluents pétroliers, valorisation du phosphore, réutilisation
- Pollutions gazeuses: COV et odeurs
- Tests de toxicité

Quels sont selon vous les grands défis à venir ? Quels thèmes émergents ? Quelles actions à risque ?

Pour le domaine agri-sud-ouest innovation :

Les mots clés étaient :
- mobilisation des ressources
- biodiversité, variabilité des biomasses, tri, rendements qualitatifs et quantitatifs des productions
- dowscaling - petites puissances
- co-productions (valorisation des sous-produits, esprit bioraffinerie mais à échelle raisonnable)
- analyse des besoins locaux
- robustesse des systèmes et maintenance sobre

La représentante de la DRRT (E. Borredon) a centré son propos sur les mécanismes de transfert et a souligné la multiplicité des guichets pour les entreprises qui réduit la visibilité en particulier pour les PME.

Les dispositifs d'auto-entrepreneurs pour les étudiants ont également été abordés et la disparité de leur mise en œuvre selon les régions a été soulignée.

Stéphane Déchelotte de la société PROSIM a fait un retour d'expérience sur le montage de son entreprise issue de réalisations de chercheurs en génie des procédés et a souligné la nécessité de faire connaître ses activités à l'international.

Annexe 5 : les assises en région Sud-Est

Les assises Sud-Est se sont tenues le 8 novembre 2016 à IFPEN Lyon. Elles ont rassemblé 70 participants, avec une forte participation des représentants des laboratoires de recherche de la région, mais également des pôles de compétitivité (Axelera, Techtera, Viameca, Lyon Biopôle, Trimatec) et d'industriels (Solvay, Michelin, Sanofi, Processium, Kerneos, EDF, Bluestar Silicones…). Des représentants institutionnels étaient également présents et ont pris part aux discussions, en particulier lors de la table ronde (ARDI, Métropole).

Bilan des formations en Génie des Procédés par C. Jallut

L'état des lieux chiffré a été assez difficile à faire (surtout dans les écoles d'ingénieurs) car l'offre de formation est souvent très diversifiée, basée sur des choix de modules optionnels qui ne concernent pas tous les étudiants pour une spécialisation progressive.

C. Jallut (UCBL Lyon 1) - Bilan sur les Enseignement du Génie des Procédés en Sud-Est

-> Ecoles d'Ingénieurs : il n'existe pas d'écoles spécialisées en Génie des Procédés en Sud-Est comparables par exemple à l'ENSIC, l'ENSIACET, l'UTC (Dpt « Génie des Procédés »), l'INSA de Toulouse (Dpt « Génie des Procédés et Environnement ») mais des enseignements de Génie des Procédés plus ou moins présents dans des filières « métiers » ou d'ingénieurs généralistes

-> Filières universitaires : des enseignements spécialisés en Génie des Procédés en Sud-Est et des compléments en Génie des Procédés pour d'autres filières.

<u>Estimation du nombre de diplômés de niveau M2</u> :
entre 400 et 500 diplômés.
(concerne la Région Sud-Est (Master et Ingénieur) ayant suivi des enseignements de Génie des Procédés de façon « significative », c'est-à-dire ayant obtenu un diplôme dans le domaine ou ayant choisi jusqu'à la fin de leur cursus des modules – options – majeure du domaine).

Remarque : Il s'agit d'une estimation basse car d'autres étudiants ont suivi des enseignements de Génie des Procédés dans leur cursus (il y a toujours de la Thermodynamique, des Phénomènes de Transfert etc. …). Le compte de ces étudiants est très difficile à faire.

Potentiel en recherche par C-G Dussap

L'intervention a porté sur le bilan quantitatif du potentiel de recherche en GP dans la zone Sud-Est, les principales caractéristiques typologiques, les axes de recherche principaux et le Génie de procédés dans les régions SE versus la SNR. Le Génie des Procédés une discipline plus intégratrice que jamais, ceci induisant une certaine dispersion

On note :

- Quelques structures bien identifiées
- De nombreuses équipes de taille plus réduite dans des unités importantes
- Puissances de recherche équivalentes : Lyon, Marseille et Grenoble
- Une position très forte des EPIC : IFPEN et CEA (plus de 35 % des forces)
- La couverture d'un large spectre de la SNR

C-G Dussap (Polytech Clermont-Ferrand) - Les axes de recherche principaux en région Sud-Est

Les thèmes abordés en recherche

- Une couverture complète sur les disciplines « cœur de métier » : réacteurs, transferts, écoulements, thermodynamique appliquée,… modélisation
- Un très large spectre d'applications et d'opérations unitaires, classiques et non classiques
- Un positionnement fort sur le défi 3 (renouveau industriel) avec l'usine numérique et l'usine verte et citoyenne

Des positions stratégiques fortes

- Energies
- Elaboration des matériaux
- Transformation des agro-ressources, Bioprocédés, Procédés éco-efficients

Des faiblesses remarquées

- Santé et bien-être. Génie des procédés alimentaires. Intégration « lente » des disciplines de la famille « science de la vie »
- Une forte dispersion qui nuit à la lisibilité d'ensemble de la méthodologie de la discipline

Nouveaux horizons du Génie des Procédés

En introduction à cette partie, une conférence a été donnée par AF Schmid : « génie épistémique de l'interdiscipline », qui a permis d'aborder la notion d'interdisciplinarité et de discipline et de susciter des discussions sur le positionnement du Génie des Procédés comme discipline.

A.F. Schmid (Mines ParisTech) - Conférence sur le « génie épistémique de l'interdiscipline »

Plusieurs présentations ont ensuite permis d'illustrer les nouveaux horizons pour la discipline :

• Transfert de matière dans la peau - application à l'administration cutanée d'actifs (skin drug delivery) S. Briançon (LAGEP)
• Du Génie des Procédés dans le textile ? B. Mougin (Techtera)
• Développement et intensification de procédés enzymatiques et microbiens à l'échelle industrielle : enjeux et perspectives pour l'Usine du Futur – G. Lepage (Naturamole)
• Elaboration de produits ophtalmiques innovants par procédés en phase supercritique E. Badens (M2P2 - Marseille)

Une **table ronde** a été organisée l'après-midi et a permis de débattre autour de 3 questions :

1/ la formation (formation dans le cycle universitaire master et doctorats, formation continue, formation par alternance..), réponses aux besoins des industriels.

Table ronde réunissant de gauche à droite : G. Pignaut (CPE Lyon), C-G Dussap (Polytech Clermont-Ferrand), G. Eynard (Métropole Lyon), P. Beccat (Axelera), N. Roche (Université Marseille) et D. Giroud (ARDI).

2/ les grands enjeux autour des questions sociétales et environnementales adressées par le génie des procédés. Besoins d'évolution de la discipline, besoin de plus d'interactions avec les autres disciplines (énergie, santé, eau, alimentation ...).

3/ les différents types de mode de collaborations possibles entre recherche académique et industrielle, quels nouveaux modes pour l'avenir ?

Annexe 6 : Discours lors des Assises Nationales

DISCOURS D'OUVERTURE

Jean-Pierre DAL PONT
Président de la Société Française de Génie des Procédés

Monsieur Sébastien Podevyn, Conseiller auprès de M. Thierry Mandon, Secrétaire d'Etat au Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Monsieur le Député M. Jean-Yves Le Déaut, Président de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques
Monsieur Marc Rico, Chef du bureau de la chimie et des biotechnologies de la DGE, Ministère de l'Economie et des Finances
Monsieur Alain Fuchs, Président du CNRS
Monsieur Pierre-Henri Bigeard, DGA IFPEN
Monsieur Marc Daumas, Directeur Sciences & Innovation SANOFI
Monsieur Jean-Luc Simon, Directeur R&D Ingredia, représentant l'ANIA
Monsieur Laurent Baseilhac, Directeur des Procédés ARKEMA
Monsieur Philippe Ricoux, chargé de mission auprès du Directeur R&D Groupe TOTAL
Madame Sylvie Latieule, rédactrice en chef de plusieurs revues scientifiques
Madame Xuan Meyer, MM Jean-François Joly et Jack Legrand du comité scientifique et technique de la SFGP

Mesdames, Messieurs, chers Collègues,

Je tiens à vous exprimer mes plus vifs remerciements pour avoir bien voulu honorer de votre présence les Assises Nationales du Génie des Procédés organisées par la Société Française de Génie des Procédés que j'ai l'honneur de présider.
Ces Assises font suite aux Assises régionales qui se sont tenues l'année dernière à Lyon, Nancy, Nantes, Paris et Toulouse ; c'est ce que symbolisent malicieusement les petites perles qui figurent sur vos badges.

Les Assises régionales ont rassemblé des Industriels, des académiques, ainsi que des organismes les plus divers avec pour but de connaitre les utilisateurs de notre discipline, de se faire mieux connaitre à ceux qui l'utilisent sans le savoir comme Mr Jourdain faisait de la prose avec comme objectif final de montrer que le Génie des Procédés est un acteur important pour notre renouveau industriel.

Nous avons nommé cette activité Usine du Futur; elle est appelée Usine 4.0 outre Rhin, Smart Manufacturing outre Atlantique.

Bien que la période soit propice cette introduction n'a pas de caractère électoraliste ! Chacun s'accorde toutefois sur le fait que notre magnifique Pays doit redevenir un grand pays Industriel, lutter contre la désindustrialisation, repenser son tissu industriel. Ce sont des conditions *sine qua non* pour améliorer l'emploi, réduire notre dépendance vis à avis de l'Etranger.
La France en a les moyens au vu de la qualité de sa recherche, le succès de certaines de ses filières, ses implantations à l'étranger, sa capacité d'Innovation.

Le moment est opportun car notre pays peut utiliser comme levier ce que l'on a l'habitude d'appeler Révolution Numérique, révolution digitale où nous avons de nombreux atouts, ne serait-ce qu'en mathématiques

Cette révolution car il s'agit bien d'une révolution et non d'une révolte s'inscrit dans un besoin sans précèdent de faire face aux défis de l'eau, de la transition énergétique, de l'alimentation, de la santé d'un besoin de bien être auquel des millions de personnes aspirent légitimement.

A cette liste déjà longue, il faut ajouter les problèmes liés au climat, à l'environnement et malheureusement au terrorisme dont la Cybercriminalité est l'une des facettes parmi les plus insidieuses auquel le milieu industriel n'échappe pas.

Le terme Génie des Procédés est une invention française, créée il y a une trentaine d'années par le Professeur Jacques Villermaux de Nancy, trop tôt disparu. Jacques Villermaux a eu une vision qui semble très simple à savoir que les méthodes et concepts du Génie Chimique traduction française de Chemical Engineering qui a accompagné le développement extraordinaire de la Chimie et du Pétrole pendant un siècle pouvaient s'appliquer aux autres Industries transformation de la matière telles la Pharmacie, les industries agro-alimentaires, la cosmétique pour ne citer que celles-là.

