



MUTATIONS ÉCONOMIQUES DANS LE DOMAINE DE LA CHIMIE

Volet compétences

JUIN 2010



Pôle interministériel de prospective et d'anticipation
des mutations économiques



Le pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (PIPAME) a pour objectif de construire, en coordonnant l'action des départements ministériels, un éclairage de l'évolution des principaux acteurs et secteurs économiques en mutation, en s'attachant à faire ressortir les menaces et les opportunités pour les entreprises, l'emploi et les territoires.

Des changements majeurs, issus de la mondialisation de l'économie et des préoccupations montantes comme celles liées au développement durable, déterminent pour le long terme la compétitivité et l'emploi, et affectent en profondeur le comportement des entreprises. Face à ces changements, dont certains sont porteurs d'inflexions fortes ou de ruptures, il est nécessaire de renforcer les capacités de veille et d'anticipation des différents acteurs de ces changements : l'État, notamment au niveau interministériel, les acteurs socio-économiques et le tissu d'entreprises, notamment les PME.

Dans ce contexte, le PIPAME favorise les convergences entre les éléments microéconomiques et les modalités d'action de l'État. C'est exactement là que se situe en premier l'action du PIPAME : offrir des diagnostics, des outils d'animation et de création de valeur aux acteurs économiques, grandes entreprises et réseaux de PME / PMI, avec pour objectif principal le développement d'emplois à haute valeur ajoutée sur le territoire national.

Le secrétariat général du PIPAME est assuré par la sous-direction de la prospective, des études économiques et de l'évaluation (P3E) de la direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services (DGCIS).

Les départements ministériels participant au PIPAME sont :

- le Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi / direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services et direction générale de l'emploi et de la formation professionnelle
- le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer / direction générale des infrastructures, des transports et de la mer et direction générale de l'aviation civile
- Le Ministère de l'Espace rural et de l'Aménagement du territoire / délégation interministérielle à l'aménagement et à la compétitivité des territoires
- Le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche
- Le Ministère de la Défense / délégation générale pour l'armement
- Le Ministère de la Santé et des Sports
- Premier Ministre, Conseil d'analyse stratégique (CAS)

Mutations économiques dans le domaine de la chimie

Volet compétences



Pôle interministériel de prospective et d'anticipation
des mutations économiques

Membres du comité de pilotage

Noël Le Scouarnec	MEIE/DGCIS /P3E3
Marc Rico	MEIE/DGCIS/SI/Chimie
Paul-Edmond Médus	DGEFP
Alain Cluzeau	DATAR
Karine Brule	MAAP
Tristan Klein	CAS
Frédéric Laine	CAS
Daniel Marini	UIC
Ange Mucchielli	MEIE/DGCIS /P3E3

Le présent rapport résume les travaux d'un groupe interministériel piloté par le PIPAME et a été réalisé par :

A.T. Kearney
44 rue de Lisbonne
75008 Paris

L'équipe A.T.Kearney :

Louis Besland – Partner et Vice-président

Julien Pellefigue – Manager

Elsa Aoun – Senior Business Analyst

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	7
1. ÉTAT DES LIEUX DES FORMATIONS ET BENCHMARK AVEC L'ALLEMAGNE.....	9
1.1. La formation pour la chimie en France	9
1.2. Benchmark avec l'Allemagne	17
1.3. Conclusions	20
2. ÉVOLUTIONS DE COMPÉTENCES	22
2.1. Objectif et méthodologie	22
2.2. Intégration de la chimie dans les filières aval	24
2.3. Développement de la chimie du végétal.....	25
2.4. Développement du recyclage	28
2.5. Amélioration de la durabilité intrinsèque.....	36
2.6. Conclusion.....	37
3. SYNTHÈSE DES BESOINS DE COMPÉTENCES	38
3.1. Identification des compétences par facteur de mutation	38
3.2. Synthèse et autres besoins de compétences transverses.....	42
3.3. Synthèse des besoins de compétences et écarts par rapport à l'offre de formation	46
4. RECOMMANDATIONS.....	48
5. ANNEXES	49
5.1. Les formations existantes	49
5.2. Compétences détaillées par thème d'évolution.....	55
5.3. Liste des entretiens réalisés	68
5.4. Bibliographie.....	69

INTRODUCTION

La mission d'expertise sur les mutations de la chimie menée par le cabinet A.T. Kearney pour le compte du PIPAME au cours de l'année 2009 a permis d'identifier de grandes évolutions concourant au développement de la chimie et susceptibles d'impacter les chaînes de valeur de l'industrie.

Les analyses menées ont mis en lumière la nécessité pour les entreprises de faire évoluer leur modèle économique afin de tirer profit des évolutions identifiées et d'être en mesure de répondre aux défis posés par une concurrence internationale accrue. Plus précisément, les entreprises françaises ne pourront répondre aux enjeux de développement de l'industrie qu'en innovant et améliorant leur compétitivité, ce qui repose en partie sur l'acquisition et le développement d'un capital intellectuel et humain.

L'objet de la présente note est de ce fait d'identifier les compétences clés qui permettront aux entreprises françaises de s'inscrire dans une démarche vertueuse de création de valeur et de faire face à 4 principales mutations de la filière : l'intégration de la chimie dans les filières aval, le développement de la chimie du végétal, le développement du recyclage, et l'amélioration de la durabilité intrinsèque de la chimie.

Ces compétences peuvent être différenciées selon plusieurs critères de segmentation :

- **Par nature** : compétences « techniques » (Recherche et Développement, Ingénierie, Procédés, Services) liées à l'acquisition et au développement d'un savoir et évaluées par des diplômes ou des certifications, et compétences comportementales (compétences tactiques, de collaboration, d'action, de conception et de résultats) qui définissent un savoir-être.
- **Par type d'entreprises** : certaines mutations identifiées dans le secteur de la chimie concernent de manière prioritaire les PME qui investissent sur des sujets d'avenir là où les grandes entreprises adoptent une position plus défensive. Ce cas s'applique dans la chimie du végétal où peu de grandes entreprises sont aujourd'hui présentes, mais où par contre des entreprises de taille moyenne se démarquent souvent, par leur origine liée au monde agricole, par leurs efforts d'innovation.

Par ailleurs, le contexte économique actuel marqué par la mondialisation et l'influence croissante de la réglementation a induit un recentrage des entreprises de l'industrie vers leur cœur de métier ou vers des activités stratégiques. L'externalisation de certains types d'emplois a par exemple entraîné une baisse globale des effectifs sur les 10 dernières années, notamment dans la fabrication. Dans le contexte de notre étude, nous avons porté une attention particulière au développement de compétences qui permettront de soutenir l'effort d'innovation à plus long terme telles que la recherche scientifique. Il ne faudra cependant pas perdre de vue la nécessité de pallier le manque d'attractivité du secteur et les difficultés de recrutement de profils dans certains domaines tels que la fabrication ou la maintenance.

Un volet spécifique de l'étude s'est également intéressé aux politiques en matière de formation et d'orientation, politiques qui devront appuyer à plus long terme les besoins de ressources des entreprises. Selon les types d'emploi à développer, cet effort de qualification consistera soit à renforcer les filières existantes en développant les programmes de formation ou en y intégrant des compétences extérieures au monde de la chimie, soit à créer de nouvelles filières.

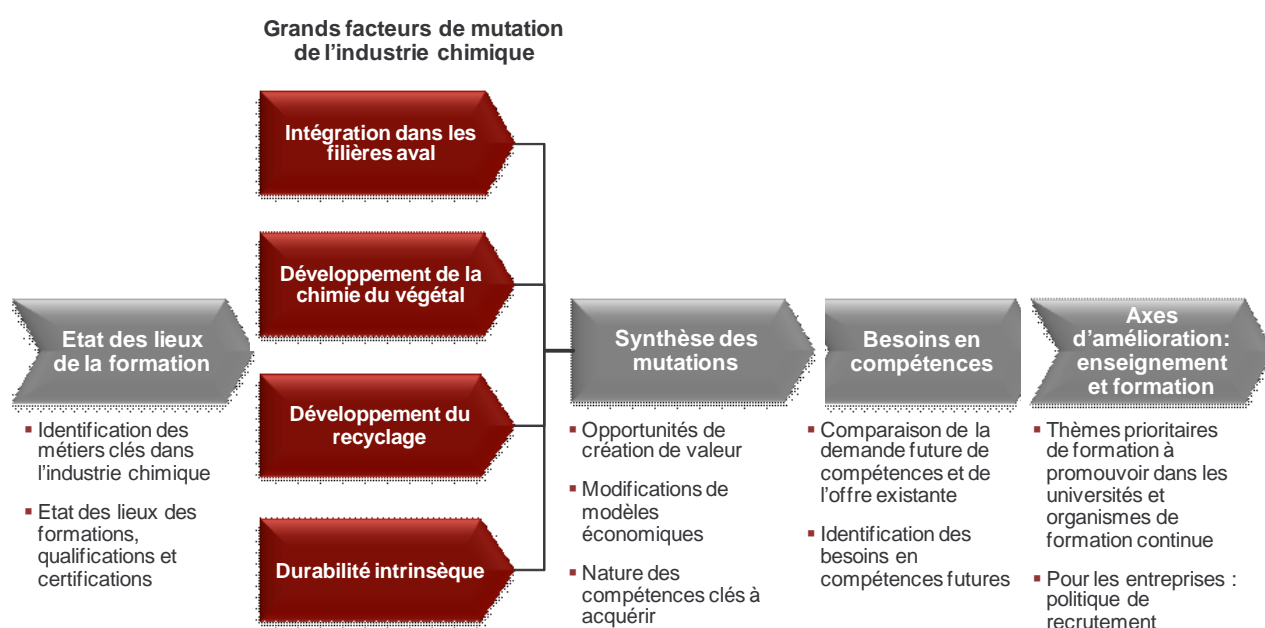
Au-delà des besoins de formation initiale, les évolutions anticipées dans le secteur de la chimie bouleverseront les modèles économiques existants en contribuant à renforcer certaines filières au détriment d'autres. En effet, l'augmentation à terme du prix du pétrole, la rareté des ressources de

nature fossile ainsi que la politique d'intégration aval des pays producteurs de pétrole, entraînent une délocalisation de l'industrie pétrochimique vers les pays producteurs de ces matières premières, et une montée en puissance en France et en Europe d'une industrie plus centrée sur les ressources renouvelables et plus tournée vers l'économie circulaire. Dans ce contexte hypothétique, les formations initiales ne seront plus adaptées à la réalité économique, et il importerait d'anticiper ces évolutions par des programmes de formation continue qui d'une part, favorisent la transition vers de nouveaux métiers et permettent, d'autre part, de conserver la spécificité « chimique » des profils.

Présentation de l'approche adoptée

Notre approche a été structurée en 3 grandes phases, synthétisées dans le schéma ci-après :

- Un état des lieux des formations actuelles en chimie,
- Une synthèse des grandes mutations dans laquelle nous présentons les opportunités de création de valeur par grand thème ainsi que le besoin des nouvelles compétences à acquérir. Cette phase comprend une partie quantitative appliquée au thème du recyclage des plastiques dont l'enjeu repose sur l'évaluation du potentiel de création d'emplois dans la filière,
- Un ensemble de recommandations portant sur les thèmes de formation prioritaires à promouvoir, ainsi que sur les politiques publiques et privées en relation avec l'enseignement et la formation.



1. ÉTAT DES LIEUX DES FORMATIONS ET BENCHMARK AVEC L'ALLEMAGNE

1.1. La formation pour la chimie en France

L'industrie chimique est un secteur-clé de l'économie en France, et occupe le 2^{ème} rang européen et le 5^{ème} mondial en termes de production. Si cette industrie est fortement dépendante de la conjoncture internationale, elle contribue quand même à près de 18 milliards d'euros dans le PIB français (UIC, chiffres 2008).

Le secteur se caractérise par une grande diversité des activités, des savoir-faire et des marchés finaux, et un paysage marqué par une forte représentation des TPE et PME qui regroupent près de 80% des entreprises du secteur (en considérant les établissements de moins de 50 salariés).

Sur le terrain social, l'industrie chimique génère entre 180 000 et 200 000 emplois directs selon la définition du périmètre, répartis selon quatre grands segments : la chimie minérale, la chimie organique, la chimie de spécialités (comprenant notamment la parapharmacie) et les produits chimiques de consommation (savons, parfums et produits d'entretien).

La filière de formation pour la chimie est très complète et très variée en France avec notamment 3 schémas de formation initiale liés à la nature des métiers et des débouchés (source : base de données Reflets du CEREQ) :

- Pour les métiers d'opérateurs : CAP, BEP et Baccalauréat Professionnel. Le Baccalauréat technologique oriente plus les étudiants vers la poursuite des formations, et notamment les BTS et les DUT
 - CAP : 664 effectifs en 2009 pour les trois formations liées à la chimie, dont 13 uniquement en CAP industries chimiques.
 - Baccalauréat Professionnel : 5 052 effectifs en formation, dont 77% dans la filière « Maintenance des équipements industriels ». La filière « Bio-industrie de transformation » sera lancée dès 2012.
 - Baccalauréat Technologique : deux séries sont les plus adaptées pour les métiers de chimistes : STL et STI. En série STL, 7 588 étudiants en formation liée au domaine de la chimie, dont plus de 60% en spécialisation Biochimie et Génie Biologique et 24% en spécialisation Chimie de Laboratoire et de Procédés Industriels.
- Pour les métiers de techniciens : BTS, DUT et Licences professionnelles
 - BTS : plus de 80 spécialités de BTS dont 10 spécialités concernant la chimie (5 415 effectifs en France en 2009).
 - DUT : formation dans un Institut Universitaire de Technologie, avec près de 14 spécialités se rapprochant de la chimie, et environ 5 770 étudiants en formation.
 - Licences professionnelles : plus de 50 licences intéressant les industriels de la chimie (formations dans des centres universitaires).
- Pour les métiers d'ingénieurs et de cadres : titulaires de Master ou IUP, diplômés d'Écoles d'Ingénieur, et doctorants

- Master : deux types de formations, les Master de recherche pour la préparation aux études doctorales et les Master professionnels pour une meilleure intégration sur le marché de l'emploi.
- Écoles d'ingénieur : près de 40 écoles préparant à un diplôme dans le domaine de la chimie, dont les 19 écoles de la Fédération Gay-Lussac (écoles de chimie et de génie chimique ; 1 500 diplômés par an), les écoles généralistes (École Nationale des Mines, École Centrale, ...) et les écoles d'application présentant une spécialisation dans le domaine de la chimie.
- Études doctorales : doctorats en chimie au sein des universités, avec des débouchés professionnels dans l'enseignement supérieur, dans les établissements de recherche publique (CNRS, CEA,...) ou dans les entreprises du secteur privé.

À ces cursus externes il faut aussi ajouter les formations internes aux entreprises, notamment au sein des grands groupes qui ont souvent mis en place des « universités » d'entreprise. Les formations dispensées touchent alors de manière plus marquée les compétences comportementales.

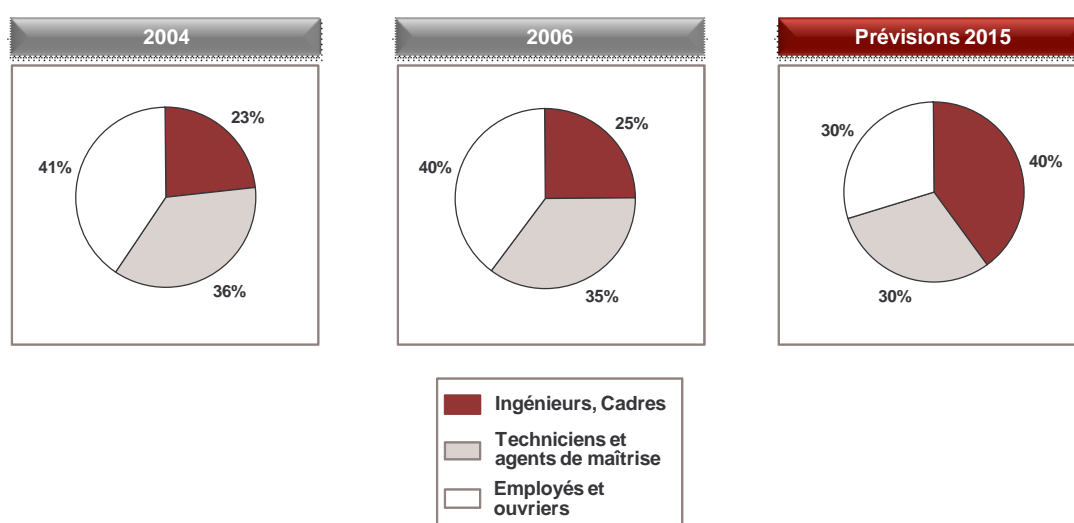
L'étude de la filière « Chimie » fait ressortir des caractéristiques-clés du système de formation actuel, dans le prolongement du Contrat d'Études Prospectives achevé en 2008 :

▪ **Une part de plus en plus importante de cadres et d'ingénieurs dans les effectifs**

La répartition des effectifs par catégorie socioprofessionnelle varie considérablement selon les segments : en 2006, pour l'ensemble de l'industrie, près de 40% de la masse salariale est formée d'ouvriers et d'employés, 35% de techniciens et agents de maîtrise et près de 25% de cadres et ingénieurs. Selon le rapport réalisé par le Contrat d'Études Prospectives des Industries Chimiques en mai 2008, la tendance vers une montée en qualification des effectifs se confirme. Cette tendance se traduit par une augmentation de la part des cadres/ingénieurs et techniciens/agents de maîtrise dans les effectifs, au profit des ouvriers et employés (49% des effectifs en 2000 vs. 41% en 2006).

Répartition par catégorie professionnelle en %

Ingénieurs & cadres, techniciens, opérateurs; 2004, 2006, 2015e



Selon les enquêtes de l'INSEE sur l'emploi et les données du CEREQ, la part des diplômés de niveaux I et II (titulaires de BAC+3 et plus) dans les entreprises de la chimie hors pharmacie est de près de 20% en 2008, et témoigne d'une très forte croissance sur les dix dernières années. Par contre, la part des diplômés de CAP ou de BEP est en nette baisse sur la période (-24% entre 1997 et 2007 vs. -12% pour l'ensemble de l'industrie). Ces évolutions traduisent de manière saisissante la transformation des métiers au sein de l'industrie qui résulte notamment de la réduction du nombre de sites de production en France, et de la montée en compétence des effectifs qui sont aujourd'hui plus nombreux à occuper des postes d'encadrement.

▪ Des formations en alternance en croissance

Les contrats en alternance (apprentissage et professionnalisation) constituent la clé de voûte des plans de relance de l'emploi. La loi de programmation pour la cohésion sociale de 2005 s'est fixé comme objectif de porter le nombre d'apprentis à 500.000 en 2009.

En 2007-2008, le nombre d'apprentis en France, « toutes spécialités confondues », atteint 425.000 dont une partie significative est formée au sein d'un réseau de centres de formation d'apprentis (CFA) sous la tutelle du ministère de l'Éducation nationale ou du ministère de l'Agriculture et de la Pêche. Les CFA sont des établissements d'enseignement dispensant une formation générale, technologique et pratique qui complète la formation reçue en entreprise et qui peuvent être distingués selon les types d'organismes qui les gèrent : organismes privés (47%), chambres de commerce et d'industrie ou chambres de métiers (30,6%), établissements d'enseignement (15,3%),...

Si certains diplômés du supérieur (licences, BTS) investissent de plus en plus l'apprentissage, les formations du second cycle professionnel (principalement CAP et BEP au niveau V, brevet professionnel et baccalauréat professionnel au niveau IV) rassemblent aujourd'hui encore près de 80% des apprentis. Le CAP est toujours le diplôme le plus préparé en apprentissage avec 76% des apprentis au niveau V.

Plus de la moitié de la croissance des effectifs est imputable aux formations du supérieur : le niveau III, essentiellement composé du BTS, devient le premier contributeur à la croissance (30%) ; les diplômés de niveau II et I (bac+3 et plus) affichent toujours les plus fortes augmentations (+19% entre 2006 et 2007 pour les effectifs en licences et masters professionnels).

Les apprentis préparant des diplômes d'ingénieur représentent plus de 2% de la totalité des effectifs en 2007, et soutiennent la croissance de l'apprentissage pour les diplômés de niveaux I et II (+16% entre 2006 et 2007). Cependant le poids de l'apprentissage dans la formation initiale d'ingénieur reste relativement faible (8,2%) en comparaison avec la licence professionnelle (22,9%). Globalement, les effectifs les plus importants se concentrent dans les domaines technico-professionnels de la production, et notamment dans les industries mécaniques ou de transformation, le génie civil et la construction.

Si la Chimie (comprenant aussi au sens de l'apprentissage la plasturgie, les papiers et cartons) n'est pas dans le top 5 des domaines de formation relevant de la production choisis par les apprentis, cette spécialité offre l'un des meilleurs taux d'emploi à la sortie : taux d'insertion de 87% par rapport à une moyenne de 73% tous secteurs confondus. En prenant en considération le fait que plus de la moitié des sortants d'apprentissage commencent leur carrière en tant qu'ouvriers, ces chiffres reflètent bien le besoin de qualifications de ce type au sein des entreprises de l'industrie chimique.

Cependant, les industries chimiques en France n'ont pas encore complètement intégré la culture de l'apprentissage, surtout pour les diplômés de niveaux II ou I. Selon une enquête de la Chambre de

Commerce et d'Industrie de Paris, si l'apprentissage est plébiscité par plus de 95% des entreprises françaises, seules 33% d'entre elles déclarent y avoir recours. Ces propos ont également été relayés par des directeurs d'établissements d'enseignement en chimie qui ont mis en avant la nécessité d'encourager les grands groupes dans cette voie.

En effet, les formations en apprentissage et le soutien à l'innovation pédagogique ne peuvent se faire qu'avec une logique de partenariat avec les entreprises. Si l'allongement de la durée des formations en apprentissage (formation en 3 ans au lieu de 2) décidé par la CTI permet d'harmoniser les cursus entre les différentes filières, il ne favorise pas les efforts de rapprochement avec les entreprises : celles-ci devront participer au financement des formations pour une année supplémentaire.

▪ **Des formations plus ouvertes vers le management**

Une étude plus spécifique des formations dispensées par les Écoles d'ingénieur confirme la tendance dans la conception des programmes vers un renforcement des sciences managériales et humaines. Cette tendance s'exprime tout aussi bien au sein des écoles généralistes qui proposent une personnalisation des cursus, qu'au sein des écoles de chimie et de génie des procédés regroupées au sein de la Fédération Gay-Lussac.

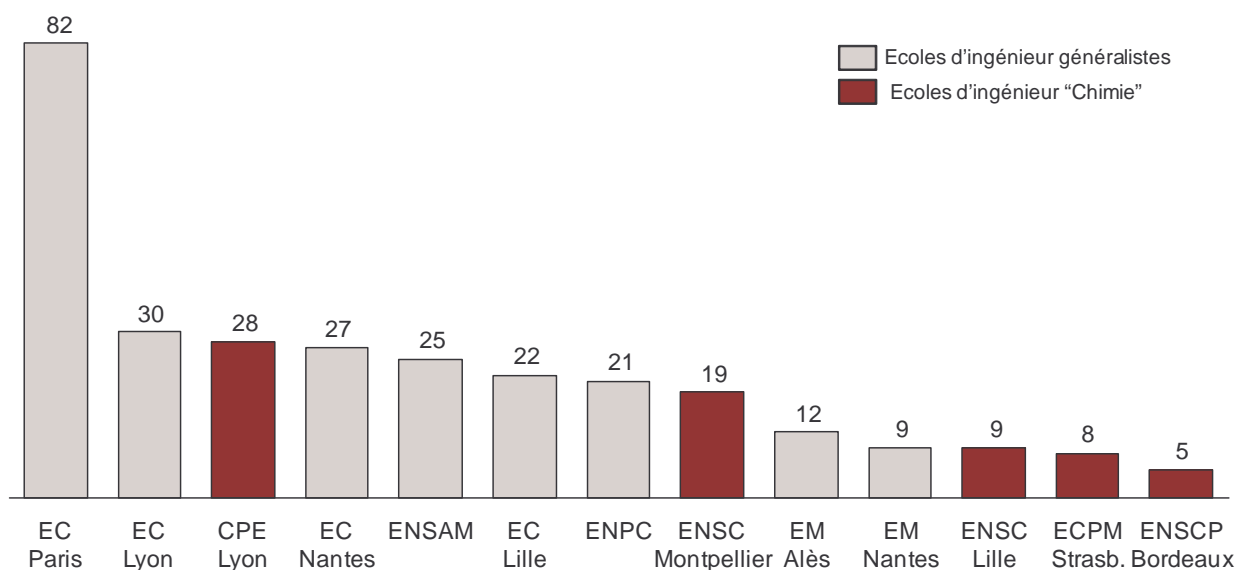
Dans la dernière édition des Références et Orientations, la Commission des Titres d'Ingénieur (CTI) indique que les attentes du monde professionnel et de la société, orientées pour les ingénieurs sur les aspects scientifiques et techniques, se sont progressivement élargies. Les métiers définis par les fonctions et les domaines des ingénieurs nécessitent aujourd'hui un ensemble de qualités telles que « la capacité à s'intégrer dans une organisation, à l'animer et la faire évoluer », mais aussi « la prise en compte des enjeux industriels, économiques et professionnels ». Les établissements habilités à délivrer un diplôme d'ingénieur par la CTI doivent concevoir des formations dans lesquelles trois dimensions complémentaires doivent être abordées simultanément : la dimension scientifique et technique, la dimension économique et industrielle (grâce notamment à des intervenants issus du monde de l'entreprise) et la dimension personnelle et culturelle (avec un nombre d'heures significatives accordées à des matières pluridisciplinaires non directement liées à la spécialité). Les INSA ont ainsi introduit l'enseignement des humanités dans leur programme et y consacrent 20% de la formation tout au long des 5 années.

▪ **Une tendance vers les doubles diplômes**

Une autre tendance de fond qui se dégage dans le paysage des formations et notamment celles des ingénieurs est celle des doubles diplômes. Les doubles diplômes répondent à une politique de coopération avec des écoles et des universités étrangères et offrent aux étudiants des cursus binationaux.

À titre d'exemple, pour les formations « chimie », CPE Lyon a développé des doubles diplômes avec 15 universités aux États-Unis, l'ENSC Montpellier présente des accords de coopération avec 10 pays (et 19 établissements). De la même manière, Agro ParisTech s'est fortement développé à l'international : 20% d'étudiants étrangers, partenariats stratégiques en Chine, en Afrique, en Amérique Latine et en Australie, participation au consortium international Agrinium.

Nombre d'accords de coopération avec des universités (Conférence des Grandes Écoles, classement des doubles diplômes par école)



Les doubles diplômes peuvent revêtir également une autre signification, dans le sens où ils désignent les formations pluridisciplinaires élaborées pour répondre à un besoin accru de polyvalence des entreprises. L'École des Mines d'Albi propose ainsi à ses étudiants des cursus d'ingénieurs-pharmaciens en collaboration avec 18 facultés de pharmacie. Elle permet à des étudiants ayant validé les 5 années d'études pharmaceutiques de se présenter en admission sur titre en 3^{ème} année à l'École des Mines pour y suivre 2 ans de formation d'ingénieur. Cette double compétence est recherchée par l'industrie pharmaceutique qui a besoin de cadres pour diriger ses unités de production ou pour occuper des fonctions de chefs de projets industriels. L'École des Mines de Saint-Etienne propose également un double diplôme médecin-ingénieur en collaboration avec la faculté de médecine de l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne. Les débouchés de cette formation comprennent entre autres la recherche universitaire et industrielle.

▪ La poursuite d'études complémentaires de spécialisation

L'enquête sur l'insertion des jeunes diplômés menée en 2009 sur les promotions 2007 par la Conférence des Grandes Écoles (CGE) montre que la poursuite des études après le diplôme est caractéristique des écoles d'ingénieur : en effet, 14,4% des diplômés des écoles d'ingénieur poursuivent des études, pour seulement 5% des écoles de management. Sur ces 14%, plus du quart s'inscrit en Mastères Spécialisés, et près du tiers en thèse académique.

Les Mastères Spécialisés sont des labels accordés à une formation organisée par une école membre de la CGE. Ils ont pour but de développer des compétences de spécialisation, soit dans un domaine spécifique ou plus pointu de la formation initiale, soit dans une discipline distincte contribuant ainsi à l'acquisition d'une formation double.

Dans le domaine de la Chimie et du Génie des Procédés, la CGE a recensé en 2009 15 Mastères parmi lesquels nous citerons : « Environnement et sécurité industriels » de l'ENSCP Bordeaux ou « Matériaux et revêtements » de l'ITECH de Lyon. Par ailleurs, les Mastères Spécialisés favorisent le développement des formations d'ingénieur-manager (formation initiale d'ingénieur complétée par un Mastère en management). Si ces formations complémentaires semblent intéressantes aujourd'hui pour la montée en compétences des cadres, les acteurs de la chimie et de l'industrie chimique restent partagés sur leur efficacité. Selon les responsables des programmes de formation

au sein des Écoles de chimie et de génie chimique, les industriels seraient en mesure d'accepter ces formations sous condition qu'elles soient appuyées par une expérience antérieure significative dans le domaine scientifique technique.