Le Génie des Procédés que nous définissons comme une science, une discipline d'intégration d'autres sciences telles la Chimie, la Physique, les Mathématiques, la Mécanique est un acteur important des industries éponymes dont l'importance économique est considérable.

Le procédé est au cœur des industries du même nom ; du procédé dépend le succès de l'activité qu'il sous-tend, de nouveaux procédés innovants peuvent être à la source de nouvelles activités, réactiver des industries vieillissantes. Cela a été largement démontré lors de nos Assises régionales comme Mme Xuan Meyer, MM Jean-François Joly et Jack Legrand vont vous le démontrer dans un instant.

La mission de la SFGP est la promotion du Génie des Procédés, de réunir Industriels et académiques, équipementiers, sociétés d'ingénierie autour d'un objectif commun : améliorer les techniques pour aider nos industries à rester compétitives et pérennes. La SFGP est une Association loi de 1901 forte de 700 membres. Son conseil d'administration est statutairement composé pour moitié d'Industriels et pour moitié d'académiques. Son épine dorsale, ce sont ses 17 Groupes Thématiques dont vous trouverez la liste dans la pochette qui vous est remise. Ses délivrables : un congrès bisannuel, cette année il aura lieu à Nancy du 11 au 13 juillet où sera célébré le trentième anniversaire de la SFGP ; vous trouver un document dans la pochette.

Les évènements des Groupes Thématiques constituent d'autres délivrables ; ils font le point sur les techniques dont ils assurent l'excellence. A cela s'ajoutent nos journées dites Cathala-Letort de prospective industrielle et scientifique dont l'objectif est de déceler les verrous à faire sauter pour améliorer nos outils industriels. La dernière journée qui s'est tenue à Nantes en octobre dernier avait pour but de définir l'usine du futur dans les industries agro-alimentaires.

Je me dois de rendre un hommage aux professeurs Cathala et Letort qui ont ramené en France les derniers avancées du Chemical Engineering des Etats-Unis au lendemain de la deuxième guerre mondiale.

La SFGP est très fortement européenne ; c'est ici à la Maison de la Chimie que 4 ans avant le traité de Rome que l'Angleterre, l'Allemagne et la France ont fondé l'EFCE (La Fédération européenne de Génie Chimique). L'EFCE représente aujourd'hui 27 pays, 40 associations et 100 000 membres ; nous en assurons le secrétariat général avec nos collègues anglais et allemands. Il m'est agréable de vous

en informer que nous en avons pris le contrôle technique depuis l'année dernière. Il en va de même pour l'ESBES Fédération Européenne des Biotechnologies, créée il y a 4 ans où nous jouons un rôle majeur. L'Europe du Génie des Procédés et des biotechnologies est une réalité, une force dont nous voulons tirer parti.

La SFGP est en évolution permanente comme toute association qui se veut un "Think tank " ; ses Groupes Thématiques évoluent au fil des avancées techniques et comme il vous le sera démontré les "success stories " sont nombreuses.

Sous l'impulsion du Conseil d'Administration, une commission "Usine du futur" composée d'Industriels et d'académiques est très active depuis bientôt un an ; dans le même esprit, une réflexion va d'être lancée concernant l'Ingénierie de réalisation, l'ingénierie qui conçoit et construit des outils de production, métier difficile s'il en est, métier qui prête le flanc aux critiques car tout est trop cher, trop long et ne répond pas toujours à ce qui était attendu comme chacun le sait.

Cette initiative est née de la révolution numérique qui est à nos portes qui pensons-nous va modifier le mode de fonctionnement des entreprises façonnées par des géants, il y a plus d'un siècle comme Taylor, Fayol, Ford ou Thomas Alva Edison. Déjà les relations Clients/fournisseurs sont bousculées. Faut-il parler d'ubérisation ?

La SFGP avec ses Groupes Thématiques doit réfléchir avec ses collègues chimistes à de nouvelles voies de synthèse à des équipements multifonctionnels , intensifiés comme nous le disons dans notre jargon, à des modes de construction innovants pour produire plus vite, moins cher, pour construire des usines à la plus faible empreinte carbone possible, acceptées par la société et pérennes.

Sous l'impulsion de Monsieur le Ministre Hubert Curien, Gilbert GAILLARD alors membre du directoire de HOECHST avait lancé une enquête sur le Génie des Procédés en France et avait publié en 1991 un rapport dit « rapport Gaillard ».

Permettez-moi de rendre hommage à Mr le Ministre Hubert Curien et à Gilbert Gaillard mon ancien de Nancy, hommes de devoir et visionnaires.
Il sera fait un bilan sur l'évolution du Génie des Procédés en France depuis cette époque.

Mesdames, Messieurs, j'espère vous avoir convaincu que ces Assises s'imposaient vu le contexte économique, vu l'impérieuse nécessité de revoir en profondeur nos méthodes de recherche et développement, nos technologies, nos méthodes de travail pour que gagnent nos Entreprises. Les industries manufacturières, beaucoup d'organisations et d'entités peuvent bénéficier des méthodes de notre discipline.

Ces Assises doivent constituer un nouveau départ, je dirai une nouvelle envolée pour une discipline pas toujours bien comprise et pas très soutenue, faut-il le dire quand je regarde ce qui se passe chez nos voisins européens. Aux Etats-Unis, ma collègue June Wispelwey, CEO de notre Consœur américaine AIChE vient de se voir gratifier de 70 millions de dollars par la DOE ....mais sur 5 ans pour des études sur le "Smart Manufacturing ".

La SFGP veut donc, à son niveau, sans médiatisation outrancière, être à l'écoute de ses partenaires, montrer son utilité garant de sa survie. Les efforts importants déployés par des dizaines de personnes pour monter ces Assises reflètent notre engagement ; je les en remercie du fond du cœur.

Nous sommes particulièrement honorés par la présence d'élus, de représentants des instances gouvernementales, d'organismes publics, d'entreprises mondiales.

Nous allons suivre avec une attention particulière la table ronde animée par Mme Sylvie Latieule qui succèdera au bilan des Assises régionales.

En mon nom propre et au nom de la SFGP, je leur exprime mes remerciements les plus vifs et l'expression de toute ma considération.

Nous réussirons la mission qui est la nôtre que par la concertation et la compréhension de tous et par des efforts partagés. C'est mon vœu le plus cher. Merci.

DISCOURS D'OUVERTURE

Sébastien PODEVYN
Conseiller auprès de M. Thierry Mandon, Secrétaire d'état au Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche

« Merci M. le Président,

Tout d'abord, je tiens à excuser Thierry Mandon qui avait répondu présent à l'invitation que vous lui aviez adressé pour une raison toute simple c'est que le thème lui avait plu, tout simplement.

Mais bien que nous soyons en période de réserve où l'activité des ministres est censée baisser, il a néanmoins en ce moment tout un tas de sujets et notamment il y a un sujet Guyane qui est là, qui existe et qui concerne l'enseignement supérieur, la recherche et le spatial qui est également au cœur de ses activités, alors il m'a chargé de vous adresser un message : le premier de ces messages ce sont des remerciements. Vous allez me dire « qu'est-ce que c'est convenu » ! Mais pour lui c'est important d'être présent dans des moments où l'on pense. Et je reviens à ce qu'il m'a dit sur le fait que ce sujet lui avait plu. Ce sujet lui a plu parce qu'il estime qu'il est au cœur d'une actualité. Cette actualité, eh bien, c'est une mutation profonde de notre société, mutation qui s'appuie sur un certain nombre de dimensions. La première de ces dimensions c'est évidemment le progrès technologique. J'en profite pour saluer le Président de l'OPES qui vient d'arriver juste au moment où l'on parle de progrès technologique donc ça tombe très bien. Le progrès technologique effectivement mu par cette dimension révolutionnaire de la puissance de calcul des ordinateurs, les super calculateurs, on ne parle même pas encore des calculateurs quantiques qui ne sont pas encore prêts mais ça viendra. cette puissance de calcul, la capacité de calcul en réseaux, la puissance de circulation de l'information, la capacité de plus en plus importante de stockage, etc. etc. … toute cette révolution numérique est en train de booster véritablement le progrès techno et on le voit dans un certain nombre de sujets, que vous connaissez de toute façon très bien, la robotique , évidemment l'intelligence artificielle, datas, objets connectés, les bio, les nanotechnologies évidemment, la fabrication additive… bref nous assistons à une mutation très profonde due à ce progrès technologique. Mais cette mutation ne se limite pas au progrès technologique, ça c'est un point important sur lequel Thierry Mandon aime insister régulièrement, il y a d'autres dimensions qui doivent être intégrées. Première de ces dimensions, c'est la question environnementale évidemment et je crois qu'ici on est bien placés pour savoir quelles sont les attentes en ce domaine. La question environnementale est urgente et demande des réponses les plus rapides possibles. Il y a une question économique avec des facteurs un peu particuliers, une globalisation des échanges qui arrive à un niveau de maturité intéressant puisque le niveau d'échanges commerciaux est en dessous maintenant de la croissance et c'est une première. Ça veut donc dire qu'on va s'installer dans une globalisation qui sera moins importante que jusqu'à aujourd'hui avec donc des réflexions qui doivent être différentes. Ça c'est un autre volet de cette mutation. Quatrième point sur ces mutations profondes de la société c'est un nouveau rapport à la fois au travail et à l'emploi et évidemment lorsqu'on parle d'usine du futur, ce sont des sujets qui doivent être abordés d'une manière ou d'une autre parce que nous savons notamment que le progrès technologique va faire évoluer profondément la vie professionnelle de celles et ceux qui aujourd'hui se trouvent au cœur de ces usines.

Le dernier point c'est évidemment la question du rapport qui est en train d'évoluer entre l'individu et les organisations, toutes les organisations. Je pense évidemment aux organisations politiques, mais

pas simplement. Toutes les organisations aujourd'hui sont vues par les individus de manière très différente. Cet ensemble de dimensions de la mutation, pour Thierry Mandon, eh bien, c'est un élément extrêmement important et il se félicite qu'à travers les échanges que vous allez avoir aujourd'hui, eh bien un certain nombre de ces dimensions soient évoquées dans les travaux qui seront les vôtres.

Le deuxième point que je voulais évoquer devant vous, eh bien c'est l'aspect porteur de ce thème chez nous à la fois au sein du gouvernement, parce que ces thématiques ont fait l'objet d'un travail interministériel important notamment entre le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche et le ministère de l'industrie et du numérique aujourd'hui. C'était au cœur de l'alliance industrie du futur que certains je suppose, connaissent. C'est un thème qui est au cœur de l'action du ministère de l'enseignement supérieur depuis 2013 déjà, avec France Europe 2020 et ce sujet fait partie de l'une des neuf propositions de cet agenda stratégique qu'on appelle entre nous « stimuler le renouveau industriel ». C'est également l'un des dix défis de la stratégie nationale de recherche qui a été mise en avant il y a quelques temps de cela, bref, vous le comprenez, c'est au cœur de ce qui est mis en œuvre, au cœur des réflexions du ministère depuis 2013 jusqu'à aujourd'hui et je vous l'assure quelles que soient les personnes qui occuperont ces responsabilités dans quelques mois à l'avenir également.