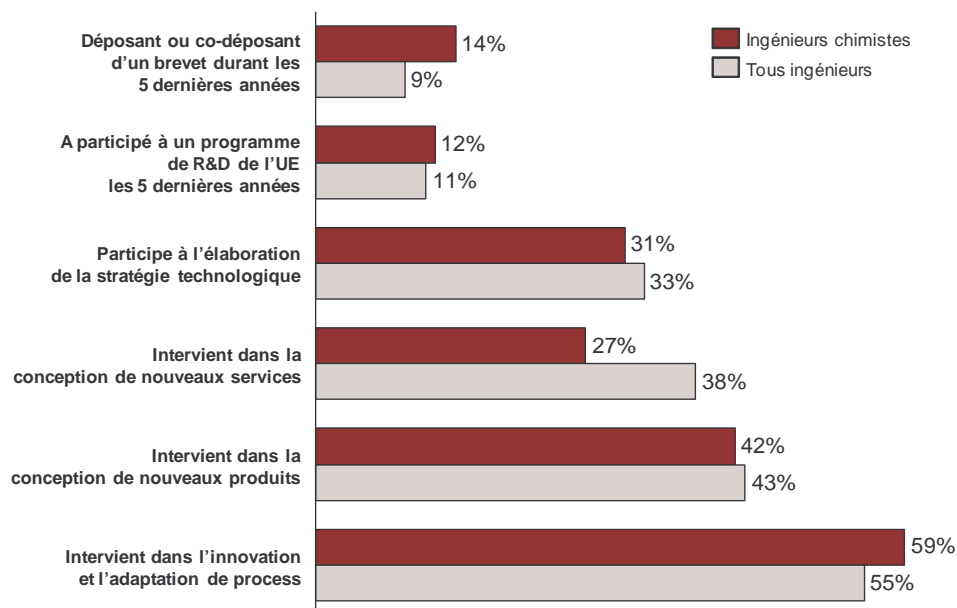
▪ **La volonté de développer la recherche**

Selon l'enquête de la Confédération des Grandes Écoles (CGE) en 2009, près de 5% des diplômés d'écoles d'ingénieur poursuivent leurs études par une thèse académique. Il importe ainsi pour les écoles d'ingénieur de renforcer les promotions de chercheurs pour soutenir l'innovation et le développement du tissu économique. Il existe aujourd'hui des attentes fortes de la part de la CTI en direction des écoles d'ingénieur pour inclure dans les syllabus de formation des modules d'initiation à la recherche et à l'innovation. En effet, les ingénieurs reçoivent à l'issue de leur formation le grade de « master », ce qui implique qu'ils doivent recevoir au même titre que les formations européennes et internationales comparables une formation en relation avec la recherche. Cette formation leur permettra de s'inscrire en thèse à l'issue de leurs études, si cela correspond bien sûr à leur projet professionnel.

Afin de renforcer leurs promotions de chercheurs, nombres d'écoles telles que l'École des Ponts et Chaussées ou l'ENSTA ont introduit dans leurs programmes de formation de 1^{ère} ou de 2^{ème} année des modules d'initiation à la recherche. L'École des Ponts et Chaussées a ainsi mis en place à la fin de la 1^{ère} année de formation un stage scientifique d'une durée de 3 mois dans un laboratoire. Ce stage de recherche permet aux élèves de découvrir une autre façon d'apprendre, de s'initier à la méthode expérimentale, à l'analyse et au commentaire de résultats. L'ENSTA ParisTech offre aux élèves en deuxième année de cycle d'ingénieur la possibilité de réaliser un Projet Personnel en Laboratoire (PPL) dont l'objectif pédagogique est de leur enseigner des techniques expérimentales ou des méthodes de simulation et de modélisation couramment utilisées dans l'industrie. Ces modules permettent de sensibiliser les étudiants aux débouchés académiques et de repérer ceux qui seraient susceptibles d'être intéressés par des études doctorales.

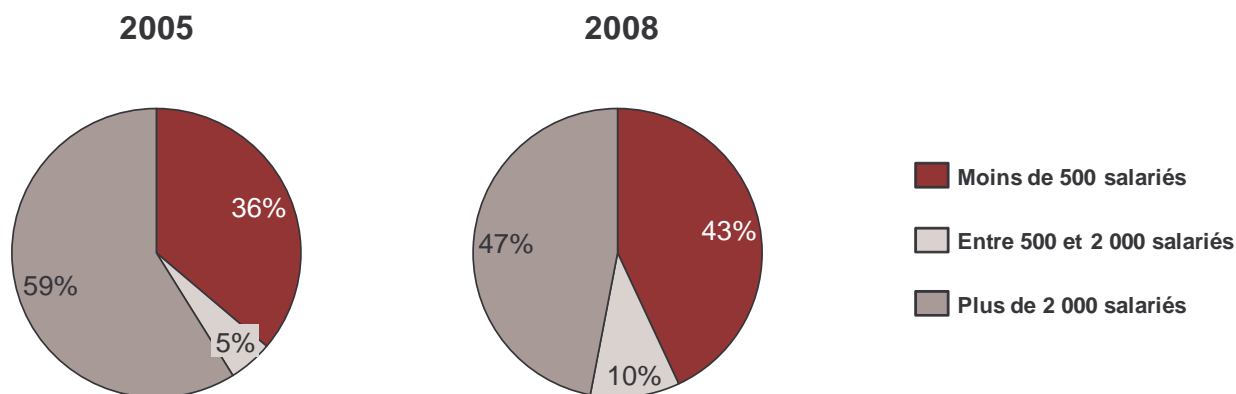
A titre de comparaison, et sur la base de l'enquête menée par l'UNAFIC, les ingénieurs diplômés de la spécialité chimie s'impliquent davantage dans l'innovation au sein de leurs entreprises que l'ensemble des ingénieurs. Ils ont été ainsi 14% à déposer des brevets vs. 9% pour l'ensemble des ingénieurs et 59% à intervenir sur l'amélioration et l'adaptation des processus.

Proportion d'ingénieurs intervenant sur des activités liées à l'innovation (cadres en activité, France ; sources : enquête UNAFIC 2009)



La promotion de la recherche est, par ailleurs, appuyée par des initiatives publiques à l'exemple de la Convention Industrielle de Formation par la Recherche (CIFRE), mise en place conjointement par le Ministère de la Recherche et l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie. Cette initiative répond à un objectif de rapprochement entre entreprises et recherches publiques et permet aux futurs doctorants de préparer leur thèse en entreprise. Elle présente des avantages tant pour les entreprises que pour les chercheurs, dans la mesure où elle appuie le secteur privé dans le domaine de l'innovation, et permet aux futurs doctorants de capitaliser sur 3 ans d'expérience professionnelle. Depuis 1981, les CIFRE ont réuni plus de 6000 entreprises et 4000 laboratoires de recherche académique autour de 12000 thèses. Cette mesure de soutien à la recherche est adaptée à tous les types d'entreprises, et particulièrement aux PME, pépinières d'innovation, dont la part dans les entreprises ayant signé des CIFRE est en constante évolution.

Pourcentage de CIFRE par taille d'entreprise (source : ANRT)



▪ Une offre de formation permanente solide même si peu coordonnée

Au-delà de la formation initiale et de l'orientation vers la recherche, la formation continue constitue une voie d'apprentissage majeure dont les bénéficiaires sont principalement perçus par les entreprises. En effet, les bouleversements du contexte professionnel liés à la rapidité des cycles technologiques et à l'allongement de la durée du travail mettent en lumière la nécessité pour les salariés de s'adapter à de nouveaux métiers. Si la formation initiale, tant dans les écoles d'ingénieurs que dans les universités et autres établissements de formation permet de dispenser une approche structurée et un minimum de connaissances pour démarrer dans l'entreprise, elle devient cependant insuffisante pour faire face aux constantes évolutions des métiers et des besoins de l'entreprise. La formation continue ou permanente intervient dans ce contexte pour, d'un côté favoriser le développement des compétences des salariés notamment en vue d'une transition vers de nouveaux métiers et, de l'autre, leur permettre de d'accéder à des qualifications professionnelles de plus haut niveau. Elle peut être réalisée soit à l'initiative du salarié dans le cadre du Droit Individuel à la Formation ou du Congé Individuel de Formation, soit à l'initiative de l'employeur dans le contexte d'un plan de formation. Les actions de formation peuvent être réalisées par les employeurs ou externalisées auprès de différents prestataires : organismes publics de formation tels que les Greta ou l'AFPA, associations ou organismes parapublics tels que les chambres de commerce et d'industrie, et organismes privés (près de 80% des activités de formation).

Dans l'industrie chimique, le taux de participation financière en formation continue représente près de 5% de la masse salariale brute, alors que l'obligation légale pour les entreprises est de 1,6% (pour les entreprises de plus de 20 salariés).

Pour la chimie, les principaux pôles de formation permanente sont :

- Interfora qui est un pôle spécialisé dans la formation aux métiers de la chimie et des procédés : il comprend un CFA accueillant des apprentis du BEP à l'ingénieur, et offre des parcours de formations continues qualifiantes et diplômantes dans les domaines des techniques de production, HSE, et techniques de laboratoire entre autres.
- CPE Lyon Formation Continue qui accueille près de 2 600 stagiaires (chiffres 2008/2009) et offre 281 stages dans 12 domaines de compétences (dont le Génie des Procédés, les Sciences Analytiques, la Chimie Organique, les Polymères, les Biotechnologies). Ces formations sont réalisées par des stages interentreprises situés hors du lieu de travail et qui permettent un partage d'expériences, et des stages intraentreprises qui répondent à des demandes de formation sur mesure. Le catalogue de CPE Lyon présente des cours de formation techniques et pointus qui s'adressent à des populations d'ingénieurs, de pharmaciens, de techniciens de l'industrie chimique, pharmaceutique, cosmétique et agro-alimentaire.
- Nancy Université Formation Continue (NUFC) qui est la fédération de l'université Raymond Poincaré, l'université Nancy 2 et l'Institut National Polytechnique de Lorraine (regroupant 7 écoles d'ingénieur dont l'ENSIC). L'offre de formation permet une couverture quasi exhaustive des domaines scientifiques et accueille plus de 3 500 personnes chaque année. En Chimie, l'offre de formations courtes comporte 7 formations pouvant aller de 30 heures à 60 heures, à destination de tous les publics pour certaines d'entre elles ou de titulaires de baccalauréat pour les autres. La formation longue a pour objectif de

préparer des titulaires de Bac+2 ayant 3 ans d'expérience professionnelle à intégrer une école d'ingénieur en 2^{ème} année.

- ITECH Entreprises propose des formations continues diplômantes du BTS au titre d'ingénieur (en inter et intraentreprises) ainsi que des formations surmesure dans des domaines tels que la chimie des formulations, les matériaux plastiques, le textile...

Si les offres de formation continue ou de formation « tout au long de la vie » représentent un facteur d'adaptabilité des employés, elles ne rencontrent pas toutes le même succès selon la nature des programmes ou même le centre de formation. En effet, certaines offres de formation peinent aujourd'hui à attirer des stagiaires. Ceci traduit un manque de coordination entre entreprises et écoles et une difficulté pour les écoles et organismes de formation d'identifier les besoins.

1.2. Benchmark avec l'Allemagne

Sensible aux questions relatives à l'environnement, l'Allemagne a été parmi les précurseurs dans le développement de cursus d'études dans les énergies renouvelables et la protection de l'environnement. Les études en chimie et en biotechnologies bénéficient aujourd'hui d'une très bonne réputation à l'échelle européenne et mondiale, portée par le rayonnement de l'industrie chimique qui compte parmi ses représentants des entreprises telles que Bayer et BASF.

1.2.1. Présentation des établissements d'enseignement supérieur

Il existe trois types d'établissements d'enseignement supérieur en Allemagne : les universités (dont techniques), les universités de sciences appliquées ou « Fachhochschulen » et les écoles supérieures d'art, de musique et de cinéma. Les établissements développant des formations dans le domaine de la chimie sont les suivants :

- Les **universités** représentent près de 35% des établissements et regroupent plus de 70% des étudiants. Elles proposent un enseignement quasi exclusivement théorique dans un ensemble de disciplines : médecine, sciences naturelles, sciences humaines, droit, sciences économiques et sociales, sciences de l'ingénieur. Certaines universités présentent une forte dominante en technologies/ingénierie et sont appelées « universités techniques ». Les universités ne sont pas seulement des centres de formation, mais aussi des centres qui se consacrent de façon indépendante à la recherche fondamentale et appliquée. Contrairement à la France, il n'existe pas en Allemagne d' « écoles d'ingénieur ».
- Les « **Fachhochschulen** » ou universités de sciences appliquées privilégient une approche pratique. Les étudiants y sont préparés aux exigences concrètes de la vie professionnelle et achèvent en général leurs études en un temps plus réduit. Les disciplines enseignées comprennent les techniques, l'économie, l'informatique, les sciences de l'ingénieur, les sciences sociales,...

1.2.2. Caractéristiques clefs des formations

- **Des initiatives fortes de la part des pouvoirs publics pour promouvoir la recherche :** l'initiative d'Excellence lancée en 2005 par les gouvernements fédéraux allemands et dotée d'un budget total de 1,9 milliard d'euros pour la période 2006-2011 s'inscrit dans une démarche de

promotion de la recherche de haut niveau : création de près de 40 établissements, développement de 30 groupements d'excellence « clusters »,...

- **Une coopération étroite avec le monde de l'industrie** : près de 30% du financement externe de l'université d'Aix la Chapelle (RWTH Aachen) et plus de 3000 projets par an sont soutenus par les industriels ; des accords de coopération étroits existent entre la Freie Universität de Berlin et le tissu industriel allemand formé par les grandes entreprises (Bayer-Schering, Pfizer, BMW,...) et par les PME.
- **Le développement d'une recherche interdisciplinaire** : le centre d'excellence des carburants issus de la biomasse (Tailor-Made Fuels from Biomass) de l'université d'Aix la Chapelle repose sur la collaboration pluridisciplinaire de chercheurs des facultés des sciences naturelles (spécialistes des catalyses biologiques et chimiques) et d'ingénieurs de systèmes et de process. Le CeBiTec de l'université de Bielefeld consolide les activités de recherche dans les filières de la biotechnologie, de la biologie moléculaire, de la génomique mais aussi de la bioinformatique.
- **Une spécialisation pointue et clairement lisible extérieurement, par université** :
 - **Les biotechnologies** à l'université de Bielefeld : cette université se démarque par son centre de biotechnologies (CeBiTec) qui occupe une position de leader dans la recherche sur le génome microbien à l'échelle fédérale. Cette institution scientifique centrale a lancé un projet de plate-forme technologique qui développe des souches de production pour les biotechnologies industrielles, et renforce de ce fait la position de l'université dans les domaines de la biochimie et de la bioingénierie,
 - ... et à l'université technique de Dresde : le centre des biotechnologies (BIOTEC) joue un rôle majeur dans le développement de l'université dans le domaine de l'ingénierie moléculaire et encourage les innovations dans les filières liées aux biotechnologies et à la biomédecine. De nombreuses publications confortent les structures de recherche dans leur objectif d'accroître leur notoriété et leur compétitivité internationale.
 - **La catalyse hétérogène** à l'université RWTH d'Aix la Chapelle : ce domaine présente une notoriété accrue grâce notamment à la création d'un centre de recherche avec Bayer. Ce projet de coopération offre la possibilité de rassembler la recherche fondamentale et les technologies industrielles dans le sens de l'innovation.
 - **Les polymères** à l'université de Berlin (Frei Universität Berlin) : le programme de Master en Sciences des Polymères initié au début des années 2000 a été conçu par des scientifiques de trois universités de Berlin et de l'université de Potsdam. Selon le centre de développement de l'enseignement supérieur (CHE), l'institut de chimie et de biochimie relevant de l'université de Berlin s'est positionné en 2009 dans le groupe des meilleures universités de recherche en Allemagne.