Enfin, c'est un thème qui embrasse la question de la transition énergétique très directement. Je reviens sur cette dimension là parce que le ministre est extrêmement attentif à ces sujets là et s'il avait une demande, eh bien ce serait celle-ci : d'aider toutes celles et tous ceux qui peuvent faire avancer la recherche, qui peuvent faire avancer les applications sur ces sujets de la transition énergétique parce que nous savons que c'est à la fois une question d'indépendance, d'indépendance nationale. C'est une question extrêmement importante dans les inégalités. Parce que les inégalités d'accès dans les énergies seront de plus en plus criantes et bref c'est un sujet d'avenir et il estime que, à travers vos travaux, il y a des réflexions qui peuvent être engagées et qui pourraient faire avancer ce sujet-là. Je disais, le ministre a des convictions profondes et l'une d'entre elles c'est la question de la transdisciplinarité. C'est un sujet qu'il met en avant depuis qu'il est arrivé aux responsabilités il y a plus d'un an maintenant à la tête de ce secrétariat d'état et il estime là encore qu'avec les réflexions qui seront les vôtres aujourd'hui on va pouvoir aborder des champs très, très larges… la science des matériaux, celle des procédés, les technologies associées sont un volet évidemment mais d' un ensemble beaucoup plus vaste qui peuvent aller jusqu'aux SHS (sciences humaines et sociales), en passant par les questions de transitions numériques etc. etc. . Bref, cette transdisciplinarité, c'est le cœur de cette économie d'innovation que nous voyons jour après jour apparaitre, et cette économie qui se développe, eh bien on doit répondre de cette manière-là aussi, à cette économie de l'innovation transdisciplinaire, il faut répondre tous les jours par un travail transdisciplinaire pour permettre toujours plus d'innovation. C'est de ce cercle vertueux que le ministre appelle de ses vœux.

Alors j'ai décidé d'être court parce que je ne suis pas le ministre et je ne suis là que pour le représenter, et je n'ai pas les prétentions d'avoir ni les qualités oratoires, ni la puissance d'analyse de mon patron, mais néanmoins, il y a un dernier message qu'il a souhaité vous adresser. C'est une forme d'attente sociétale autour de la question d'une usine éco-responsable, une usine sûre et une usine intégrée dans son environnement. Aujourd'hui on parle beaucoup d'écosystème, c'est un mot extrêmement important, c'est y compris d'ailleurs un mot qu'Edgard Morin reprend beaucoup, pour intégrer l'homme dans son environnement. Il y autour de l'homme un écosystème et l'homme est une partie d'un écosystème plus vaste. Cette notion d'écosystème, elle est extrêmement importante et les usines de demain doivent être des fers de lance d'un écosystème responsable, durable, qui intègre et qui permet à tout un chacun, eh bien, de voir l'avenir avec sérénité et avec, je dirais, foi.

Pour conclure , je sais que cette question du rapport entre le génie des procédés et l'homme sera également au cœur d'une manifestation je crois en juillet 2017 qui célèbrera le 30e anniversaire de votre association, la SFGP, eh bien au nom du ministre, parce qu'il ne sait pas où il sera lui, à ce moment-là, il y a quand même un message par anticipation que j'espère vous aurez en tête à ce moment-là, il vous souhaite longue vie, il remercie celles et ceux qui au quotidien font vivre la société, c'est toujours des gens qui se donnent énormément, il le sait, et il vous félicite, vous remercie à nouveau de cette invitation, attend avec impatience les conclusions des travaux qui seront les vôtres aujourd'hui et espère avoir l'occasion de croiser les uns et les autres dans quelques temps.

Je vous remercie. »

DISCOURS DE MR LE DEAUT

Jean-Yves LE DEAUT
Président de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques – OPCST

Tout d'abord, je voudrais m'excuser de ma venue tardive, mais bien que la session soit terminée, l'office parlementaire a une réunion à 16h30 sur le dernier rapport de la législature. Il se trouve que j'en suis l'un des co-auteurs sur le *génome éditing* et l'importance de ces technologies et leurs conséquences en matière d'agriculture, en matière de santé, en matière d'environnement, sont fondamentales.

Donc j'ai bousculé votre emploi du temps, mais j'ai tenu à être présent parce que je crois que l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) est une passerelle ou tente d'être une passerelle entre la science - je salue Alain Fuchs ici présent- les établissements publics scientifiques et techniques, les universités, les sociétés comme la vôtre, les académies et le parlement. On est en quelque sorte la tête de pont de vos préoccupations au niveau parlementaire ; on n'est peut-être pas suffisamment nombreux, 18 députés et 18 sénateurs, mais nous nous intéressons à la science et essayons de la promouvoir dans un monde où c'est quelquefois difficile, parce que, et je l'ai dit dans un rapport récent sur l'évaluation de la stratégie nationale de recherche, avec quelques mots qui caractérisent ce que je dis souvent un peu fort, c'est qu'en France nous sommes plus une nation où les juristes, les énarques et un certain nombre d'autres catégories – je m'excuse pour ceux qui sont dans la salle - dominent et que la science et la technologie n'est peut-être pas une priorité importante.

On a d'ailleurs voté et cela ne vous a peut-être pas échappé, le 22 février, dans l'avant-dernière séance du parlement, une résolution qui a l'avantage d'avoir été portée par trois députés de trois groupes différents dans les mêmes termes au titre de l'article 34-1 de la constitution, qui s'appelle **science et progrès dans la république. O**n a d'ailleurs la semaine dernière publié un papier dans les Échos avec Bernard Accoyer, Dominique Orliac, et moi-même, qui étions co-signataires 'la République a besoin de savants ». J'ai été un peu long mais c'est pour vous dire qu'on essaie de vous soutenir.

Sur le sujet qui nous préoccupe, c'est une invention française, disiez-vous, et moi aussi de Nancy, je rends hommage à Jacques Villermaux et cela renvoie à deux idées.

D'abord l'idée de passer d'une manipulation ou d'une expérience de laboratoire à une méthode industrielle, reproductible robuste, efficace, voire efficiente, le génie des procédés a donc pour objet la conception, le dimensionnement, le fonctionnement d'un procédé qui comporte une ou plusieurs transformations physiques ou chimiques. Ça passe par des innovations de procédés qui justement ont pour but de diminuer les coûts unitaires de production et de distribution, d'augmenter la qualité et d'améliorer l'efficacité énergétique, de diminuer l'impact environnemental, voire de produire ou de distribuer des produits nouveaux ou sensiblement améliorés. C'est d'actualité. Car tous les sujets aujourd'hui, maitrise de l'énergie, utilisation optimale des matières premières vous me l'avez dit, sont des sujets centraux. Tous les sujets qui traitent des recyclages, de l'éco-conception et du traitement des atteintes à l'environnement, peuvent être réglés par le génie des procédés, que ce soit la qualité de l'eau que vous avez citée, le contrôle de qualité, et toutes les formes industrielles, l'OPECST s'en préoccupe et y travaille.

Vous apportez un plus dans ces domaines et le CNRS - là aussi j'ai connu un certain nombre de directeurs de ces secteurs - a été pionnier dans l'organisation et dans le développement de ces enjeux. Aujourd'hui, les contraintes écologiques que nous avons, et la précaution du débat sur le changement climatique, les montées des préoccupations qui concernent la santé individuelle de même que les chocs économiques nous y incitent. Vous le disiez, on a besoin d'une France industrielle, car si jamais on continue à avoir des pans entiers de notre industrie qui disparaissent, comme dans la région Lorraine que je représente, et si en même temps on n'a pas, grâce à notre matière grise, des créations dans d'autres secteurs industriels, on sera demain dans une situation de déclin au niveau industriel. Si on laisse par exemple, ce que je vais dire cet après-midi et qui j'espère sera voté –le secteur des biotechnologies partir en quenouille parce que finalement il y a une démission du pouvoir politique français et européen, des états membres qui ne prennent pas un certain nombre de décisions qui s'imposent, nous serons dans un fort déclin industriel. Or aujourd'hui cette conception renouvelée de l'usine, constitue une priorité absolue pour renforcer notre tissu de 220 000 entreprises qui emploient 3,2 millions de salariés. Il faut prendre conscience que ce nouvel objectif vient après une période de baisse continue - je le disais – d'activité industrielle. C'est les 34 plans industriels qui ont été votés. Il faut les soutenir et le génie des procédés fait partie de tout cela. J'ai eu l'avantage ou l'inconvénient d'être rapporteur de la commission d'enquête après AZF. J'ai vu comment à un moment donné en visitant un certain nombre d'usines, notamment dans le domaine de la pétrochimie, comment le génie des procédés pouvait régler, au sens de la sûreté, un certain nombre de questions qui se posaient en ayant des procédés de fabrication qui étaient des procédés de fabrication plus sûrs.

D'autre part, je crois que dans le développement de l'usine du futur, qui est au centre de la question que vous posez, il est question d'une alliance nouvelle entre le robot et l'homme, ça a été indiqué. Là aussi il se trouve que dans ces fonctions, un tout petit peu spécialisées, de suivi des processus technologiques au parlement, je rendrai, pas au niveau du parlement mais à l'assemblée parlementaire du Conseil de l'Europe, mon dernier rapport - parce que je ne me représente plus comme député-, sur l'intelligence artificielle, convergence technologique et droit de l'homme. Et c'est là que l'on voit qu'effectivement, le robot dans l'usine du futur au cœur du Génie des Procédés est quelque chose de majeur parce que ça donne la possibilité d'augmenter les capacités humaines ou en tout cas de compléter les capacités humaines par le robot et par l'intelligence artificielle. Le cœur de ce plan consiste donc à faire qu'aujourd'hui, si jamais on souhaite développer cela, il faut soutenir les PME, les ETI **en co-pilotage.**

Je le dirai juste pour terminer par trois points :

1/ **pilotage avec les régions** pour faire qu'un certain nombre d'ETI et de PME dans notre pays puissent se développer. On est donc à l'OPESCT dans ce que l'on appelle le *technology assesment*, c'est à dire comment à un moment donné on peut essayer de voir et de mettre en œuvre les moyens qui vont permettre à notre pays de se développer.