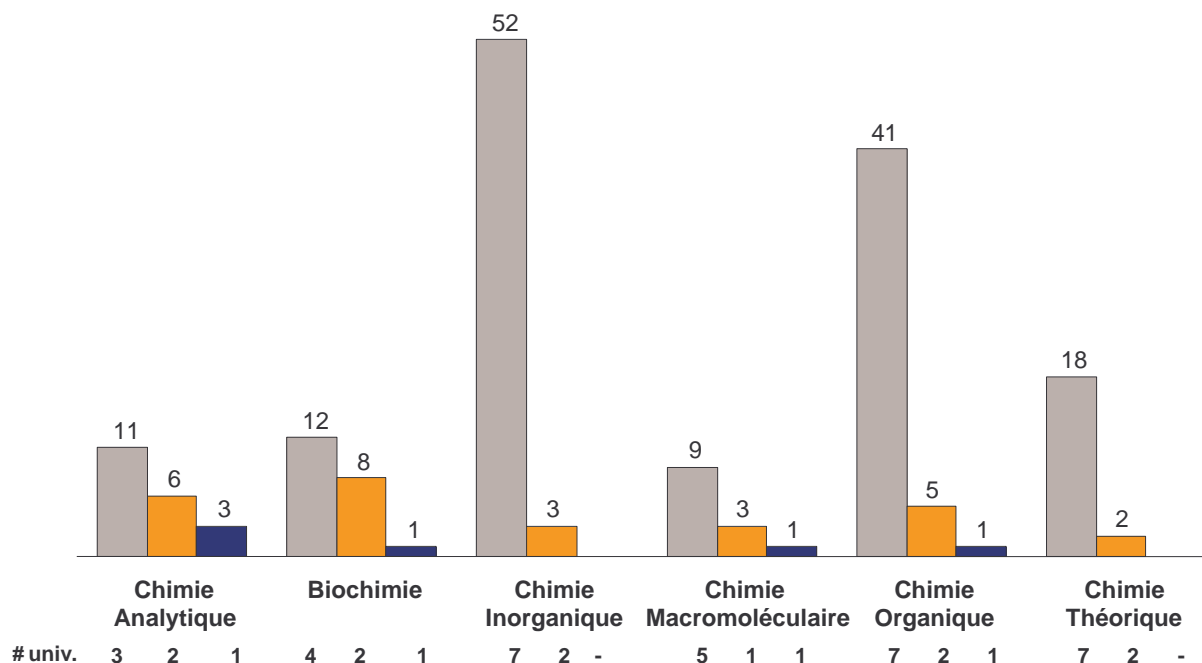
1.2.3. Eléments de comparaison avec les formations en France

Une première comparaison des formations existantes en chimie en France et en Allemagne fait apparaître les points de différenciation suivants :

- Les formations en France sont plus généralistes : les écoles de chimie visent en effet à consolider des bases de connaissances dans un ensemble étendu de domaines, et les universités (Paris 11, Rennes 1) se développent progressivement pour créer des pôles de spécialité d'excellence. Contrairement à l'Allemagne où certaines universités (Aix la Chapelle, TU Munich) ont réussi à accroître leur notoriété à l'international sur des domaines de spécialisation, la France doit encore renforcer cette lisibilité. Cette tendance existe cependant dans certains établissements à l'image de l'UTC Compiègne et l'INSA Toulouse dans le domaine des biotechnologies ou de l'université de Strasbourg dans la chimie moléculaire et supramoléculaire.
- Les formations en France doivent permettre de dépasser les barrières de la langue : en effet, afin d'attirer des étudiants et les chercheurs internationaux et améliorer leur positionnement dans les classements européens, les cursus de formation doivent accorder une part à l'enseignement en anglais. En considérant les universités les mieux cotées en chimie dans le CHE Excellence Rating (classement des meilleures universités européennes), nous remarquons que les universités allemandes (Aix la Chapelle, Nüremberg, Heidelberg,...) développent des programmes de master et de doctorat en anglais et en allemand en donnant le choix de la langue pour la rédaction de la thèse. Ceci n'est pas le cas pour toutes les universités françaises dont les programmes de master sont pour la plupart réalisés uniquement en français.
- Dans les classements des équipes de recherche, le poids des établissements français reste encore réduit par rapport à leurs homologues allemands dont la réputation est portée par des chercheurs reconnus. Quelques universités françaises se démarquent notamment comme l'université de Strasbourg, considérée comme la première en France en chimie dans le classement de Shanghai des meilleures universités de recherche en sciences exactes.

Nombre d'équipes de recherche par domaine

Classement du Centre de Développement de l'Enseignement Supérieur allemand (CHE), 2009



Si les résultats du classement d'excellence du CHE mettent en avant la nécessité pour les universités françaises de développer leurs équipes de recherche, ils doivent cependant être interprétés de manière prudente. En effet, dans le panel des universités sélectionnées pour la qualité de leur cursus de Master ou de Doctorat au niveau européen, seules deux universités françaises trouvent leur place en chimie: Paris 11 et Rennes 1, sachant que 13 universités ont été sélectionnées en France sur l'ensemble des disciplines. Au-delà du biais de représentativité, les résultats montrent quand même que les universités françaises manquent de chercheurs reconnus internationalement et donc souvent « cités ».

1.3. Conclusions

L'état des lieux des formations actuelles fait apparaître une offre très complète et très variée (voire foisonnante) pour la France et des tendances de fond qui accompagnent bien les mouvements importants auxquels sont soumises les entreprises de la chimie. Toutefois, en première analyse et indépendamment des effets des nouvelles mutations économiques que nous analysons plus loin, nous voyons ressortir quelques axes de progrès :

- Amélioration de la lisibilité des formations de manière à pouvoir identifier les universités ou les écoles dont la formation est différenciée, ou dans lesquelles des domaines de spécialité gagnent à être reconnus.
- Renforcement de la coopération entre l'enseignement et l'industrie à travers la mise en place de tutorats, de partenariats de longue durée et la promotion des formations par apprentissage (notamment pour les formations de niveau I et II) ; une implication accrue des entreprises de l'industrie chimique dans l'innovation pédagogique et dans les programmes serait un plus important.

- Coordination de l'offre de formation permanente de manière à mieux répondre aux besoins des industriels : conception conjointe des programmes en amont du lancement des formations, anticipation des demandes, garantie par les industriels d'un minimum de participants,...

2. ÉVOLUTIONS DE COMPÉTENCES

2.1. Objectif et méthodologie

Cette partie a pour objectif de présenter les grands facteurs de mutation pouvant induire des bouleversements et des modifications de modèles économiques dans le secteur de la chimie et de l'industrie chimique hors pharmacie à horizon 2015-2020 :

- L'intégration de la chimie dans les filières aval
- Le développement de la chimie du végétal
- Le développement du recyclage
- L'amélioration de la durabilité intrinsèque de la chimie

Nous présentons dans ce qui suit la liste des opportunités les plus importantes qui sont susceptibles de conduire à des développements économiques et à de nouveaux besoins de compétences.

Pour chaque thème d'évolution, nous avons identifié par opportunité ou de manière transverse au thème, les compétences qu'il sera nécessaire de développer : il s'agira de compétences « techniques » portant sur la Recherche et le Développement, l'ingénierie, les procédés, et les services mais aussi comportementales et transverses dans la mesure où les travaux se font de plus en plus en interaction avec des équipes de profils différents.

Afin d'identifier de manière précise les thèmes de recherche prioritaires en chimie élaborés par les écoles et universités, nous avons rencontré des universitaires et des responsables de division Enseignement-Formation au sein d'associations industrielles. Nous nous sommes également entretenus avec des responsables de programmes de formation dans les écoles d'ingénieur qui ont confirmé la nécessité de mettre en place des équipes de recherche pluridisciplinaires. Nous avons aussi rencontré des industriels dans les segments des PME et des grandes entreprises pour comprendre leurs besoins de recrutement actuels et anticipés et les compétences d'ordre professionnel qu'ils seraient susceptibles de rechercher chez des candidats.

Tableau récapitulatif des opportunités identifiées par grand thème de mutation

Mutations	Thèmes d'évolution		#	Sous-thèmes/ Exemples	Domaines d'application
Intégration de la Chimie dans les filières aval	Création de nouveaux produits	Matériaux	1	Développement des composites	Automobile / Construction / Aéronautique
			2	Développement de nouveaux isolants thermiques/phoniques	Construction / Aéronautique
			3	Développement de nouvelles colles	Automobile / Construction / Aéronautique
			4	Développement de revêtements / de peintures conductrices ou isolantes	Automobile / Construction / Aéronautique
				Développement des nano-matériaux (non tubes de carbone)	
			5	Applications dans le domaine médical : prothèses, ceintures lombaires, implants, valves cardiaques, ...	Biens de consommation
			6	Développement des additifs pour les plastiques recyclés	Automobile
			7	Développement de polymères conducteurs pour les applications photovoltaïques, LED et OLED	Energie, Biens de consommation
			8	Développement des bioplastiques (techniques ou de haute performance) à partir de molécules naturelles	Automobile / Biens de consommation (électronique)
			9	Développement de céramiques nano-poreuses/membranes pour la filtration de l'eau ou de l'air	Agriculture et environnement / Industrie lourde
			10	Développement de matériaux capables de signaler leur état d'endommagement, voire de s'"autoréparer" (Arkema)	Automobile / Construction / Travaux publics
			11	Développement de matériaux pour fibres optiques	Biens de consommation
			12	Traitement de surface (matériaux autonettoyants: bétons et vitrages)	Construction
	13	Stockage de données (disques durs et mémoires)			
		Gestion de l'énergie	14	Développement de composants pour les nouveaux modèles de batteries automobiles	
	15		Accumulateurs	Automobile / Biens de consommation	
	16		Super capacité	Automobile	
	17		Développement des biocarburants	Energie	
	18		Pile à combustible	Automobile / Energie / Construction	
Développement de nouveaux services		19	Conception commune de procédés Service applicatif: conception commune de produits, mise au point assistée d'utilisation innovante de ces produits Services logistiques/d'ingénierie, ... Intégration dans la chaîne de production client Conservation du produit et reprise/ maîtrise du risque associé	Tous secteurs	
Développement de la chimie du végétal	Oléochimie		20	Optimisation des processus Utilisation de processus biotechnologiques innovants	Biolubrifiants, biosolvants, biotensioactifs, ...
	Chimie des sucres	Utilisation / Transformation de résidus agricoles	21	Développement de biotechnologies (enzymes; micro-organismes) pour la dégradation de la lignine	
			22	Amélioration des rendements pour la séparation des composants de la structure des résidus	
		23	Amélioration de la productivité des réactions par la biotechnologie		
	Développement de bioraffineries		23	Optimisation des processus de production en mélangeant les procédés chimiques classiques et biotechnologiques Utilisation d'une approche mécanique dans les processus	
	Voie thermochimique	Innovations technologiques	24	Recherches sur les technologies de pré traitement de la biomasse	Biocarburants de 2ème (plante) et de 3ème génération (utilisation d'algues)
			25	Amélioration du rendement des technologies de gazéification (catalyse type Friedel-Crafts)	Biocarburants de 2ème (plante) et de 3ème génération (utilisation d'algues)
	Valorisation de la lignine	Innovations technologiques	26	Séparation de la lignine par voie non thermochimique des autres molécules de la plante et du bois (cf. Copacel)	
27			Transformation de la lignine par voie chimique ou biotechnologique (micro-organismes)	Production de fibres de carbone, de polymères modificateurs, d'adhésifs et de résines Production d'aromatiques	
Systèmes complexes	Recherche fondamentale	28			
Développement du recyclage	Recyclage des plastiques		29	Recyclage des plastiques automobiles	Automobile
	Recyclage des métaux		30	Recyclage des emballages plastiques de l'industrie agroalimentaire	Industrie agroalimentaire, biens de consommation
	Recyclage des Déchets industriels		31	Recyclage des métaux rares, des piles et accumulateurs	
			32	Recyclage des autres métaux (acier, métaux ferreux, ...)	
		33	Recyclage des huiles usées		
Amélioration de la Durabilité intrinsèque	Ressources	Faire face à la rareté des ressources	34	Economie de matière/ rendement des réactions: Chimie des procédés Voies qui permettent de faire des économies d'atomes Economies d'énergie	
	Procédés	Amélioration de la durabilité intrinsèque de l'industrie chimique via l'amélioration de ses procédés	35	Traitement des émissions gazeuses des sources fixes Catalyse Réduction de la consommation d'eau Micro technologie pour l'intensité des procédés Capteurs mécaniques, de température Réduction des émissions des GES et des effluents	Industrie lourde, automobile, agriculture et environnement, biens de consommation
	Chimie Réparatrice	Produits dépolluants/ procédés de dépollution	36	Traitement des émissions de GES/COV Traitement des déchets (liquides/solides) Traitement des eaux Traitement des sols	Agriculture et environnement

2.2. Intégration de la chimie dans les filières aval

L'une des grandes tendances d'évolution de la chimie est sa capacité à s'intégrer dans les filières aval, soit en créant de nouveaux produits susceptibles de générer de la valeur, soit en proposant des services. La chimie n'est donc plus de ce fait seulement un maillon fournisseur de matières premières dans une chaîne plus globale, mais participe à la conception de produits et de services liés à l'évolution de la demande et des usages des filières en aval.

Les opportunités de création de valeur pour l'industrie chimique en termes de nouveaux produits sont très nombreuses : les tendances les plus marquées ont été regroupées en 2 thèmes : les matériaux et la gestion de l'énergie. De nombreux thèmes de recherche nouveaux dans ces domaines orientent les sujets de thèses et la formation pour le futur. Ces sujets sont largement développés en annexe.

Au-delà de l'opportunité de créer de nouveaux produits, l'industrie chimique a la possibilité d'intervenir dans les filières aval par la conception et la mise en application d'une offre de services innovante répondant à un nouveau modèle économique d'entreprise. Ce modèle économique désigné « économie de la fonctionnalité », repose sur la production et la vente de solutions globales permettant de prendre en charge les préoccupations du développement durable. Il se construit autour de la vente des usages rendus par les biens plutôt que la vente des biens eux-mêmes.

Nous avons identifié deux modèles d'implication de la chimie dans des activités transverses dans le contexte d'une évolution pouvant se rapprocher d'une diversification :

- L'offre de services de type applicatif : cette offre comprend la conception commune de produits entre une entreprise de la chimie et une autre appartenant à une filière aval, l'amélioration de la performance des produits, l'amélioration des procédés industriels. Nous citerons dans ce contexte l'exemple de BASF Coating qui a initié en 2005 avec Renault et Volkswagen le concept de partenariat système. BASF a investi dans un outil de peinture installé sur les chaînes de montage des constructeurs et s'est engagé auprès d'eux à un certain rendement. Le producteur de peintures s'est ainsi intégré dans la chaîne de production de son client pour devenir peintre et s'est engagé auprès de lui sur un nombre de voitures peintes sans défaut.
- L'offre de services logistiques ou d'ingénierie : il s'agit en production du cas du fabricant d'additifs (anticorrosif, etc.) qui pourrait, au lieu de vendre son additif sous un conditionnement standard, proposer un packaging personnalisé et adapté au système de production de son client. Le fabricant d'additifs devra donc adapter sa chaîne de production aux besoins de son client en internalisant une tâche effectuée jusqu'alors par son client.

Cette offre peut aussi regrouper la gestion des stocks ou la traçabilité des produits ou plus spécialement l'intervention dans la gestion de fin de vie des produits par la récupération et le recyclage des composés :

- Michelin propose un service de maintenance des pneus chez ses clients dans le domaine du fret routier ainsi que leur récupération en fin de vie.
- Xerox a mis en place un service de leasing de photocopieurs et une offre de services de reproduction de documents fondée sur la récupération et la réutilisation des produits usagés.

Intégration de la chimie dans les filières aval



2.3. Développement de la chimie du végétal

La chimie du végétal repose sur l'utilisation et la transformation de produits issus de la biomasse ou de ressources végétales renouvelables pour produire des molécules chimiques, et développe des applications industrielles dans différentes filières telles que :

- Les biomatériaux : matériaux composites pour l'automobile, isolants dans la construction,...
- Les biocarburants : éthanol, biodiesel, biogaz,...
- La chimie fine et de spécialité : biosolvants, biolubrifiants, tensioactifs, encres et peintures,...
- La chimie de base et intermédiaire: création de briques élémentaires (synthons) à partir desquelles il est possible de synthétiser des molécules plus complexes.

Elle représente aujourd'hui un enjeu stratégique majeur répondant à des préoccupations d'ordre socio-économique et écologique.

Nous présentons dans ce qui suit les principaux thèmes d'évolution concourant au développement de la chimie du végétal. Ces thèmes d'évolution sont construits autour des modèles de valorisation de la biomasse, et se différencient par le type de biomasse utilisé (huiles végétales, céréales, tubercules, betteraves, cannes à sucre, lignine,...) ou par les procédés et technologies de fabrication (voie thermo-chimique, voie biologique).

2.3.1. Oléochimie

L'oléochimie porte sur la transformation des huiles végétales (à base de colza, palme, tournesol, soja,...) et de leurs dérivés. De manière simplifiée, cette transformation comprend des étapes de trituration, de raffinage, d'estérification et de formulation qui conduisent à un ensemble de débouchés : alimentation humaine et animale, biocarburants, glycérine, produits dans les secteurs des lubrifiants, des adjuvants, des tensioactifs, ou des cosmétiques.

Un des exemples de débouchés de l'oléochimie est le Diester, biocarburant élaboré à partir d'huiles végétales de colza et de tournesol cultivées en France. Ce biocarburant s'utilise aujourd'hui dans toutes les voitures diesel, puisqu'il est incorporé à hauteur de 7% (taux « banalisé ») au gazole distribué dans les stations service.

L'oléochimie végétale est considérée comme une technologie mature, cependant de nouvelles opportunités peuvent être exploitées par les industriels :

- Intégration vers l'aval : par la valorisation et la mise sur le marché de produits et coproduits issus de la transformation de graines oléagineuses, à partir du raffinage de la glycérine par exemple.
- Recherche de nouveaux « synthons » : cette chimie, plus complexe, doit permettre d'obtenir des produits à plus forte valeur ajoutée, plus respectueux de l'environnement que ceux issus des ressources fossiles, à partir de synthons « verts » issus de l'oléochimie. De nouveaux brevets ont ainsi été déposés en 2009 par l'UMT Polygreen (nouveaux dérivés d'huile de ricin et leurs applications) et des recherches ont été lancées sur les nouvelles voies de fabrication de biopolymères à partir d'huiles végétales.
- Optimisation énergétique : de nouveaux procédés sont aujourd'hui en phase de test pour la récupération et l'utilisation de l'énergie dissipée lors de la phase de trituration des graines issues des plantes oléagineuses.
- Amélioration des rendements en graines : cette amélioration permet d'augmenter la quantité de graines à l'hectare et donc la quantité d'huile obtenue. Les solutions passent par la protection des récoltes contre les maladies et la réduction des pertes de graines à la récolte.

2.3.2. Chimie des sucres

Comme son nom l'indique, la chimie des sucres repose sur l'utilisation des sucres issus des végétaux comme matière première à partir de procédés de fermentation ou de catalyse enzymatique.

La fermentation est une réaction biochimique de conversion de l'énergie chimique contenue dans une source de carbone en une autre forme d'énergie utilisable par la cellule. Elle repose sur l'utilisation de levures ou micro-organismes. La catalyse enzymatique par contre repose sur l'action d'un type particulier de catalyseur sur une transformation chimique (l'enzyme dans ce cas) dans le but de modifier sa vitesse de réaction. Les enzymes sont produites par des cellules vivantes et forment des molécules complexes dont l'efficacité peut être améliorée par la biologie moléculaire.

La chimie des sucres peut trouver de nouvelles perspectives de développement économique grâce à deux leviers importants :

- La capacité de transformer et de séparer les résidus agricoles composés principalement de cellulose, d'hémicellulose et de lignine : la lignine étant particulièrement difficile à traiter, les

recherches s'orientent vers la sélection et la transformation génétique des végétaux afin de réduire le taux de lignine dans la matière.

- L'amélioration des rendements et de la productivité des réactions : ces améliorations reposent essentiellement sur les développements en matière de biotechnologies, grâce à la conception d'enzymes permettant d'accroître les vitesses des réactions et de micro-organismes qui agissent comme des usines cellulaires pour produire des molécules utilisables par l'industrie chimique.

2.3.3. Développement de bioraffineries

Les bioraffineries désignent les complexes industriels intégrés qui valorisent selon différents procédés (biotechnologiques ou chimiques) une gamme étendue de matières présentes dans les bioressources pour produire une variété de produits et de coproduits. Le développement des bioraffineries est appuyé au niveau européen par le Programme-Cadre de Recherche et de Développement Technologique (PCRDT) avec le lancement d'un appel à projets doté de 57 millions d'euros.

Plus récemment, le projet Biocore visant à transformer la biomasse en biocarburants de 2^{ème} génération et en divers produits industriels a été mis en chantier sous l'égide de la Commission européenne et de l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA). D'ici 4 ans, la France accueillera la première installation pilote destinée à fabriquer, à partir de résidus agricoles et forestiers (paille de maïs, paille de riz), un éventail de produits valorisables.

2.3.4. Voie thermochimique

La voie thermochimique vise à obtenir des carburants liquides à partir de matières premières solides (par exemple la biomasse) ou gazeuses. Elle est réalisée au travers de deux phases : une phase de gazéification qui ramène les matières végétales à des molécules de CO et de H₂ et une phase de recombinaison des molécules pour la fabrication de polymères. Deux voies technologiques sont possibles pour réaliser cet assemblage : la catalyse chimique dont la plus connue est la catalyse dite « Fischer-Tropsch » et la voie biotechnologique qui consiste à utiliser un micro-organisme capable de transformer les molécules de CO et de H₂ en un produit chimique.

Les voies de progrès de la thermochimie portent sur trois éléments essentiels :

- Le conditionnement et le prétraitement de la biomasse en amont de l'étape de gazéification (torréfaction, pyrolyse).
- L'amélioration du rendement des technologies de gazéification par apport d'énergie externe ou par apport d'hydrogène et de chaleur.
- La séparation des polluants et la purification des gaz issus de la gazéification.

2.3.5. Valorisation de la lignine

La lignine est une molécule complexe qui représente environ 30% de la biomasse dans le monde et qui confère à la plante sa structure grâce à des propriétés d'imperméabilité et d'inextensibilité. Si elle est principalement utilisée aujourd'hui comme combustible notamment dans les industries papetières, d'autres formes de valorisation peuvent concourir à son développement :

- La séparation de la lignine par voie non-thermochimique de la cellulose et de l'hémicellulose contenues dans les végétaux.

- La transformation de la lignine par voie chimique ou biotechnologique: utilisation d'enzymes spécialisée dans la dégradation du bois ou de champignons lignolytiques,...

2.4. Développement du recyclage

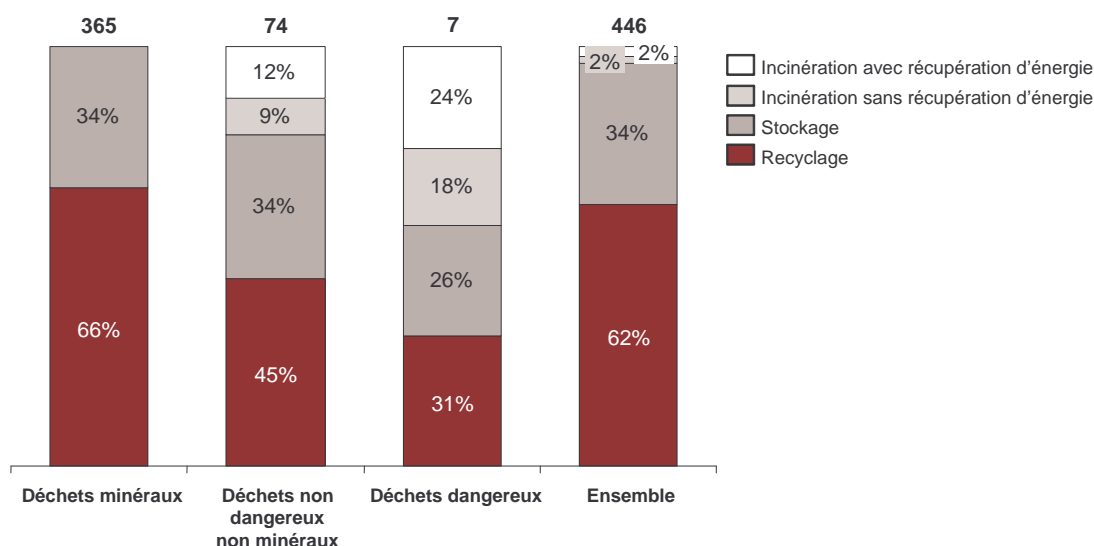
Le recyclage constitue l'un des piliers essentiels de l'économie circulaire de la matière. Ce thème est aujourd'hui au cœur du plan d'actions du gouvernement pour améliorer la gestion des déchets et s'inscrit dans les priorités du Grenelle de l'environnement. Le plan d'actions, doté de 259 millions d'euros en 2011, a pour objectifs de :

- Faire baisser de 7% la production de déchets ménagers par habitant sur les cinq prochaines années.
- Améliorer le taux de recyclage matière et organique à 35% en 2012 pour les déchets ménagers et à 75% en 2012 pour les déchets des entreprises et les emballages.
- Diminuer les quantités de déchets partant à l'incinération ou au stockage pour réduire l'impact sur la santé et l'environnement.

Les filières de récupération de produits en fin de vie (emballages, pneus, piles, batteries, véhicules hors d'usage et déchets d'équipements électriques et électroniques) sont alimentées par la collecte sélective, les centres de tri et les déchèteries. Le déchet "récupéré" peut être **réutilisé** sans transformation, **renové** par un procédé chimique ou physique de manière à lui redonner ses caractéristiques originales perdues ou **recyclé**.

En 2006 (dernières statistiques disponibles à date) la production de déchets en France s'élève à 445,8 millions de tonnes, tous secteurs confondus. Le taux de recyclage varie de 63% pour les déchets non dangereux à 31% pour les déchets dangereux.

Traitement des déchets par nature
SOeS 2009, données 2006



La France a aujourd'hui besoin d'améliorer son positionnement sur la chaîne de valeur du recyclage : l'importance des capacités installées pour l'incinération (le plus grand nombre d'incinérateurs en Europe) constitue un frein au développement de filières alternatives

performantes, et la faible intégration des broyeurs avec les activités aval les conduit à se retourner vers les recycleurs étrangers.

Nous considérerons dans ce qui suit 2 filières de recyclage dont la structuration n'est pas encore au stade de maturité : ces filières sont le recyclage des plastiques et des métaux.

2.4.1. Recyclage des plastiques

Différentes voies existent pour la valorisation des plastiques :

- Le recyclage mécanique ou la valorisation de la matière après tri et broyage.
- Le recyclage chimique permettant de revenir aux composants chimiques initiaux.
- La valorisation énergétique utilisant le pouvoir calorifique des matériaux polymères.

En Europe, l'emballage reste le premier secteur consommateur de plastiques (38%), suivi par le BTP (21%), l'automobile (7%) et l'électrique/électronique (6%), les autres applications se partageant la part restante d'une demande évaluée à 48,5 millions de tonnes en 2008.

Nous distinguerons dans cette partie le recyclage des plastiques automobiles et le recyclage des emballages :

- **Recyclage des plastiques automobiles** : la directive européenne sur le traitement des véhicules hors d'usage VHU impose à partir de 2015 un taux de recyclage de 85% avec en plus une valorisation énergétique de 10%. Selon les résultats d'une campagne faite par l'ADEME pour la France, 79% du poids des véhicules est recyclé et seulement 1 à 3% est valorisé. Des efforts importants restent à réaliser concernant la part plastique qui représente 12% du poids du véhicule et dans laquelle seul 10% est recyclé.