2/ **pilotage de l'usine du futur :** la première était la robotisation, **c'est la numérisation**. Vous l'avez tous très bien dit, donc je vais être très court, la numérisation complète et intégrée des processus productifs qu'on appelle déjà l'industrie 4.0, la 4ème révolution industrielle et sur laquelle le génie des procédés est quelque chose d'important.
Elle est irrésistible et cela permet, comme j'ai pu le constater dans le séminaire France-Amérique à Atlanta l'année dernière où j'ai ouvert le colloque sur les journées France-Amérique sur l'industrie du futur, cela permet une production plus flexible qui permettra d'adapter la demande en temps réel, jusqu'à personnaliser le produit en fonction du client. Cela permettra de tracer ces produits qui sont fabriqués, cela permettra à des machines d'émettre elles-mêmes des alertes pour des dépannages sur place ou en temps réel, et enfin cela permettra et c'est une de vos préoccupations, d'optimiser le

processus industriel, le process en fonction du coût de l'énergie jusqu'à prendre en compte les variations de ce coût en cours de la journée. Il y a certes un impact sur l'emploi, dont il faudra discuter, car si jamais on modifie l'usine du futur, on aura besoin de gens formés. Dans le rapport sur la stratégie nationale de recherche, je reprenais les chiffres de l'OCDE qui montraient que dans 5 ans, c'est à dire dans un horizon proche, on aura besoin d'abord de gens formés au numérique, 900 000 au niveau européen de plus et on aura besoin également d'à peu près 25 à 30% de gens formés supplémentaires, ce qui induit une perte d'emplois non qualifiés. Ce fantastique défi pour l'enseignement supérieur et pour la recherche est d'adapter nos sociétés à une transformation de nos industries qui vont d'une part nous demander d'avoir plus de gens formés, car si on ne les a pas effectivement on sera handicapé et en même temps de réussir à faire que les emplois, qui vont disparaitre dans d'autres secteurs de l'industrie, devront par la formation tout au long de la vie permettent aux gens de se former.

3/ Enfin dernier point, c'est qu'il faut que pour que l'usine du futur fonctionne et pour que le génie des procédés s'inscrive dans cette évolution, **fonctionner avec un centre névralgique de l'usine qui soit inséré dans un écosystème**. Et c'est plus facile à dire quand on est dans une région, plutôt qu'à Paris. Je le vois sur les regroupements d'universités et le dossier de Saclay. C'est un dossier sur lequel j'ai travaillé et c'est plus facile à faire. Je voyais encore hier qu'une université vient de fusionner ses 3 anciennes universités et que tout cela fonctionne. Cet écosystème il est majeur parce qu'il correspond à un degré supérieur dans la dématérialisation de l'usine puisque dans ce cas, elle perd son unité de lieu pour s'appuyer sur un ensemble de services aux alentours et l'avantage de cet écosystème c'est de favoriser encore plus l'innovation.

En conclusion, à mon sens, c'est important de lancer le message que vous venez de lancer Monsieur le Président, de dire que le Génie des Procédés est un levier indispensable de l'usine du futur qui reposera fondamentalement sur les gains de productivité procurés par une intégration toujours plus complète des pilotages numériques, par l'introduction de robots de plus en plus puissants, par l'interopérabilité de plus en plus parfaite des processus successifs depuis la conception jusqu'à la distribution et enfin par le prolongement de cette interopérabilité jusqu'aux réseaux externes qui relient le centre névralgique de l'usine à tout un ensemble d'autres entreprises qui prennent en charge des services externalisés dans le cadre d'un écosystème global. Et c'est cela que l'on a effectivement à résoudre comme problème. Vous êtes soutenus parce que je pense que l'on a défini des priorités sur la recherche et les procédés, même si je trouve que les matériaux de manière globale sont passés un peu à la trappe dans les orientations prioritaires - c'est ce que nous avons dit dans notre rapport d'évaluation – mais néanmoins cela conditionne une émergence de l'industrie du futur. C'est loin d'être une condition suffisante mais c'est là une action de politique économique cohérente, d'une action volontariste en direction des filières les plus porteuses d'avenir qui permettra de conserver, et sans aucun doute de développer, notre capacité de production industrielle, qui dépend de la recherche, de l'enseignement supérieur, du soutien à l'innovation. L'innovation ne doit pas être que technologique, elle doit être managériale, elle doit être de procédé, elle doit être sociale mais c'est le relai incontestable de notre dynamisme en matière de recherche et d'innovation qu'il faut soutenir et vous avez, Monsieur le Président, le soutien du parlement.

Merci.

TABLE RONDE

« En quoi le Génie des Procédés est-il un acteur du renouveau industriel ? »

Animée par Madame Sylvie Latieule, rédactrice en chef de plusieurs revues scientifiques

Intervenants :
Monsieur Pierre-Henri Bigeard, DGA IFPEN
Monsieur Marc Daumas, Directeur Sciences & Innovation SANOFI
Monsieur Jean-Luc Simon, Directeur R&D Ingredia, représentant l'ANIA
Monsieur Laurent Baseilhac, Directeur des Procédés ARKEMA
Monsieur Philippe Ricoux, chargé de mission auprès du Directeur R&D Groupe TOTAL

Le GP est au cœur des compétences de l'IFPEN, comment ça s'articule ? Comment vous le placer dans votre organisation ?

Pierre Henri BIGEARD
IFPEN à sa création avait pour mission de créer des procédés dans le domaine du raffinage. C'est ce qu'il a fait avec succès avec la création en 2000 d'AXENS, acteur qui fabrique des catalyseurs et vend des licences de procédés dans le monde entier aujourd'hui. Pas une raffinerie dans le monde qui n'utilise un de nos procédés.

En tant qu'acteur de l'innovation pour la Transition Energétique, IFPEN opère aujourd'hui de grands projets en partenariat avec des industriels et des grands organismes de recherche notamment pour produire des biocarburants de 2ème génération, c'est-à-dire non concurrents avec les ressources alimentaires.

L'objectif est d'atteindre des prix au litre raisonnables, ce qui garantira leur succès économique et donc leur accès au marché. A titre d'exemple, je citerai le procédé BioTFuel de production de biocarburant de type gazole et kérosène, qui est au stade du démonstrateur industriel sur le site de Total à Dunkerque.

Dans le domaine de la pétrochimie, le projet Biobutterfly, mené avec Michelin et Axens, porte sur un procédé de production de butadiène biosourcé, qui est un intermédiaire chimique de base pour la production de caoutchoucs synthétiques.

Nous entretenons également des relations étroites et des partenariats de long terme avec des universités et des grandes écoles, en particulier dans le cadre de nos activités de recherche fondamentale, et nous recrutons aussi chaque année plus de 40 doctorants.

Nous déployons aussi des compétences sur des projets très appliqués, et qui pourraient paraitre anecdotiques à certains mais qui ont un enjeu fort pour les acteurs industriels concernés : comme l'entreprise Rampal-Latour qui fabrique des savons de Marseille. Deux ans de collaboration avec

cette société ont abouti sur la construction d'une nouvelle unité industrielle, plus performante : consommant 4 fois moins d'eau, avec une productivité 7 fois plus élevée et la création de 30 emplois.

Dans le domaine de la pharmacie, nous avons également apporté un soutien à la société StarniFarm dans le cadre de la mise au point de médicaments sous une forme nanostructurée qui les rende plus assimilables. Notre apport en matière de simulation numérique des procédés a permis un changement d'échelle au niveau de la production, pour passer de quelques grammes à quelques kilos.

Ces exemples sont des illustrations concrètes de la contribution d'IFPEN au renouveau industriel de la France.

Autre exemple : les alliances que nous avions conclu avec Rhône-Poulenc, fournisseur notamment d'alumines, et Ceca, spécialiste de la chimie de spécialité, ont permis de consolider une structure globale pour la mise au point de procédés catalytiques. Cela a été l'occasion d'une approche intégrée, associant la catalyse, le génie des procédés et la conception des équipements.

Nous intervenons également pour la conception de composants spécifiques, comme dans le cas de procédés complexes d'hydrotraitement des produits lourds, qui utilisent des réacteurs opérés sous 200 bars de pression. La nécessaire continuité des opérations requiert des vannes particulières pour le chargement et le déchargement des catalyseurs, en vue de leur régénération ou de l'éventuelle récupération des métaux nobles (nickel et vanadium). De telles vannes ont été développées avec la société Velan, spécialiste du tri nucléaire, qui de ce fait vient de récupérer un très gros marché en Corée (15M €).

Pour conclure, je dirais qu'au niveau du Groupe IFPEN, nous avons une stratégie qui fait aujourd'hui évoluer Axens vers ce triptyque Catalyse, Procédé et Equipements, grâce au rapprochement avec Heurthey et Eurecat.

Comment vous partagez-vous dans vos travaux entre ce que vous allez faire pour le bénéfice de la France ou pour l'export ?

Pierre Henri BIGEARD

Un premier point est que nous sommes ouverts sur les opportunités de diversifications, ce qui passe souvent par des partenariats avec de grands industriels (Suez, Solvay…) pour disposer de forces conséquentes. Notre programme d'activité annuel est relativement bien équilibré entre grands groupes et PME-PMI, pour lesquelles les demandes viennent davantage au fil de l'eau.

Nous essayons de valoriser au mieux nos compétences, de manière accélérer les nouveaux développements innovants, comme par exemple la mise en place des installations pilote à haut débit. Aujourd'hui, le « criblage à haut débit » pour les catalyseurs s'effectue dans des équipements de la taille d'un tube de stylo Bic, ce qui constitue une grande avancée.

Cette miniaturisation est aussi un enjeu pour l'accélérer la mise au point des procédés. Ainsi, pour rencontrer le succès dans le domaine de la production de paraxylène, et mettre sur pied un procédé qui nous permette de dépasser notre concurrent, il nous a fallu une dizaine d'années entre le pilote et la première industrielle. L'objectif de gain de temps passe aujourd'hui par une stratégie qui utilise ces outils de petite taille pour le développement puis de faire appel à la modélisation multi échelle pour les extrapolations, de manière à garantir la performance, la durée de vie des installations et les rendements. On prépare ainsi de nouvelles générations d'outils qui nous permettront également d'aller plus vite pour transposer aux usines les bonnes pratiques du Génie Chimique et ainsi accroître la compétitivité des industries qui utiliseront ces procédés.

Dans un groupe comme Total, où se cache le GP entre les activités amont et aval ?

Philippe Ricoux

Total, de par sa volonté depuis une dizaine d'années, n'est plus uniquement orienté vers l'exploitation et le raffinage de pétrole mais aussi vers la génération et la fourniture d'énergie globalement. TOTAL veut être la Major de l'énergie responsable. Cela veut dire produire et distribuer de l'énergie pour l'ensemble du monde respectant au mieux l'environnement et à un coût raisonnable. En 2035, l'énergie fossile représentera encore environ 70% de l'énergie mondiale, le solaire et l'éolien 6%, les bio 10%, … Dans ce panel, Total a choisi de s'investir dans de nombreuses solutions, notamment le gaz pour limiter l'émission de CO2, dans la transformation de matière première (polymère et bio-polymères), le solaire photovoltaïque (acquisition de Sunpower, N°2 mondial), stockage (acquisition de Saft). Il manque encore la partie management des systèmes électriques.

Il y a du GP partout dans cet ensemble de métiers. L'amont veut dire exploration et production de pétrole. Il y un gros travail à faire sur la matière première car elle n'est en général pas pure ni exploitable au départ. Il y a nécessité de différents traitements : de la séparation, du traitement d'interface, du solide dans le cas des schistes, de la chimie, des transports dans des pipes, des chocs thermiques… Le GP est partout là-dedans. Quand on achète du pétrole brut, il y a déjà pas mal d'éléments liés au GP.