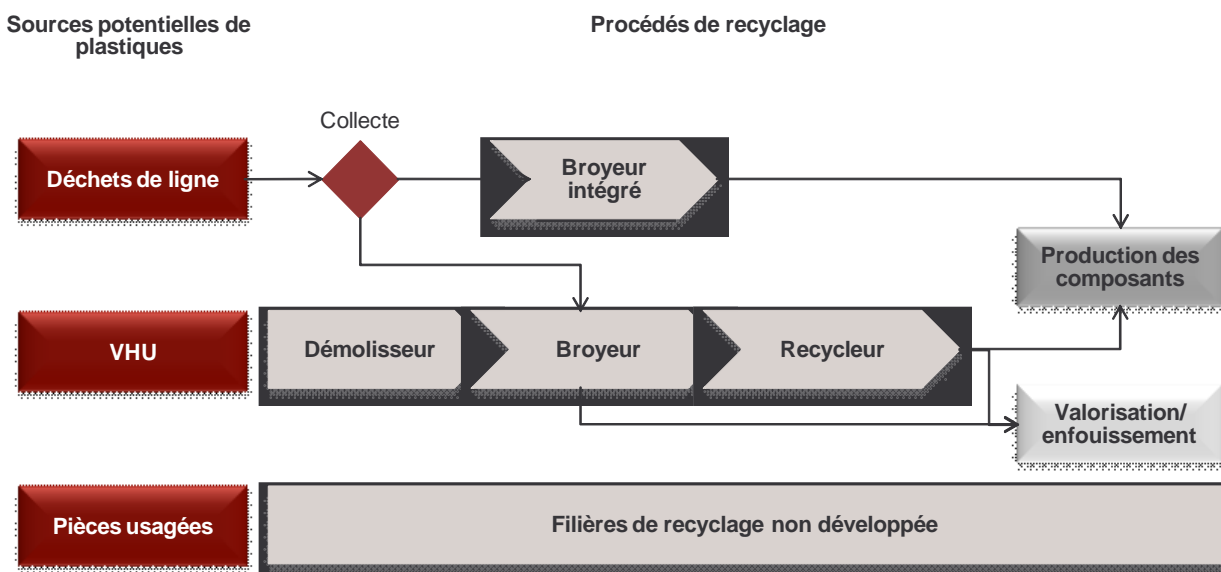
Le procédé de recyclage généralement mis en œuvre pour les plastiques issus des VHU est le suivant :

- Les véhicules hors d'usage (VHU) sont abandonnés à des démolisseurs qui les dépolluent en retirant la batterie pour recyclage et les huiles pour valorisation énergétique, puis récupèrent quelques pièces de valeur facilement démontables (moteur, pare-chocs, jantes, pièces en cuivre) et revendent la structure restante à un broyeur.
- Les broyeurs achètent aux démolisseurs des carcasses dépolluées, les broient et récupèrent les métaux afin de les revendre. Les résidus de broyage (plastiques, mousses, tissus, bois...) qui restent sont généralement dirigés vers un centre d'enfouissement hormis dans un site en Europe qui trie environ 20 000 tonnes de résidus de broyage par an.
- Le recycleur rachète les résidus de broyage, les trie (aujourd'hui essentiellement selon un mécanisme de flottaison) puis fond ces plastiques afin de les revendre à des compounders. Le triage des résidus de broyage présente un potentiel important pour le recyclage : rien qu'en France, 400 000 tonnes de résidus de broyage par an sont mis à la décharge. Plastic Omnium estime à 17% la part de PP qui pourrait en être extraite. Le reste des résidus est finalement envoyé en centre d'enfouissement.

Pour les plastiques issus des déchets neufs des plasturgistes, le procédé de broyage peut être soit sous-traité à des broyeurs soit intégré dans les lignes de production.

Pour les plastiques issus de pièces usagées, la filière du recyclage n'est pas à ce stade encore bien structurée.

Structuration de la filière du recyclage actuel



Les matières issues des pièces automobiles en fin de vie sont capables de retrouver une nouvelle vie grâce au compoundage. L'ajout de charges de type charges minérales, fibres de verre ou autres additifs permet d'homogénéiser et d'améliorer les propriétés des matières : par exemple, pour des applications à forte valeur ajoutée, le polypropylène issu du recyclage pourra être dopé au niveau de ses propriétés mécaniques par l'ajout de fibres de verre.

En termes de structure de marché :

- Les démolisseurs sont généralement des entreprises peu structurées (environ 1 500 PME et TPE) sans réel savoir-faire.
- La France compte environ une cinquantaine de broyeurs appartenant à quelques grands groupes comme Derichebourg et Guy Dauphin environnement.
- Le marché des recycleurs de plastiques en France est aujourd'hui également peu structuré (116 entreprises réalisant un CA moyen <30M€) et ne concerne pas vraiment l'automobile. Sur une centaine de recycleurs, seuls deux semblent ainsi être spécialisés dans l'automobile : Plastic Omnium et Galloo plastics. Plastic Omnium a récemment investi dans un partenariat avec Derichebourg pour la création d'une filiale Plastic Recycling spécialisée dans la régénération des plastiques usagés (de type PE, PP et ABS) et dans la production de paillettes et granulés destinés à l'industrie de la plasturgie.

Afin de pouvoir atteindre les objectifs fixés par la directive européenne à horizon 2015, la filière du recyclage doit se structurer en intégrant 3 types de nouveaux métiers :

- **Collecte / tri :** cette activité consiste à récupérer l'ensemble des sources de plastiques à recycler (VHU, déchets issus des lignes de production des plasturgistes, pièces usées durant la vie du véhicule) et à trier, dans la masse de plastiques disponibles, afin de dissocier les pièces formées d'un type particulier de polymère et les mélanges de polymères.

- **Broyage / tri :** ce procédé permet de séparer les mélanges de polymères (et d'autres matériaux, comme le caoutchouc).
- **Recyclage chimique :** le recyclage chimique permet de transformer des déchets de polymères en un polymère réutilisable (chauffage des déchets pour produire des granulés de matière première, procédés complexes de dépolymérisation / repolymérisation,...).

Ces nouveaux types de métiers ouvrent la voie vers de nombreuses opportunités de création de valeur pour la chimie dans le secteur des plastiques automobiles :

- **Dans la logistique :**
 - Collaboration entre les entreprises chimiques productrices et/ou distributrices d'un certain type de polymère ou de compound et les démolisseurs : identification et démontage par les démolisseurs de pièces plastiques spécifiques et transmission aux entreprises pour recyclage.
 - Développement par les chimistes et compounders d'une offre de collecte de déchets sur les lignes de production/de pièces détachées hors d'usage (exemple d'Atmos Plastics, Wipag, ...).
 - Construction d'une installation de recyclage de plastiques à la sortie d'un broyeur afin d'optimiser la logistique.
- **Dans la R&D :**
 - Développement de nouveaux systèmes de séparation des résidus de broyage en collaboration avec les broyeurs (ajout de systèmes traceurs dans les polymères).
 - Conception de marqueurs pour faciliter le processus de tri.
 - Conception d'additifs pour améliorer les performances et les caractéristiques des plastiques recyclés dont les propriétés sont dégradées par rapport aux plastiques neufs.
- **Dans l'amélioration des procédés :**
 - Développement de procédés de séparation chimique pour accroître le taux de recyclage des plastiques (conversion de mélanges de polymères en produits à plus bas poids moléculaire, recyclage de composites par solvolysé, ...).
 - Développement de procédés de recyclage permettant d'obtenir des plastiques recyclés de meilleure qualité, susceptibles d'être réutilisés dans l'automobile (de type dépolymérisation / repolymérisation).
- **Dans les services :**
 - Développement d'une offre de conseil : participation des chimistes à l'écoconception de plastiques techniques ou de composites pour l'industrie automobile facilement recyclables.
 - Codéveloppement avec les équipementiers automobiles de technologies de production permettant de réaliser de nouveaux matériaux présentant des propriétés innovantes et en même temps anticipation de leur recyclabilité.

- **Recyclage des emballages plastiques :** le secteur de l'emballage représente environ 63% de la quantité de matières plastiques en fin de vie. La Directive européenne sur les emballages a fixé des objectifs de taux de recyclage par matériau à horizon 2008 dont 22,5% pour les plastiques. Contrairement à l'ensemble des autres matériaux recyclables concernés par la directive, cet objectif n'a pas été atteint par la France pour les emballages plastiques.

Le taux de recyclage des emballages plastiques est encore trop faible : 21,7% en 2008. Dans le ménage, le recyclage est bien organisé pour les bouteilles et flacons puisque près de 50% du gisement est capté, mais il existe encore un potentiel important de développement qui repose sur l'incitation au tri et le développement de la collecte à domicile.

Les débouchés du recyclage des emballages restent très diversifiés :

- Les bouteilles d'eau, de boissons rafraîchissantes et de produits ménagers en PET deviennent des fibres textiles pour le bâtiment, l'ameublement, l'automobile, l'hygiène, des bouteilles, des pièces diverses injectées,...
- Les bouteilles de lait et de produits d'entretien, les films et sacs en PEhd (Polyéthylène haute densité) et en PP (Polypropylène) deviennent des tubes de passage de câbles, de nouveaux flacons, des bidons, des sacs poubelles ou des films agricoles,...
- Les emballages de type industriel tels que les barquettes, caisses calages en PSE (polystyrène expansé) sont transformés en de nouveaux emballages, des plaques d'isolation ou de protection, du béton allégé,...

Des opportunités de création de valeur restent encore à explorer dans le recyclage des plastiques issus de l'emballage :

- Participation à l'écoconception de nouveaux emballages plastiques avec les industriels de manière à garantir d'une part leur recyclabilité et de l'autre la sécurité des aliments/eaux qui y sont contenus.
- Développement de nouveaux débouchés pour les plastiques recyclés : il s'agit par exemple du cas de la société française PEG qui a développé un isolant en « ouate de polyester » composé à 85% de fibres issues du recyclage de bouteilles en PET recyclées.
- Amélioration de la qualité du tri et du recyclage grâce au développement d'offres logistiques et de procédés.

2.4.2. Évaluation des opportunités de création d'emplois dans la filière du recyclage des plastiques

Le développement de la filière de recyclage des plastiques permettra de contribuer à la création d'environ **17 400** emplois à horizon 2020, dont :

- **9 600** emplois directs liés aux activités de collecte, de broyage et de recyclage
- **7 800** emplois indirects liés à la mise en place de structures et l'organisation de dispositifs logistiques

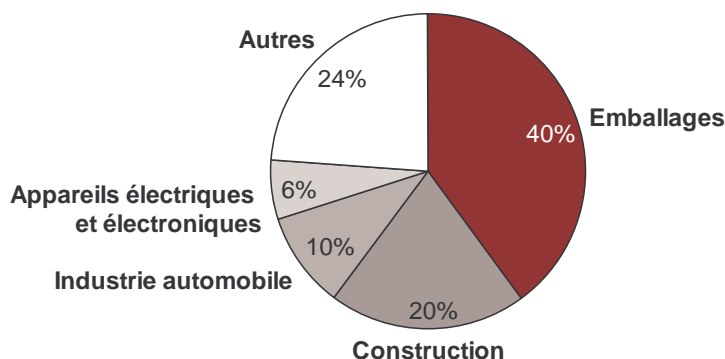
2.4.2.1. Estimation des emplois directs créés

Les emplois directs créés par le développement de la filière de recyclage des plastiques peuvent être décomposés de la manière suivante :

▪ **Les emplois résultant d'une augmentation des tonnages collectés et recyclés au sein de la filière : ~ 7 600 emplois**

En 2007, 5611 Kt de plastiques ont été consommés en France incluant les ressources primaires et les plastiques régénérés. L'estimation de l'évolution de cette consommation à 2020 sur la base de la croissance notée sur les dernières années nous permet d'aboutir à un volume de matières plastiques recyclées équivalant à 4,1M tonnes.

Les matières plastiques en France sont utilisées dans différents domaines d'application, et principalement dans l'emballage. Le graphique suivant présente la répartition de la consommation du plastique en 2007 selon les applications :



En fixant les objectifs de recyclage des plastiques par domaine d'application à horizon 2020 de manière à prendre en compte les contraintes imposées par la réglementation et prévues dans les différentes directives relatives aux filières, nous aboutissons à une décomposition des tonnages.

Les principales hypothèses considérées pour une estimation des tonnages de plastiques recyclés par application sont les suivantes :

- Pour les emballages : part de 60% des déchets plastiques recyclés à horizon 2020 grâce à une plus forte mobilisation de la filière industrielle et à l'amélioration de la collecte sélective des ménages.
- Pour la construction/BTP : objectif de valorisation de 75% des déchets du BTP dont 10% sont constitués de matières plastiques.
- Pour les VHU : estimation de 2 millions de VHU en 2020 avec une part de 20% de matières plastiques dont 80% sont recyclables.
- Pour les appareils électriques et électroniques (DEEE) : croissance des équipements mis sur le marché de 4% par an, taux de collecte des EEE égal à 80% de la quantité moyenne sur le marché sur les deux dernières années, évolution de la part des matières plastiques dans les déchets de 22% en 2007 à 40% en 2020.

▪ **Les emplois résultant d'évolutions et de mutations (structuration de la filière de recyclage des plastiques automobiles) : ~ 2 000 emplois**

Au-delà de la prise en compte des effets de consolidation des flux, des opportunités devront être intégrées pour la filière des VHU au niveau des 3 métiers suivants :

- Collecte/tri : collaboration des entreprises chimiques productrices ou distributrices d'un certain type de polymère avec des démolisseurs afin que ceux-ci démontent les pièces réalisées dans ce matériau. De nouveaux emplois sont à envisager pour former les démolisseurs à l'identification de matériaux plastiques à forte valeur matière.

- Broyage/tri : la qualité des plastiques recyclés dépend principalement du triage réalisé en amont. Afin d'assurer un tri efficace et faible des plastiques, de nouveaux systèmes de séparation des résidus de broyage doivent être développés par les entreprises chimiques en collaboration avec les broyeurs. Des ressources contribuant à la recherche sur les technologies de tri post-broyage, à l'exemple de l'ajout de systèmes traceurs, doivent être de ce fait mobilisées. Au-delà de la recherche et en vue d'optimiser la logistique, on pourrait envisager la construction d'installations de recyclage à la sortie d'un broyeur (exemple de la JV Plastic Recycling de Plastic Omnium et Derichebourg). Ces installations contribueront à la création de nouveaux emplois de recycleurs.
- Recyclage chimique : les évolutions du recyclage chimique dans les domaines des procédés de séparation de mélanges de polymères et dans les procédés de type dépolymérisation / repolymérisation nécessiteront de déployer des compétences en recherche et développement et en ingénierie des procédés.

2.4.2.2. Estimation des emplois indirects créés

Les filières de collecte, de démantèlement, de tri et de valorisation étant déjà bien structurées pour les emballages et pour les déchets de construction, les objectifs les plus ambitieux en termes de recyclage sont portés par les filières des VHU et des DEEE. Ces filières peuvent contribuer à la création d'emplois dans des activités transverses liées à la logistique, à la communication ou au renforcement de structures et d'acteurs existants.

La filière des VHU présente ainsi des opportunités de développement et de structuration qui doivent être exploitées en vue de répondre à la directive européenne imposant de valoriser 95% de la masse des véhicules dès 2015. De manière spécifique, les leviers sont :

- Une amélioration des performances technico-économiques des démolisseurs, dont près de 40% n'ont pas encore adopté la démarche d'agrément de la filière et dont les prestations restent insuffisantes.
- L'accès à des formations élaborées par les constructeurs sur l'identification et le démontage des pièces à valeur ajoutée pour porter à la connaissance des démonteurs les pièces à collecter par véhicule.
- La diffusion sur le territoire des infrastructures et des technologies de recyclage et de traitement post-broyage.
- La coopération accrue entre constructeurs et broyeurs/démonteurs : construction d'une base de données ISIS pour faciliter le démontage des véhicules, signature de protocoles d'accord (VW France projet Charteco, Citroën – Derichebourg) pour la collecte et le traitement, construction conjointe d'unités de traitement (Renault-Sita).

Selon nos estimations, l'activation de ces leviers pourrait conduire à la création de près de **2 750 emplois indirects**.

Pour *la filière des DEEE*, l'objectif de collecte de 4 Kg par habitant fixé par la directive européenne a été dépassé en 2008 au niveau national. L'objectif est aujourd'hui d'accroître la collecte de 1Kg/an par habitant en vue de dépasser la barre des 10 Kg à horizon 2014.

Pour ce faire, la filière de collecte et de traitement des DEEE doit faire face à plusieurs défis :

- Poursuivre la sensibilisation des utilisateurs d'équipements par le biais d'actions communales et d'actions ciblées au niveau des distributeurs.
- Faciliter la reprise d'appareils usagés par des dispositifs de collecte auprès des distributeurs.

- Protéger contre les actes de vandalisme les gisements collectés par les activités territoriales.
- Adapter les moyens logistiques pour optimiser les flux de collecte et améliorer leur traçabilité.

Près de **5 000 nouveaux emplois indirects** seront par conséquent nécessaires pour répondre à ces enjeux.

2.4.3. Recyclage des métaux

Nous distinguerons dans cette partie le recyclage des métaux ferreux et non ferreux d'une part, et celui des métaux rares, des piles et accumulateurs de l'autre.

- **Recyclage des métaux ferreux et non ferreux :** la récupération des métaux ferreux ou ferrailles provient principalement des VHU, des biens de consommation en fin de vie (gros appareils ménagers, boîtes de conserves, cannettes,...) des déchets de démolition des bâtiments et des chutes de fabrication des industriels. Le taux de recyclage de ces métaux et en particulier de l'acier est élevé (70% de taux de recyclage en Europe en 2008 pour les aciers d'emballage, et 68% en France) en raison de ses caractéristiques uniques : séparation aisée grâce à des propriétés magnétiques, possibilité de recyclage en plusieurs cycles sans altération de ses qualités intrinsèques et donc réutilisation aisée dans ses usages habituels.

Les principaux métaux non ferreux sont l'aluminium, le cuivre, le zinc, le plomb et le nickel. Les déchets récupérables proviennent des chutes de fabrication des industriels, des produits en fin de vie (automobiles, emballages, ...) et des déchets du bâtiment. Sous condition d'une certaine pureté, ces métaux peuvent se recycler sans perte de leurs qualités : quelle que soit leur origine, les métaux ferreux (ferrailles) sont recyclés en quasi-totalité dans la sidérurgie et les fonderies d'acier et de fonte. Les matériaux non ferreux récupérés sont écoulés auprès des producteurs de métal de seconde fusion.

- **Recyclage des piles et accumulateurs :** en 2008, selon les données de l'EBRA (European Battery Recycling Association) près de 25% des piles et accumulateurs usagés ont été recyclés par la France. Avec l'Allemagne, la France représente le plus gros marché en termes de consommation et détient les sites de traitement les plus importants d'Europe. Selon l'Observatoire des Piles et Accumulateurs de l'ADEME, près de 185 000 tonnes de piles et accumulateurs ont été collectées en France en 2008. L'objectif de 25% de taux de collecte des piles et accumulateurs fixé par la directive européenne pour 2012 est déjà atteint pour l'exercice 2008 (28%). Toutefois il sera nécessaire d'adopter des mesures complémentaires pour pouvoir atteindre l'objectif de 45% en 2016, notamment par le renforcement de la sensibilisation des particuliers et des industriels.

La filière de recyclage des piles et accumulateurs en France bénéficie d'une forte coordination entre les principaux acteurs sous l'effet de la réglementation et est structurée autour de :

- Metteurs en marché ou producteurs : ils ont l'obligation légale de mettre en place des dispositifs permettant d'assurer l'organisation et le financement de la collecte puis le traitement et le tri des piles accumulateurs usagés en provenance des ménages.
- Acteurs de la collecte : les organismes collectifs (COREPIL et SCRELEC) qui prennent en charge pour le compte de leurs adhérents producteurs l'enlèvement et le traitement des piles et accumulateurs usagés, les autres acteurs de la collecte pour les ménages (distributeurs et collectivités locales).
- Collecteurs : ils sont sollicités pour le transport des déchets et orientent les piles et accumulateurs vers les différents sites de tri et de traitement.

- Acteurs de traitement : la France dispose en 2008 de 7 sites de prétraitement et de traitement de piles et 2 sites de tri, 2 sites de traitement des accumulateurs. La valorisation matière des piles et accumulateurs usagés doit être préférée aux autres modes d'élimination (stockage, incinération) chaque fois que les conditions techniques et économiques le permettent.
- **Recyclage des métaux rares** : la récupération des métaux rares (titane, cobalt, vanadium, molybdène) et des métaux précieux (or, argent, platine, palladium) présents dans le matériel électronique notamment est tout aussi intéressante que celle du fer ou de l'aluminium, mais elle constitue une activité coûteuse. Les métaux rares présentent des caractéristiques propres : production en faibles quantités (de quelques tonnes à 200 000 tonnes contre plus de 10 millions de tonnes pour les métaux de base), valeur élevée, importance critique pour de nombreuses filières industrielles et notamment les filières vertes puisqu'ils rentrent dans la composition des batteries, du photovoltaïque, de produits électroniques,...

Le recyclage des métaux rares et précieux revêt une importance de plus en plus considérable avec l'évolution de la conjoncture actuelle et l'augmentation du prix des matières premières : en 2009, le platine s'est apprécié de 60%, et le palladium de près de 120%. De fortes contraintes existent sur l'offre et la production de ces métaux en raison de la position quasi monopolistique de la Chine (95% de la production mondiale de terres rares) et la mise en place de quotas à l'exportation revus à la baisse chaque année. Dans ce contexte, la récupération de ces métaux présente des avantages certains, mais il importe d'analyser la rentabilité de la filière au regard des coûts de collecte, des technologies requises pour les séparer d'autres substances, et de la complexité des traitements. Des opportunités existent aujourd'hui dans une meilleure structuration de la filière de récupération et l'identification de matériaux stratégiques (tels que lithium pour les besoins des batteries) pour lesquels des efforts supplémentaires doivent être déployés.

2.5. Amélioration de la durabilité intrinsèque

L'amélioration de la durabilité intrinsèque s'inscrit dans les préoccupations plus générales d'une chimie pour le développement durable qui vise à limiter son empreinte environnementale. L'industrie chimique peut encore contribuer significativement à cet objectif grâce à un ensemble de leviers dont les plus impactants sont :

- **Les procédés** : amélioration des procédés pour réaliser des transformations moins énergivores, optimisation des réactions par l'évolution de la catalyse, réduction de la consommation d'eau, intensification des procédés avec des technologies de microfluidique, utilisation de biotechnologies (ex : catalyse enzymatique),...
- **La chimie réparatrice** : conception et mise en œuvre de produits et de procédés de dépollution permettant de traiter les émissions de Gaz à Effet de Serre et de Composés Organiques Volatils, les déchets liquides ou solides, participer à l'épuration des eaux et des sols.

2.5.1. Procédés

La recherche de la durabilité passe nécessairement par une amélioration ou une optimisation des procédés existants. La démarche d'intensification des procédés par exemple vise à augmenter l'efficacité des procédés tout en réduisant la taille des équipements et présente des bénéfices importants en termes d'environnement : réduction de la consommation d'énergie, des quantités de solvants et des rejets dans l'atmosphère et dans l'eau. De nombreuses études ont été consacrées à ce sujet au niveau universitaire, mais leur adaptation au niveau industriel n'est pas encore étendue. La

constitution d'équipes mixtes de chimistes organiciens et de chimistes du génie des procédés, avec l'apport de méthodes et d'outils puissants en matière de modélisation, contribuera efficacement à une amélioration de cette transposition.

La catalyse contribue également à l'amélioration des procédés : des évolutions sont encore possibles en termes de création de valeur pour la catalyse non enzymatique (et surtout pour la catalyse hétérogène). L'utilisation des biotechnologies blanches pour la fabrication, la transformation ou la dégradation de molécules présente aussi un potentiel d'amélioration très significatif des rendements des réactions. Si ces technologies pourraient permettre d'accomplir des économies d'énergie importantes, elles nécessitent cependant une modification radicale des infrastructures industrielles et des savoir-faire.

2.5.2. Chimie réparatrice

La lutte contre la pollution passe par la mise en œuvre de techniques permettant entre autres de réduire les émissions atmosphériques polluantes, de traiter les déchets, les eaux usées et les sols.

Le traitement des polluants gazeux dont les émissions de GES et de COV fait intervenir de nombreux procédés d'épuration : réduction chimique, neutralisation, transferts gaz-liquide et gaz-solide, stockage (CO₂),... Parmi les traitements utilisables pour réduire les émissions gazeuses, la biotechnologie présente des atouts intéressants. Plus récemment, des innovations produits portées par la chimie et reposant sur la photocatalyse ont permis de mettre en place des solutions favorisant une meilleure prise en compte de l'environnement : il s'agit par exemple des ciments aux propriétés autonettoyantes, des liants dépolluants, ...

De nombreuses solutions existent aujourd'hui pour le traitement des sites et des sols pollués, tant physiques (excavation, pompage,...), biologiques (biodégradation de polluants, utilisation de micro-organismes,...) que chimiques (injection d'oxydants pour la destruction des composés organiques, barrières réactives,...). Ces solutions trouvent toute leur importance à proximité des installations de stockage de déchets. Ainsi différents types de membranes ont été conçus (membranes géosynthétiques, polypropylène, PVC,...) de manière à prévenir la pollution des sols et des eaux souterraines des impacts du stockage. Le biogaz provenant de la fermentation des matières organiques contenues dans les déchets peut être capté et détruit par combustion complète ou transformé en énergie par valorisation. Il en est de même des « lixiviats » (ou jus de décharge) qui peuvent être collectés et traités par évaporation.

Si ces technologies ne représentent pas une nouveauté dans le secteur de la dépollution, de nouvelles solutions s'inscrivant pleinement dans une logique de développement durable sont à rechercher. Veolia a ainsi récemment développé une gamme de procédés novateurs permettant de diminuer le coût de traitement des « lixiviats » tout en produisant de l'électricité : ces procédés permettent d'utiliser la chaleur produite par les moteurs à biogaz pour traiter les lixiviats par évaporation.

2.6. Conclusion

La revue des grands facteurs de mutation et de leurs implications en termes de technologies et de mise en œuvre de nouveaux procédés montre que les impacts en termes de besoins de compétences diffèrent selon les thèmes considérés. En effet, les compétences nécessaires pour répondre aux enjeux d'intégration dans les filières aval et de durabilité intrinsèque sont en évolution avec l'existant dans l'industrie chimique. Par contre, les besoins nécessaires au développement de la chimie du végétal et du recyclage se positionnent plus dans une logique de rupture que de continuité.

3. SYNTHÈSE DES BESOINS DE COMPÉTENCES

3.1. Identification des compétences par facteur de mutation

La revue des grands thèmes par facteur de mutation réalisée dans la partie précédente fait apparaître 4 types-clefs de compétences pour lesquelles des évolutions sont prévues.

Nous avons présenté dans le tableau ci-dessous les degrés d'évolution anticipés de ces compétences qu'il conviendra de mettre en regard dans la suite avec l'existant en termes de formation. En effet, une évolution importante des compétences nécessaires pour le développement d'une filière donnée n'implique pas nécessairement que ces compétences n'existent pas à l'heure actuelle. A l'inverse, une évolution modérée des compétences vers des besoins non identifiés à l'heure actuelle peut se révéler problématique en cas d'absence de ressources qualifiées ou de difficultés de recrutement.

Caractérisation des compétences par facteur de mutation

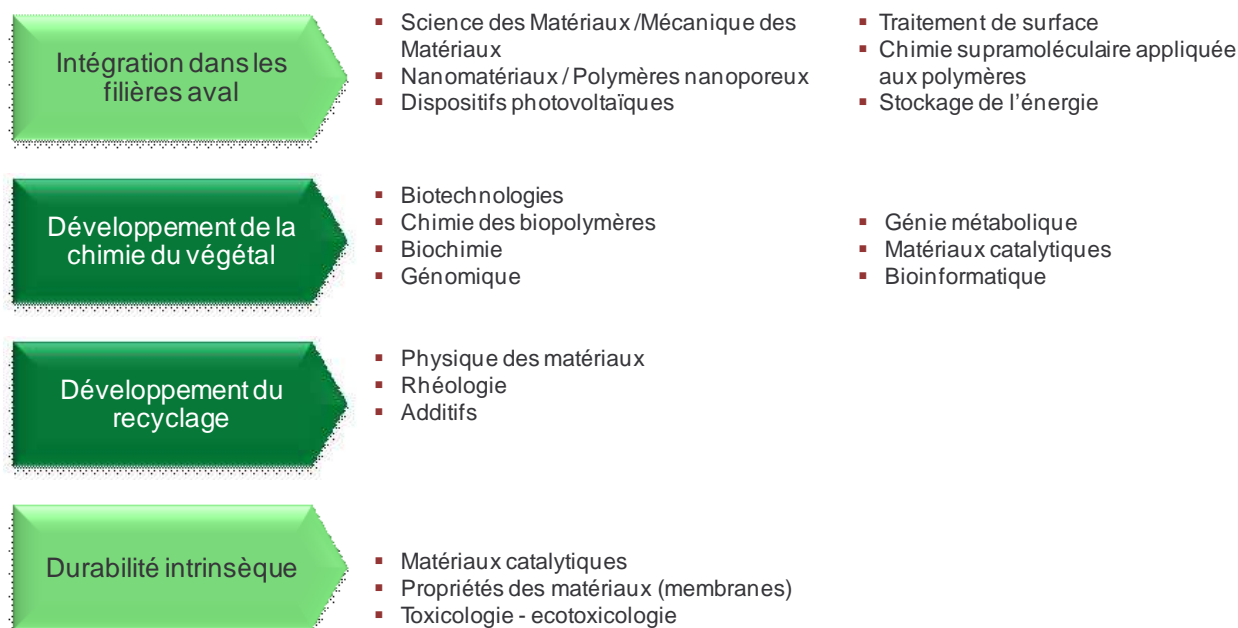
<i>Facteurs de mutation</i>	<i>Evolutions des compétences</i>			
	Recherche & Développement	Ingénierie-Procédés	Industrielles	Services
Intégration dans les filières aval				
Développement de la chimie du végétal				
Développement du recyclage				
Durabilité intrinsèque				

	Importante
	Modérée
	Faible

Nature des évolutions

3.1.1. Compétences en Recherche et Développement

Les évolutions importantes des compétences en Recherche et Développement sont liées à la nature et au caractère novateur des problématiques de chimie du végétal et de recyclage essentiellement. Les nouveaux axes de recherche sont portés par les disciplines suivantes :



Au-delà de l'apport de compétences spécifiques à la recherche, de nombreux interlocuteurs du monde académique et industriel ont mis en avant la nécessité pour les chercheurs de travailler ensemble au sein *d'équipes pluridisciplinaires*. Des compétences spécialisées en chimie ne sont plus en effet suffisantes pour appréhender la complexité des problématiques naissantes, notamment dans le cadre de la chimie du végétal. À titre d'exemple, afin de garantir la viabilité économique de molécules biosourcées, il faudra sécuriser en amont le circuit d'approvisionnement et la disponibilité des matières premières végétales. Une coopération étroite doit de ce fait s'opérer entre d'un côté les chimistes qui développent et conçoivent les biomolécules, et les agronomes de l'autre dont les recherches s'orienteront dans ce cas vers l'optimisation de la culture des matières premières (optimisation de la culture énergétique des terres arables, amélioration de la vitesse de croissance des matières premières, ...).