Le GP apparait largement dans la transformation puisque c'était sa base initiale. Quand on a du pétrole brut, il faut qu'on le raffine, qu'on le transforme en différent produits finis (gaz, essence, diesel, bitume, lubrifiants, …). Le GP est là pour s'adapter à nos besoins. Certaines de nos usines datant de 1920 produisent toujours aujourd'hui. Le GP est fondamental dans la partie transformation car il s'adapte à chaque nouvelle avancée.

Quand on parle d'usine du futur, le raffinage est une usine du futur depuis 100 ans. Mais maintenant, il va falloir s'adapter à d'autres éléments liés à la digitalisation. On va avoir à affiner, être plus agile. On l'a déjà commencé grâce au génie des procédés dans certains domaines: par exemple pour le soufre dans les diesels, on est passé de 3% il y a 30 ans à moins de 10 ppm aujourd'hui. Soit une division par 3 000. Le GP a permis ça plus un certain nombre de technologies à côté mais fondamentalement, c'est la réaction et le génie chimique qui a permis de réaliser ces transformations.

Aujourd'hui, on doit s'adapter à des entités « Agiles ». Une des particularités du GP, c'est de faire de l'analogie, de l'up-scaling du labo au pilote puis à l'espace industriel. On doit réduire la taille de nos unités pour s'adapter au marché.

Le produit fini doit aussi être intelligent (smart): notre filiale Hutchinson produit des bases élastomères, des composites pour l'automobile et l'aviation, etc. A l'intérieur de ces mousses, il y a déjà des capteurs et le produit devient actif ! Ceci n'est que de la transformation. Le GP ne cesse de permettre de s'améliorer.

Maintenant avec les photopiles et les batteries, l'industrie de pétrochimie, c'est du film mince, des matériaux composites qu'on ne cesse d'améliorer. Cette interface entre liquide-liquide, liquide-solide, ions-électrons, c'est purement du transfert de matière et du transfert de chaleur. Le gros problème d'une batterie aujourd'hui, pour faire de l'accumulation à partir de grosses centrales, c'est l'équilibre des cellules et le maintien thermique car il y a un risque de forte surchauffe d'une partie et d'explosion. Deux voitures Tesla ont explosé à cause d'une cellule plus faible que les autres. Si on veut passer à des puissances encore plus grosses, il faut encore mieux maitriser ces éléments.

Dans nos activités, c'est donc maitriser l'énergie, faire que l'énergie soit disponible pour tout le monde et surtout à un coût économique réalisable. Ce que j'ai entendu tout à l'heure m'a fait un peu frémir : utiliser l'électrolyse de l'eau pour faire de l'hydrogène pour fabriquer un moteur à hydrogène, ça fait beaucoup de consommation énergétique pour peu de rendement.

Une grande partie du GP chez Total c'est l'efficacité énergétique, c'est amélioration de la performance, la diminution de l'empreinte carbone, la séquestration du carbone, et sa réutilisation future. On en est encore à l'âge de pierre mais on travaille dessus en R&D pour faire une énergie certes carbonée mais avec une empreinte carbone réduite, maitrisée et acceptable.

A-t-on eu tort de dire qu'il y a peu de GP dans la pharmacie ?

Marc Daumas
Il faut reconnaitre que notre histoire ne témoigne pas d'un apport massif du GP dans notre industrie. La pharmacie chez Sanofi, ce sont deux grandes activités principalement : la fabrication du principe actif et la partie galénique qui conduit au produit fini : les comprimés, les gélules…

Pour le principe actif, le GP n'est pas notre quotidien. On est sur des quantités relativement faibles. Un grand produit chez nous c'est 300 tonnes par an, avec une chimie très spécifique. Une réaction demande beaucoup d'adaptation et nous mettons en œuvre un grand nombre de réactions chimiques différentes…

Et pourtant c'est là que vous avez des problèmes de compétitivité avec les acteurs chinois et indiens ?

Marc Daumas
Effectivement, ça nous pousse et depuis une dizaine d'années on regarde vers les procédés continus.

Un domaine cependant nous occupe aujourd'hui : la chaîne du solide (cristallisation, filtration, séchage).

Nous commençons à nous y intéresser. Il y a une forme de standardisation des opérations qui se prête à l'intensification. Et il y a aussi une opportunité d'intégration vers la pharma. On peut imaginer des qualités physiques ou des formes de principes actifs qui seront plus adaptées, plus faciles à manipuler par les pharmaciens.

Et si on regarde l'autre partie, le produit fini, nos collègues de la pharmacie (la galénique) sont maintenant en mesure d'intégrer des technologies continues ou semi-continues, de l'analyse en ligne, et de la modélisation dans leurs procédés. Choses sur lesquelles la chimie pharmaceutique est encore un peu balbutiante.

Mais ça c'était avant… parce que l'évolution de notre métier dans les dernières années s'est orientée vers les biotechnologies. Et dans ce secteur ce n'est pas du tout pareil.

Ces nouveaux produits se fabriquent par culture cellulaire en fermenteur. Des procédés de culture relativement standards mais avec des problèmes de transfert de matière, d'agitation, d'attrition des cellules…

En aval, sur les étapes de purification, on utilise largement la chromatographie, y compris en continu, des techniques de concentration sur des molécules fragiles. On parle d'ultrafiltration, de nano filtration, … : des techniques qui font appel au GP.

La partie produit fini est elle aussi très différente. Une solution concentrée de protéine, ça peut avoir des propriétés inattendues : thixotropie, thermotropie, sensibilité au cisaillement, tendance à l'agrégation, etc … et là on rejoint des phénomènes similaires à ceux que vous côtoyez quotidiennement… Comment faire des opérations de remplissage de seringue à l'échelle industrielle, à forte cadence, en milieu stérile … ?

Le GP prend dans ce domaine une importance nouvelle au sein de l'entreprise.

Le GP est en train d'évoluer pour une nouvelle demande, plus proche des consommateurs finaux qui souhaitent des produits personnalisés. Pouvez-vous expliquer votre point de vue ?

Laurent Baseilhac
ARKEMA est une société qui fabrique des produits de spécialités chimiques et des matériaux innovants. Nous occupons de manière forte les marchés de l'eau, de l'aéronautique et du transport, et de l'habitat.

Notre définition du GP : c'est un métier à l'articulation entre la R&D et la production. Sa finalité est de nous doter d'outils de production qui sont viables et d'accompagner la viabilité de ces outils tout au long de leur cycle de vie.

Qu'entend-on par viabilité? Il s'agit de performance, de sécurité des unités, de capacité à répondre à la demande du marché, de contrôlabilité et d'opérabilité. Ne l'oublions pas, ces outils de production sont mis entre les mains d'équipes de production pour les piloter.

Chez Arkema, on est convaincu depuis longtemps de l'importance de ce métier. La dynamique de l'évolution de la société nous conforte dans cette idée. Très concrètement, nous avons pris le parti de valoriser le GP ; pour cela nous avons développé des référentiels d'expertise et ouvert beaucoup de postes à responsabilité dans les métiers du GP. J'espère que ce témoignage pourra être relayé auprès de tous les professionnels de la formation en GP exerçant en milieu académique ou privé.

Nous pensons que le choix de cette politique métier est important pour disposer de fortes compétences en GP capables d'adapter nos outils de production aux défis du futur tels les « toujours moins d'empreinte environnementale », « toujours plus d'efficacité » et « toujours plus de flexibilité pour répondre au marché ».

Qu'est-ce qu'apporte le GP dans l'agroalimentaire ?

Jean-Luc Simon

1) **Cahier des charges de l'Agroalimentaire mondial dans son contexte historique** :

Au cours de ses 200 000 ans d'existence *Homo sapiens* a connu 2 révolutions. Pendant les 95premiers %, il était pêcheur, chasseur, cueilleur. Il confectionnait des outils rudimentaires, maîtrisait le feu et subissait les fermentations. Il y a moins de 10 000 ans, il passa au Néolithique caractérisé par l'élevage et l'agriculture. Outre les bouleversements sociaux, démographiques et technologiques que cela entraîna, l'Homme dû s'adapter génétiquement à de nouveaux aliments (l'exemple de la mutation concernant la béta galactosidase pour s'adapter au lait animal est illustratif). La deuxième révolution alimentaire fait suite au passage de l'artisanat à l'industrie, permis par les grandes inventions technologiques (machines à vapeur, électricité, fermentations…). C'est surtout après la seconde guerre mondiale, que l'agriculture productiviste pris son envol.

Quelques chiffres illustrent les progrès de productivité engendrés par les sélections végétale et animale, les engrais, les pesticides, les machines agricoles, le développement des industries alimentaires et l'apparition d'une distribution de plus en plus concentrée : productivité lait par vache = x 3 en 25 ans

Rendement blé tendre = x5 en 60 ans

Rendement sucre = x 5 en 40 ans

En réponse à (et permettant), la croissance démographique (en 1 siècle, passage de 1,5 Md à 7 Md d'habitants), à l'augmentation de la richesse de la population (la demande a triplé en 15 ans alors que le budget d'un occidental consacré à l'alimentation est passé de 50% en 1950 à 10 % aujourd'hui) et à l'exode rural (50 % de population rurale en 1950 contre 20 % aujourd'hui).

Si l'atteinte de l'objectif de productivité est indiscutable, et ce, en garantissant une sécurité sanitaire très élevée, des problèmes sont toutefois apparus : pollution (30% CO_2 émis, pesticides, engrais,..), épuisement des sols, maladies métaboliques (obésité, diabète, allergies, inflammations, troubles cardiovasculaires…).

2 modèles, contradictoires à première vue, se font face, appuyé parfois par un déni de réalité : un retour à une alimentation artisanale (part restreinte, coût de revient élevé) et une production agroalimentaire industrialisée (productive et peu chère). Le premier, ne répondra pas à l'augmentation de la population (11 Md d'habitants attendus en 2100) et surtout à l'occidentalisation de son mode de vie (80% de la population sera urbaine et à revenus nettement améliorés). Le second devra s'adapter (durabilité, responsabilité) et répondre aux nombreuses exigences des consommateurs (alimentation sûre, saine, variée, agréable, pratique, traçable, personnalisée et préventive vis à vis de la santé).

2) **Position de la France en IAA** :

Poids économique très important :

- 370 000 exploitations agricoles, 70 Md €, occupation de 36% des terres.
- 16 000 entreprises, 450 000 salariés, 170 Md €, 13 filières, 70 % production transformée en France
- 3ème contributeur de la balance commerciale (+ 9 Md €).

Domaine d'excellence : repas gastronomique classé UNESCO, chefs étoilés, image de la cuisine française, majors industriels (boissons, lait, céréales, oléagineux, sucre, semences), 2 plus grands salons du Monde (agriculture, SIAL), formations et recherches de haut niveau (INRA, écoles agro-agri et vétérinaires, universités, pôles de compétitivité, centres techniques, interprofessions…).

Mais perte de compétitivité : 3ème mondial avec 7,7 % du marché → 6ème (derrière US, Brésil, Chine, Allemagne et Pays bas) avec 4,8% en 15 ans. Heureusement, que la production mondiale a triplé dans le même temps !

Points faibles :

- Crise d'identité « le bon », « le vrai » contre « le plus », « le pas cher ». Les 2 modèles précités.
- Partage de la valeur entre les 3 piliers (agriculture, transformation et distribution. Pour cette dernière, mettre en regard du nombre d'acteurs de l'agroalimentaire précités, les 7 distributeurs majors et les 4 centrales d'achat).
- Eclatement des entreprises (à côté des majors industriels, 76 % sont des TPE et 22 % des PME).
- Innovation insuffisante. Part Export insuffisante (25% contre 80 % en Allemagne).
- Attractivité des carrières insuffisante.
- Réglementation la plus stricte du Monde (gage de qualité mais frein à la compétitivité. On note jusqu'à 20 mentions sur un emballage).

3) **Actions d'amélioration** :

L'ANIA a lancé une consultation citoyenne qui a engendré 8 832 réponses. Il en est ressorti un Pacte alimentaire reposant sur 3 piliers : le sourcing, la performance industrielle et l'offre marketing.

Le sourcing doit être responsable, durable, traçable, de qualité et compétitif. Il représente, en moyenne, 55 % du chiffre d'affaires contre 38 % en moyenne pour tous les secteurs industriels confondus. La concentration des acteurs, ou la mutualisation de leurs moyens, semble incontournable. L'agriculture de précision profitant des progrès scientifiques et techniques (analyses prédictives, alertes, GPS, capteurs, traitement big data, robots, drones, matériels agricoles connectés…) est incontournable.

L'offre marketing doit répondre aux nouvelles exigences des consommateurs, volatiles, individualisées, d'innovation et internationale (modes de vie, culture, réglementation, contraintes religieuses…). Cela passe par une meilleure connaissance des consommateurs (réseaux sociaux, traitement des données, valeur d'usage, marchés mondiaux…), une meilleure communication aux consommateurs (QR codes, emballages et matériaux connectés, plateformes collaboratives…) et la promotion de l'Export (culture, langues étrangères, mutualisation des actions à l'international, promotion du « Made in France »…).

La performance industrielle passe par la **conception d'ingrédients et de recettes à plus haute valeurs ajoutée** (corrélations structure de la matière <-> fonctionnalités physicochimiques, organoleptiques, nutritionnelles et physiologiques), **la maîtrise des disciplines du Génie des procédés** (attractivité, formation et veille), **la maîtrise des opérations unitaires** (upstream (traitement de la matière première agricole), réactions chimiques, physiques ou biologiques, downnstream (séparation, purification, mise en forme, emballages)) **et de leur évolution** (formation, veille, collaboration avec les équipementiers, développement de plateformes technologiques mutualisées…), **la maîtrise de l'architecture des opérations unitaires, la maîtrise de l'extrapolation des procédés, le développement de l'intensification des procédés, la maîtrise de la matière biologique** (destruction, altération, modifications souhaitées ou non (composés néoformés)…), **la flexibilité des opérations, la numérisation et la robotisation** (il y a 4X plus de robots en Allemagne qu'en France) **des tâches** répétitives ou délicates pour en abaisser le coût et améliorer la sécurité, l'hygiène, la reproductibilité et la pénibilité**, le développement de l'économie circulaire et la réduction des déchets.**

A noter que l'ANIA a focalisé sur 2 thématiques pour lesquelles la France doit défendre son leadership : les protéines (+ 40% en 2030 et durabilité) et les ferments du futur.

Avez-vous vu des changements dans cette discipline, des évolutions majeurs ou alors une stagnation ?

Philippe Ricoux

Le GP est en permanente évolution. Par rapport à il y a 20ans, c'est une évolution majeure mais cette évolution est liée principalement à la simulation. L'impact de la simulation numérique change profondément les règles du GP. Reprenons un exemple, on a parlé de lit fluidisé que l'on est capable de parfaitement modéliser aujourd'hui ; on réalise de la simulation moléculaire à l'échelle du pore, à l'échelle de l'Angström. On sait simuler les physique à l'échelle du micron comme par exemple l'activité d'un catalyseur et mais également l'impact de ce grain de catalyseur sur le fonctionnement d'unités industrielles qui font 30m de haut et qui traite des flux de 15m/seconde. On a aujourd'hui la potentialité de faire de la simulation multi échelle, c'est-à-dire de bien représenter la physique qui est présente à chaque niveau.

A l'époque de ma thèse, on avait des éléments de calcul pour faire des hypothèses, on calculait « à la main » les interfaces possibles de film. Aujourd'hui on est tout à fait capable d'avoir ce « film à l'Angström » c'est-à-dire savoir exactement quelle molécule passe à travers une membrane. La principale évolution des procédés, elle est là. On est capable aujourd'hui de simuler sur toutes les échelles de la molécule à la grosse production industrielle. Alors on s'arrête parfois au milieu parce que la grande difficulté reste de trouver ce qu'on appelle les lois d'up-scaling (passage d'une échelle à une autre). C'est un problème générique qu'on a partout. On a parlé tout à l'heure « on sait pas passer à l'échelle ». Oui, il y a des domaines où on ne sait pas passer à l'échelle, on ne connait pas bien les lois d'up-scaling qui existent entre ce qu'il se passe au niveau d'un pore par exemple dans le domaine du pétrole et ce qui se passe au niveau du puits. Il y a 105 de facteur d'échelle. Néanmoins, on sait faire un peu de statistique, on fait de l'homogénéisation mais ça n'a rien de physique. Le fait de travailler sur la multi échelle nous incite obligatoirement à accepter des lois d'up-scaling, de monter en échelle (je ne parle pas du down-scaling qui est encore plus complexe) autre que la statistique ou la moyenne qui serait faux. Il y a des singularités des choses où ce n'est pas vrai : la variation de l'énergie d'une échelle à une autre n'est pas continue, n'est pas linéaire. Il faut arrêter de penser qu'on peut faire des règles de trois partout, comme je le faisais pendant ma thèse, où on espérait que ça se passe bien. Aujourd'hui on est sorti de ça et la vraie différence qu'il y a par rapport à ce moment-là, c'est effectivement que grâce au HPC, grâce au calcul intensif, grâce à tous ces aspects de simulation, ce n'est pas le temps qu'on gagne à calculer qui est important, ce qui est important c'est qu'on est capable maintenant d'avoir des modèles physiques beaucoup plus performant que ce qu'on avait il y a 20 ans. Et bien entendu dans le futur, on sera encore plus performant si on continue à travailler comme ça. Le développement, par exemple, de la biotechnologie passe par là. On a affaire ici à des phénomènes physiques qui se passent à l'échelle moléculaire. On parlait des micro-algues tout à l'heure, et à ma connaissance, il n'existe pas de loi d'up-scaling de micro-algues pour aller au-delà du litre ou 50 litres. Si on veut fabriquer des centaines ou des milliers de m3, aujourd'hui on n'est pas capable même si à l'échelle laboratoire on a des résultats extrêmement intéressants. Il y a donc encore beaucoup de travail à faire sur ces passages à l'échelle. Je pense que le GP, il est là aujourd'hui, du pilote à l'industrie, avec des formules, avec des actions, avec des mathématiques qui sont plus performantes que ce qu'il y avait il y a 20 ans.

Est-ce que vous pouvez nous parler de transition digitale, qu'est ce que ça veut dire pour une entreprise comme Arkema, qu'est-ce que vous faites ? Par quel bout vous prenez ce sujet ?

Laurent Baseilhac

… Alors je dois comprendre que vous vous posez la question de savoir ce que font les industriels de la chimie avec le digital ! Je vais essayer d'apporter un éclairage au travers de la description de certains projets de transformation digitale que nous menons. C'est vrai que nous sommes au début de cette transformation mais il faut voir que c'est une nouvelle ère qui s'ouvre à nous.

Toutes les industries sont concernées, pas seulement celles de la chimie ; on trouve des leaders dans chacune des grandes familles industrielles qui sont déjà très en avance ; quand on dit « très en avance » cela veut dire qu'ils sont engagés dans leur transformation depuis plus d'un an ou deux.
Chez Arkema, nous avons ciblé quelques sujets prioritaires où le digital peut nous apporter de la valeur ; par exemple, on a parlé précédemment de l'utilisation des outils numériques qui font progresser la Recherche et le Développement ; c'est également le cas pour la discipline du GP où sans forcément rechercher le même niveau de précision à laquelle il a été fait référence, nous profitons effectivement du développement des outils numériques capables d'intégrer l'aspect cinétique, l'aspect thermo et l'aspect écoulement de nos procédés ; aujourd'hui nous avons des équipes et un savoir-faire pour développer des modèles de comportement des unités industrielles, ce qui veut dire que nous sommes en capacité de former les futurs opérateurs de nos unités avant même que ces unités soient construites ; les retombées positives sont effectives : grâce à l'acquisition d'une bonne maîtrise opérationnelle, les durées de démarrage sont réduites et la sûreté des mises en opération est améliorée.

Nous avons démarré récemment une plateforme industrielle de thiochimie en Malaisie, en nous appuyant sur ce nouvel outil numérique ; en moins de 6 semaines, nous avons réussi à amener l'outil de production à sa capacité nominale. Cela prouve l'extrême efficacité de cet outil dans son utilisation pour la formation des opérateurs.

Un autre domaine, dans lequel les outils numériques nous font progresser, est celui de l'ingénierie et du design: les outils immersifs de modélisation 3D, les outils 4D de couplage planning et construction font leur apparition dans nos études d'ingénierie de conception et de construction. La 4D est un outil en phase de maturation que l'on commence à essayer ; il permet de modéliser sur un objet virtuel en 3D, les séquences de construction couplées au déroulement du planning. L'outil devrait être extrêmement puissant pour des usages de maitrise des aléas de construction avec la possibilité de trouver des parades efficaces pour optimiser la résolution des incidents qui ont inévitablement lieu lors d'un chantier de construction.

Les outils immersifs de modélisation 3D sont matures et permettent d'intégrer le retour d'expérience des opérateurs de terrain ; en effet avec ces outils, les opérateurs peuvent visualiser dans l'espace, leurs futurs postes de travail et apporter des corrections pour en améliorer l'ergonomie ; ces outils sont également utilisés pour la formation aux manœuvres de terrain.

Un deuxième espace que l'on investit grâce aux outils digitaux est celui du traitement des données et de la maîtrise opératoire. Dans l'industrie chimique notre point de faiblesse est le suivant : nos unités sont constituées de nombreux équipements qui sont truffés à leur tour de nombreux capteurs et nous avons en général les capacités pour collecter et stocker toutes les données issues de ces capteurs ; pourtant force est de constater que nous n'en faisons pas une grande utilisation aujourd'hui. La puissance du digital doit être dérivée et utilisée, pour traiter ces données et générer, sous forme d'algorithmes ou autre, des outils d'assistance à la décision et au contrôle en temps réel de nos procédés ; l'objectif recherché est de maintenir en permanence nos outils à leur meilleur niveau de performance.

Un autre espace que nous investissons est celui des processus. Aujourd'hui encore la plupart de nos processus utilisent un support papier ; les outils digitaux nous permettent d'envisager des processus complètement digitalisés ; la réflexion autour de la digitalisation d'un processus nous entraine beaucoup plus loin que vers la simple disparition du papier car elle interfère directement sur les postes de travail des opérateurs. Quand on digitalise un processus de fabrication, on change l'espace temporel et géométrique des opérateurs et par conséquent on est amené à redéfinir complètement les profils de poste ce qui impacte fortement la vie d'une usine.

Nous travaillons donc aussi sur ce type de projets à forte valeur ajoutée.

Enfin, dernier espace, un peu plus disruptif, nous nous intéressons à toutes les solutions digitales qui mettent l'opérateur au centre de l'unité de production. Aujourd'hui nous pensons que nous perdons de l'efficacité en raison de niveaux de décisions qui se situent trop haut dans la chaîne hiérarchique et pas assez proches du terrain. Le digital nous permet de ramener de l'intelligence au niveau de l'opérateur qui peut ainsi prendre un certain nombre de décisions ou d'actions correctrices directement sur l'unité de production, en temps réel, en fonction de ce qu'il observe et grâce à l'appui d'informations délivrées par des outils digitaux d'assistance à la conduite. Cette nouvelle vision de l'opérateur « augmenté » nous parait extrêmement pertinente.

On va retrouver un concept similaire au travers de la téléassistance pour la bonne utilisation des expertises ; l'idée est ici de faire accompagner à distance des opérateurs de terrain et d'augmenter leur technicité par le conseil à distance exercé depuis un centre d'expertise ; l'opérateur de terrain va bénéficier du partage de connaissance d'un expert pour réaliser certaines opérations complexes sur le terrain.

L'application de ce concept revêt une grande importance pour nous ; dans un contexte de désindustrialisation que tout le monde reconnaît aujourd'hui et qui a créé la disparition ou la fuite de beaucoup de nos experts, nous voyons grâce à cette révolution digitale, la possibilité de préserver nos experts et même de redévelopper leur nombre ; l'intervention à distance au travers de nouveaux outils digitaux permet par exemple de piloter des études d'ingénierie réalisées à l'autre bout du monde depuis notre propre centre d'ingénierie qui garde la maîtrise des processus de contrôle et de validation des études. Idem pour la partie compétence ou expertise en GP, puisqu'on pourra d'un centre d'expertise Procédé localisé en France, accompagner des équipes localisées dans d'autres pays.

Nous souffrons de la difficulté à développer des centres d'expertises locaux pour soutenir nos implantations à l'international (compétences GP rares et volatiles) ; les solutions digitales vont nous permettre de nous en affranchir ; demain nous devrions être conduits à renforcer et à concentrer nos expertises sur le territoire national pour former des centres à taille critique capables de supporter efficacement toutes nos unités industrielles dans le monde. C'est donc une perspective très intéressante pour nous et le GP.

Vous voulez rajouter quelque chose par rapport à l'IFP Energies Nouvelles sur la transition digitale ?

Pierre-Henri Bigeard
Un premier point qui m'intéresse particulièrement dans la transition digitale, c'est la capitalisation et la réutilisation des données. En effet, on a des bases de données qui couvrent 30 ans d'histoire dans le domaine des procédés, ce qui est une richesse pour former les jeunes ingénieurs, en leur transmettant toute cette connaissance acquise. Des projets sur la transition digitale serviront cet objectif-là.

Un autre aspect qui nous intéresse en lien avec la plateforme AxelOne, concerne la partie analyse en ligne, où des actions ont été lancées avec les industriels et également avec des acteurs de la pharmacie. Grâce à la digitalisation, les capteurs seront de plus en plus des composants-clés pour faire fonctionner les procédés.

Vous voulez dire un mot sur le GP, ses évolutions, est ce que vous avez tous les outils qu'il vous faut pour relever tous vos challenges dans les biotechs ?

Marc Daumas
Oui vous avez vu que pour nous, les biotechnologies constituent un nouvel axe de développement particulièrement important.

Pour revenir sur l'aspect digital, l'analyse des procédés, l'analyse in process, l'utilisation des données…
Nous accumulons énormément de données que nous utilisons relativement peu.

Un autre aspect qui se rattache également au GP, concerne la modélisation, le contrôle des procédés. Il faut reconnaitre que nous sommes encore aujourd'hui dans beaucoup de procédés sur du « release testing », de l'analyse à libération : on fabrique un produit, on l'analyse pour voir si le produit est bon...
Nous sommes actuellement dans une phase de réflexion approfondie, même sur des procédés anciens, vers une forme de contrôle prédictif afin de mieux maîtriser nos procédés pendant qu'on les opère pour obtenir toujours le bon produit. Cette démarche est d'ailleurs encouragée par les autorités de santé.

Le traitement de données industrielles est donc un des aspects important de la digitalisation de l'entreprise pour la pharmacie

DEBAT

Question 1 : Christian Jallut, Université Claude Bernard, Lyon
On s'attache à ce que le GP ne disparaisse pas. Mais il faut dire que parfois c'est difficile car les étudiants renâclent un peu (j'enseigne dans la thermo). Si vous pouvez nous aider en validant notre discours, vous serez les bienvenus.

Réponse : la meilleure façon d'intéresser les étudiants à cette discipline, c'est d'inviter des industriels avec des cas concrets qui vont montrer à quoi sert le GP. Sinon ils préfèrent écouter les balivernes qu'on leur raconte qui sont plus sexy.

Question 2 : Jean-Marc Le Lann, INP de Toulouse
J'ai la faiblesse de penser que ce qu'on appelle la digitalisation aujourd'hui va apporter la même révolution qu'a apportée à son époque la modélisation/simulation qui, dieu sait il y a 30 ans, avait énormément de sceptiques et notamment dans le domaine du Génie Chimique. Je ne sais même pas aujourd'hui si on peut imaginer à travers la digitalisation et les avatars qu'elle va offrir ce qu'on pourra faire. Je trouve que dans le GP, on est toujours un peu trop en retrait par rapport à ce qu'on peut voir dans d'autres industries. J'espère que vous me contredirez.

Réponse 1 – Philippe Ricoux
La digitalisation, je connais bien. Aujourd'hui avec le renouveau de l'intelligence artificielle, qui renait grâce au HPC, grâce au calcul, si on peut traiter des masses de données, c'est parce qu'on a des calculateurs qui permettent de le faire. Et bientôt on aura des ordinateurs quantiques qui pourront traiter encore plus de données. La problématique que nous avons dans l'industrie, c'est que les objets, que nous avons, sont des objets thermodynamiques qui sont tous liés entre eux par le PVT. Il y a donc des contraintes partout. Aujourd'hui, ce qui se développe en termes d'intelligence artificielle, c'est sans contrainte. Vous avez des données individuelles, très peu connectées les unes avec les autres, pérennes ou pas. Nous avons des problématiques qui sont assez différentes. Oui il faut qu'on s'en inspire, oui il faut changer et oui ça va changer sur plusieurs thèmes. Déjà on est en train de travailler sur ces données massives, on a mis des capteurs un peu partout, on ne sait pas bien les utiliser, ce qui veut dire que même si on a des outils qui commencent à les regarder, les exploiter correctement, on va quand même pouvoir se mettre le pied à l'étrier. Et je pense qu'on a un vrai problème de streaming : comment aller chercher ces données ? Traitement local ? On a un vrai problème de tuyaux à un certain moment. Pour le génie chimique, c'est intéressant parce qu'on est en train de développer des « mems », c'est-à-dire des micro-capteurs et dans quelques temps, on aura des nano capteurs. Cela veut dire qu'on va pouvoir mettre des milliards de capteurs dans un lit fluidisé et connaitre exactement ce qu'il se passe en espace et en temps et on n'aura plus besoin pratiquement de modélisation de la réaction. On va créer la réaction elle-même, on va retrouver la physique. Jusqu'à présent, on « intuite » que la physique est de tel ou tel type. Pareil pour nos réserves dans le sous-sol, lorsqu'on sera capable de placer des capteurs fiables un peu partout, on saura le PVT local et on saura s'il y a possibilité de faire un écoulement ou pas, avec quelle viscosité, de quelle saturation. C'est ça la révolution. C'est comment le GP va s'adapter à ça. Au lieu de mettre des équations, on va avoir des données qui elles-mêmes vont fabriquer des équations ; et en nombre

tel que vous allez pouvoir évaluer vos risques, vos incertitudes de manières beaucoup plus précises que ce qu'on a aujourd'hui. La révolution est entre la liaison des données qu'on va avoir et les contraintes physiques qui régissent le monde. Lorsqu'on sera capable d'avoir ce couplage entre la donnée et l'équation, le génie chimique aura un boulevard devant lui.

Réponse 2 – Laurent Baseilhac

Au niveau des enseignements, il faut aussi qu'on prépare les ingénieurs en GP à être plus offensifs. Les moteurs de l'innovation appartiennent au GP. Pour développer l'innovation dans nos procédés, les hommes du GP ont un rôle technique à jouer mais la réussite passe aussi par la force de conviction de leaders d'opinion et d'influenceurs qu'ils doivent également devenir. On ne doit pas se contenter d'enseigner de manière statique les fondamentaux du GP ; si à l'évidence il faut conserver ces enseignements qui sont importants, il faut également aller plus loin et former des étudiants offensifs capables de porter leurs convictions en matière d'innovations techniques, de se confronter à des structures d'entreprises qui peuvent se révéler souvent assez rigides ; reconnaissons-le, nous nous battons tous les jours pour défendre l'intérêt des innovations technologiques. Souvent les blocages observés ne sont pas liés à des incertitudes techniques mais plutôt à un conservatisme et une difficulté à faire évoluer les mentalités. En France, la prise de risque n'est pas facilement assumée ce qui ralentit la pénétration des innovations dans les procédés. Il faut prendre en compte cette dimension dans l'enseignement et il n'y a pas d'évidence dans le domaine ; toutes les idées sont bonnes à prendre. Sans doute faut-il insister sur les perspectives (compétitivité/pérennité), montrer les potentialités (performance) et apprendre aux étudiants, sur un projet d'innovation, à transformer une analyse de risque en une évaluation risques versus bénéfices ; enfin apprendre à défendre un projet, comprendre les impacts du lobbying, expérimenter la conduite du changement… bref des techniques destinées à faire adhérer aux innovations.

Réponse 3 – Xuan Meyer

Je fais un cours d'intensification des procédés à l'Ensiacet et je demande à des étudiants d'étudier différents systèmes sur la bibliographie et il y en a un hier qui me dit « j'ai lu, c'est intéressant mais ils avancent un argument pour la non diffusion de cette technologie dans l'industrie franchement je trouve ça banal et je ne comprends pas. Il y a juste écrit « ça ne s'implante pas car les industriels ne veulent pas y aller » ». Et je lui ai dit « oui c'est le point clé effectivement. Vous êtes nos vecteurs pour transférer ces technologies vers l'industrie. Les gens que vous allez rencontrer n'en ont pas forcément la connaissance. Nous sommes là pour vous former à ces technologies et vous êtes là pour les défendre et il faudra résister au conservatisme industriel qui vous dira « non ça on ne connait pas on va prendre des risques et donc on fera pas » ». Le problème n'est pas technologique, il est là.

Discours de clôture

Marc RICO
Chef du bureau de la chimie et des biotechnologies de la DGE – Ministère de l'Economie et des Finances

Merci Monsieur Dal Pont de m'avoir invité, de m'avoir fait cet honneur pour venir dire quelques mots dans vos Assises sur le génie des procédés. Moi, je travaille à la direction générale des entreprises comme vous l'avez indiqué et je me propose simplement de présenter en quelques mots la DGE. La DGE, c'est une direction de l'administration centrale, rattachée au Ministère chargé de l'industrie et donc qui physiquement, structurellement est au ministère de l'économie des finances et sa mission, son rôle, c'est le développement économique au sens large. Son action vise à concevoir et à proposer au gouvernement et ensuite mettre en œuvre, lorsque ces propositions ont été retenues, des politiques publiques qui sont relatives à l'industrie mais pas seulement puisque elle couvre aussi l'économie numérique, le tourisme, le commerce, l'artisanat, les services – je lis ma liste tellement elle est longue - et tout cela en faveur de la création d'entreprise, du développement, de l'innovation et de l'amélioration de la compétitivité de ces entreprises, entreprises de toutes tailles ; on va aider aussi bien des PME que des grands groupes.

Aujourd'hui la DGE c'est 1300 personnes avec une grosse moitié à l'administration centrale et une petite moitié dans ce que l'on appelle les pôles économiques des 'direct' des directions régionales des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi donc une sorte d'agglomérat où se retrouvent quelques agents chargés du développement économique.

Moi je travaille au service chargé de l'industrie ; je suis chargé du secteur des industries chimiques et du raffinage et dans mon propos je vais m'attacher à montrer finalement les liens entre ce que nous faisons et les actions que nous menons et les préoccupations qui ont été portées aujourd'hui de manière très brève parce qu'il est tard.

Ce que je peux dire sur les actions de la DGE aujourd'hui dans une grande part, elles sont menées dans ce que l'on appelle le comité stratégique de filières chimie-matériau. Les comités stratégiques de filières sont des structures qui ont été mises en place en 2010 et qui sont des structures triparties puisqu'elles font participer des représentants des différents ministères concernés, des industriels que ce soit des fédérations professionnelles, des entreprises ou des pôles de compétitivité et puis également les syndicats des salariés. Elles sont mises en place dans le cadre du conseil national de l'industrie – je ne vous donnerai plus le nombre de comités stratégiques parce que ça a évolué dans le temps, il doit y en avoir une trentaine - et aujourd'hui les travaux qui sont menés dans ses comités stratégiques de filières conduisent à l'élaboration de ce que l'on appelle des contrats de filière ; ce sont des sortes d'engagements moraux entre l'État et les entreprises visant à mener des actions pour certaines portées par l'Etat, d'autres par les entreprises et souvent, en fait, menées de manière conjointe.

Parmi ces actions de contrat de filière, il y en a quelques-unes qui ont vraiment un lien avec le débat d'aujourd'hui donc que je vais vous présenter simplement de manière très rapide les thématiques qui sont traitées. Vous le savez, l'industrie chimique, pour ceux qui travaillent dans cette industrie, l'industrie chimique est une activité qui est souvent intensive en énergie ; les conditions d'accès en énergie compétitive sont une vraie problématique et sont regardées avec attention et donc il y a un certain nombre d'actions qui sont menées dans ce sens-là, sur ce sujet-là et au-delà je dirais de toutes les problématiques de fiscalité sur l'énergie et de soutien à apporter aux entreprises pour

pouvoir accéder à une énergie compétitive au niveau international il y a également des sujets technologiques qui sont abordés pour réduire la consommation d'énergie qui est une autre voix finalement d'alléger la facture énergétique. Et donc une des actions des contrats de filière que nous allons engager va être de définir les conditions de production d'une chaleur à bas carbone compte tenu je dirais des dispositifs incitatifs qui ont été mis en place par le gouvernement pour des conditions de production compétitives pour la filière chimie-matériau et donc on va réaliser en 2017 une étude sur ce sujet-là.
Il y a également le sujet du recyclage dans la grande thématique de l'économie circulaire, recyclage des matières plastiques et des composites ; donc il y a du recyclage, je dirai de premier niveau, avec simplement broyer des matériaux et les « recompounder » et les remettre dans le circuit de production. Et puis il y a une autre voie qu'est le recyclage chimique et sur laquelle on considère qu'il est intéressant d'essayer de travailler. Il y a des exemples, notamment un exemple porté par Arkema qui a fait l'objet de la signature, je dirai d'engagement sur le sujet qui a été signé entre Arkema et notre ministre. C'est un exemple aussi sur lequel il y a des actions qui sont menées dans le cadre de contrats de filière.

Une grosse thématique sur laquelle on travaille qu'est le développement des plates-formes industrielles. Il y a une étude qui a montré que les plates-formes chimiques en France sont moins attractives que d'autres en Europe notamment en Allemagne et donc l'idée c'est de promouvoir l'attractivité et la compétitivité des plates-formes en France et donc il y a des actions de promotion qui sont engagées mais au-delà de ça, l'idée c'est d'une part de proposer un statut réglementaire des plates-formes pour essayer d'adapter la règlementation au cas particulier des plates-formes industrielles, qui dans le cadre de la règlementation sur les installations classées - pour ceux qui connaissent un peu cet objet règlementaire - sont traitées indépendamment du fait que l'installation soit sur une plate-forme ou pas. Et puis également, toujours dans cet objectif d'améliorer la compétitivité des plates-formes, on a mis en place des groupes de travail locaux en région qui sont en général pilotés par les préfets et dont l'objectif est d'identifier les mesures qui pourraient être prises au niveau local ou au niveau national pour améliorer la compétitivité de ces plates-formes. Donc, c'est un travail en cours, on attend les résultats d'ici l'été prochain et donc il y aura une présentation qui sera faite des propositions remontées par des acteurs sur ces plates-formes industrielles.

Il y a également le sujet emploi des compétences dont on a beaucoup parlé. C'est un sujet qui est traité dans le cadre du comité stratégique de filière et dans le cadre de contrat de filière et là aujourd'hui l'objectif c'est de mettre en cohérence les outils de formation pour anticiper les besoins futurs, par exemple dans le domaine du Génie des Procédés. L'objectif, c'est d'orienter l'offre de formation de manière à répondre à ces besoins futurs qui peuvent découler – et là je fais la transition vers le dernier point des thématiques que je souhaitais aborder qu'est le sujet de l'industrie du futur, donc problématique également considérée dans nos travaux, sachant que pour nous il y a deux aspects : il y a l'apport du numérique dont on a beaucoup discuté, des grands progrès de ce que je comprends des propos des experts qui ont été réalisés dans ce domaine-là ; on parle de réalité virtuelle augmentée, de robotique, de réseaux sociaux professionnels, de protypage rapide, simulation et calcul haute performance, modélisation 3D, usine connectée, la métrologie, donc il y a beaucoup de sujets.

Au-delà de ça, il y a également l'amélioration des outils de production. Aujourd'hui on est confronté quand même en France à un vieillissement de l'outil de production, ce n'est pas spécifique à l'industrie chimique mais on le constate en tout cas dans ce secteur-là, et donc là, l'objectif qui est poursuivi c'est de remplacer des installations qui sont couteuses, consommatrices en énergie, en matières premières qui peuvent présenter des risques avec un fonctionnement en discontinu ce qui est aussi très souvent une source de surcout et le remplacer par des unités plus efficaces, plus sures

moins couteuses etc… et donc bien entendu dans ce cadre-là, les procédés sont au cœur de la question.

Donc pour ma part, les préoccupations exprimées et les discours que j'ai entendus m'ont paru particulièrement intéressants parce qu'ils sont, comment dirai-je, en échos avec le travail qui peut être mené au niveau de la direction générale des entreprises. Ce qui m'a paru aussi intéressant c'est la démarche qui a été engagée par la SFGP avec un travail de réflexion préalable au niveau régional avec les Assises régionales pour le génie des procédés donc avec 5 réunions, près de 700 acteurs de ce que j'ai noté. Cela veut dire que les acteurs se sont impliqués largement et se sont mobilisés dans cette démarche c'est extrêmement intéressant ça et de voir surtout cette relation entre acteurs industriels et acteurs du monde universitaire, de la recherche académique et pour nous c'est vraiment quelque chose qui est de nature à favoriser l'innovation qui est une des clés finalement pour progresser en faveur de l'industrie, en faveur de sa compétitivité.

Dans ce que j'ai entendu, il y a des mots qui sont revenus, sur l'amélioration de la compétitivité des installations, la démarche en faveur de l'économie circulaire, qui a été abordée assez rapidement, l'importance du numérique dont j'ai parlé, les aspects formation-compétences, donc sur tous ces points, on est vraiment sur des thèmes sur lesquels la DGE travaille, sur lesquels on essaie d'apporter un soutien, chercher finalement lorsque des actions sont proposées et qu'elles rentrent dans notre logique on est prêts à les soutenir. Cela peut être un soutien en faveur de l'innovation industrielle – vous savez qu'il existe aujourd'hui un certain nombre de soutien en faveur comme le Fond Unique Interministériel FUI, et les dispositifs mis en place dans le cadre du PIA (programme des investissements d'avenir). Ce sont des dispositifs auxquels la DGE participe aux décisions qui peuvent être prises sur les projets qui vont être aidés et puis également il y a une action en terme d'industrialisation – vous connaissez le dispositif la SPI – société de projet industriel- qui a été mise en place par BPI France toujours dans le cadre du PIA là encore la DGE participe aux décisions. La DGE, elle est vraiment connectée sur ces sujets et connectée finalement sur les préoccupations que vous portez. J'ai bien noté que parfois vous vous sentez un peu seuls dans votre sujet, mais non pas du tout, nous essayons d'œuvrer avec les moyens dont nous disposons mais en tout cas, n'hésitez pas à vous rapprocher des acteurs qui sont présents notamment dans le comité stratégique de filière pour relayer éventuellement vos préoccupations. Voilà en tout cas, j'en reste là, je voulais simplement vous féliciter pour l'organisation de cette manifestation comme je l'ai dit que je trouve extrêmement intéressante pour ma part. Je vous souhaite bonne chance dans la poursuite de vos travaux en faveur du développement du Génie des Procédés. Merci.

Société Française de Génie des Procédés
28 rue Saint-Dominique
75007 Paris
secretariat@sfgp.asso.fr
www.sfgp.asso.fr

Décembre 2017

ISBN : 978-2-910239-86-2