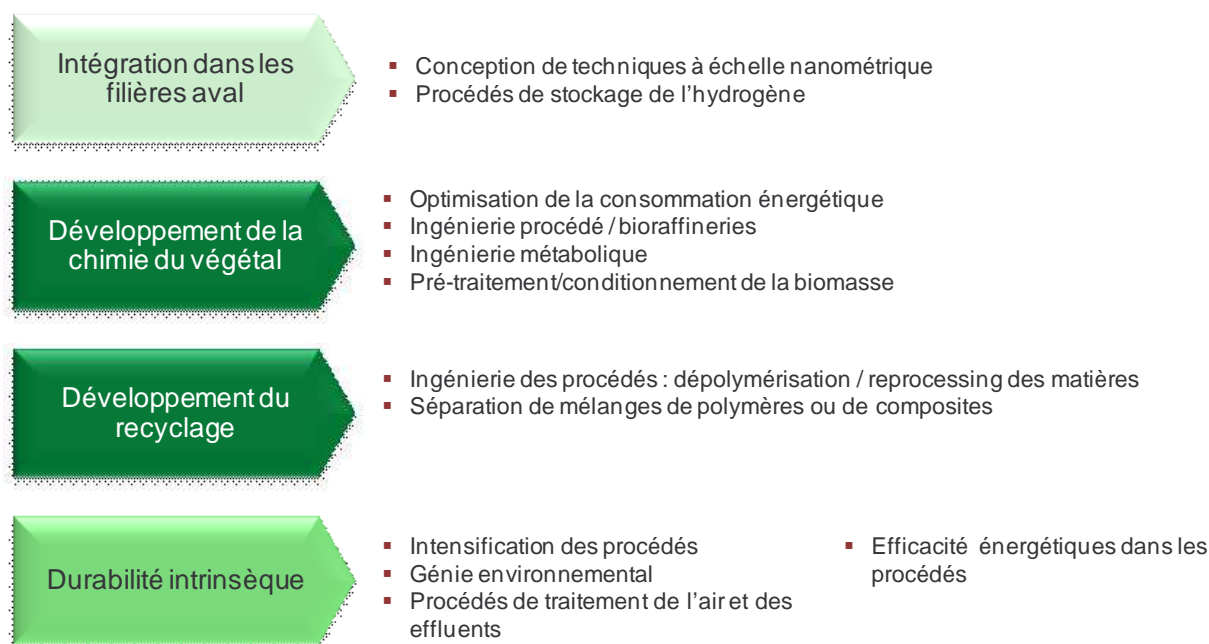
Plus spécifiquement, la conception de polymères biocompatibles pour des applications médicales ayant des propriétés spécifiques d'adhérence nécessite la coopération de biologistes (interactions avec le vivant), de chimistes (développement du matériau organique) et de physiciens des matériaux (adaptation des propriétés du polymère pour répondre aux exigences demandées). Ces équipes-projets ont le potentiel de se développer au sein de pôles de compétitivité à l'exemple d'Axelera ou de Plastipolis.

Plastipolis s'est ainsi engagé dans la voie d'une plus grande coopération avec des filières complémentaires (automobile, aéronautique) à travers l'axe de développement « éco-plasturgie » dont l'objectif est d'intégrer une démarche de développement global dans la conception, la fabrication et l'exploitation de nouveaux produits.

Il serait tout à fait envisageable de mettre en place des équipes mixtes de chercheurs et d'ingénieurs de l'industrie automobile qui travailleraient conjointement sur la conception de plastiques recyclables ou à base de matériaux recyclés. La tendance dans l'évolution de la recherche va de ce fait vers le regroupement de compétences complémentaires et une intégration de profils différents dans les projets d'innovation.

3.1.2. Compétences en Ingénierie – développement de procédés

Face aux grandes mutations anticipées de la chimie, il apparaît, suite à nos discussions avec des universitaires et des entreprises, que les besoins de nouvelles compétences en termes d'ingénierie et de procédés restent relativement modérés. Malgré la diversité des domaines, les connaissances scientifiques de base restent les mêmes : elles relèvent de la chimie, de la physique, de la mécanique des fluides et des mathématiques appliquées. Dans la plupart des thèmes d'évolution, les technologies et les compétences en ingénierie de procédés existent et sont applicables, mais il s'agit là aussi de développer la pluridisciplinarité des équipes : équipes de chimistes, biologistes et ingénieurs de procédés pour la conception de bioraffineries, équipes de spécialistes en biotechnologies et ingénieurs pour l'utilisation de microalgues dans les biocarburants,...



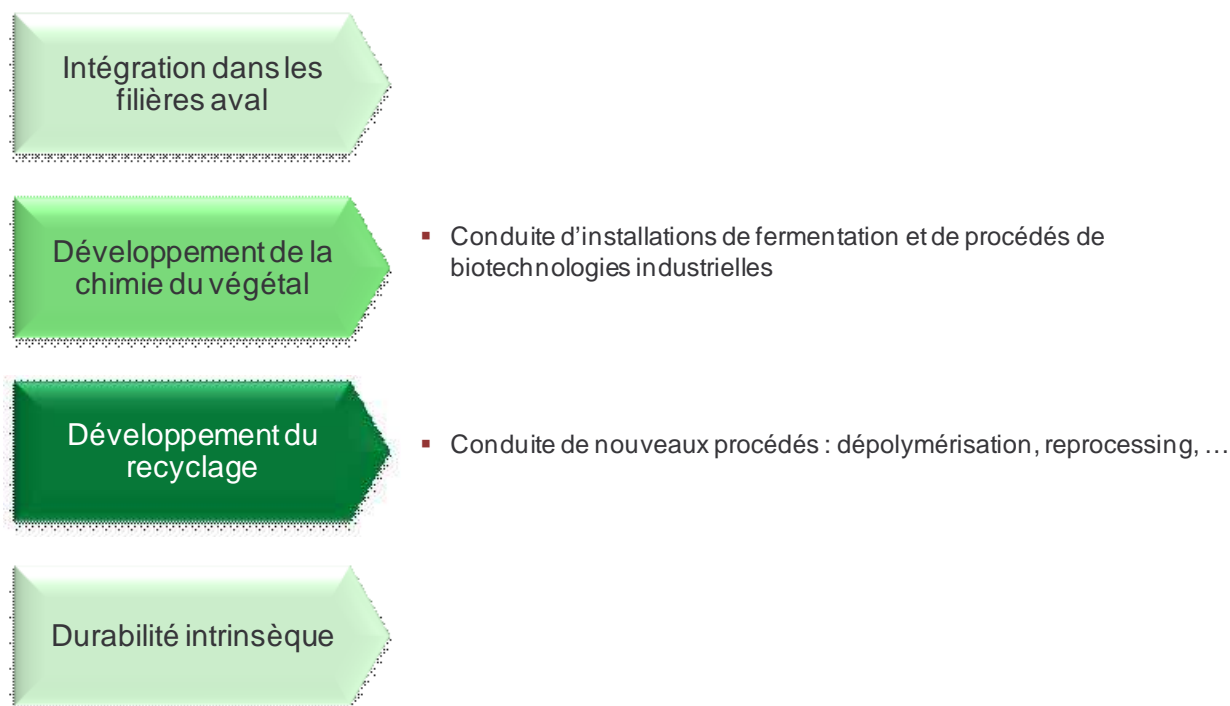
L'ingénierie des procédés étant principalement portée par la demande industrielle, l'intégration dans les filières aval conduira au développement de nouvelles niches dans lesquelles les procédés de fabrication restent inchangés. Des compétences seront par contre à développer en génie des produits pour faire face aux défis d'une économie de la fonctionnalité, en mettant en relation les fonctionnalités d'un produit à sa formule et aux techniques de fabrication.

Dans les évolutions liées au développement durable, les compétences clés concerneront les économies d'énergie et la conception de procédés moins énergivores et moins polluants, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la prévention des accidents industriels et surtout l'intensification des procédés.

Enfin, dans l'ensemble des filières requérant la mise en œuvre de nouveaux procédés de fabrication, il sera nécessaire de développer des compétences permettant d'assurer la transposition vers l'industrie des pilotes réalisés en laboratoire ou en centres de recherche.

3.1.3. Compétences Industrielles

Les nouveaux besoins de compétences industrielles liées aux sites de production concernent principalement les filières du recyclage dont la structuration reste à finaliser en vue de répondre aux contraintes réglementaires, et la conduite de nouveaux procédés (fermentation, biotechnologies industrielles). Mais globalement, les besoins de compétences de type industriel ne seront pas fondamentalement modifiés.



3.1.4. Compétences en Services

Si les compétences scientifiques et techniques permettront aux entreprises françaises de tirer profit des évolutions du secteur de la chimie, elles doivent être nécessairement articulées avec une dimension « services ».

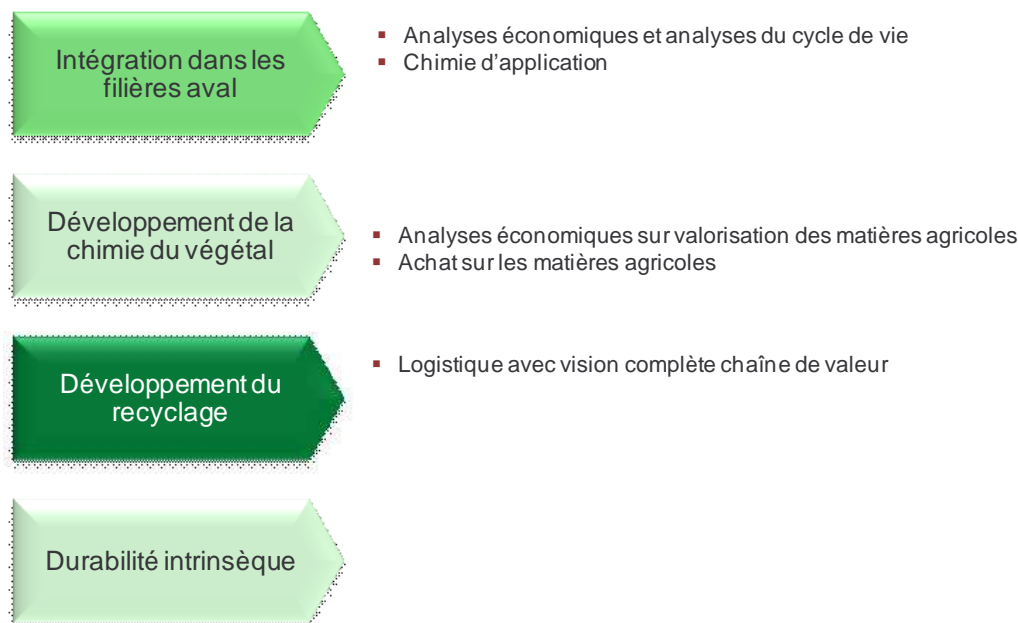
Au cours des entretiens avec des entreprises de la chimie travaillant en particulier sur les domaines des technologies émergentes et de la chimie renouvelable, le besoin de disposer de compétences mixtes a été clairement identifié : connaissances techniques permettant une bonne compréhension des produits et de leurs interactions, et compétences de vente pour la commercialisation. Les nouvelles compétences recherchées dans les entreprises de la chimie sont celles de personnes capables de comprendre les marchés aval, de capter leurs enjeux, et de pouvoir interagir avec les équipes de recherche pour la concrétisation des besoins.

L'avènement d'une économie de la fonctionnalité centrée sur le concept d'économie circulaire devra s'appuyer sur une sensibilité « marketing » dont le potentiel sera de concevoir de nouveaux services à partir de matériaux et de produits existants.

Le développement de la chimie verte verra émerger de nouvelles chaînes de valeur sur lesquelles de nouveaux acteurs devront se positionner : il sera nécessaire pour cela de disposer de ressources capables de réaliser des analyses plus systémiques et de comprendre les enjeux globaux en relation avec les modèles économiques (évolution du prix des matières premières, diversification des

approvisionnement, gestion des accords et des stocks, acheminement et transport,...). Des compétences en Logistique et Achat seront de ce fait recherchées.

Dans le recyclage, la multiplicité des acteurs intervenant dans les différentes filières nécessite le recours à des compétences de logistique (identification des points de collecte, collecte), de marketing (offres de service à destination des collectivités, des entreprises,...), de communication (mise en avant des propriétés de recyclabilité des matériaux, de leur biodégradabilité) mais aussi des connaissances en réglementation.



3.2. Synthèse et autres besoins de compétences transverses

Au-delà des compétences spécifiques relatives à chaque grand domaine de mutation, les entretiens avec des représentants du monde académique et industriel ont permis de mettre en lumière un ensemble de compétences transverses qui vont donner les orientations majeures pour les évolutions nécessaires des cursus.

3.2.1. Capacité à travailler en équipe - pluridisciplinarité

Comme évoqué précédemment, les compétences techniques liées au savoir ne peuvent véritablement s'épanouir dans un contexte d'innovation que si elles sont partagées. Des compétences comportementales sont de ce fait indispensables pour permettre d'aligner les modes de travail et les converger vers la réalisation d'un objectif commun : capacité d'innovation, de communication, de prise de décision et de motivation, ...

L'articulation autour d'équipes projets et la mise en place de groupes pluridisciplinaires constituent des piliers d'innovation importants pour l'ensemble des thèmes d'évolution concernés par notre étude.

Nos interlocuteurs ont souvent mis en avant la nécessité d'inciter les personnes à travailler ensemble, à développer un langage commun pour que des spécialistes venant d'horizons différents puissent se comprendre; à titre d'exemple, on peut citer :

- Spécialistes en chimie théorique et en informatique/modélisation pour prédire les propriétés des nouvelles molécules.
- Spécialistes en biotechnologie, en chimie, en mécanique et en physique des matériaux pour la conception de biopolymères.
- Chimistes et agrochimistes pour les problématiques liées aux agro-ressources et à leur transformation.
- Chimistes spécialistes des nanotechnologies et ONG pour les discussions relatives aux répercussions de ces matériaux sur l'environnement et la santé...

Cette pluridisciplinarité transparait dans quelques formations mixtes : ingénieur chimiste-pharmacien (ENSM Saint-Etienne) ou médecin-chercheur en sciences (Université Pierre et Marie Curie), et ne concerne pas seulement les spécialistes scientifiques. Mais plus que des formations doubles ou triples, il s'agit de transmettre aux ingénieurs et techniciens futurs la capacité à comprendre la complémentarité des disciplines et à les intégrer dans leurs réflexions et projets.

3.2.2. Capacité à développer une approche systémique

Le développement de produits novateurs dans la chimie doit s'articuler autour d'une approche systémique qui prend en compte aussi bien les effets sur la santé et l'environnement que l'existence de marchés porteurs et de ressources suffisantes. En effet, la chaîne allant de la conception des produits jusqu'à leur commercialisation comporte plusieurs étapes : choix des matières premières, choix de réactions et de procédés à consommation énergétique réduite et avec le moins de rejets, choix des formulations, contrôles analytiques, connaissance des réglementations,...

Il importe de ce fait d'avoir une vision globale de l'ensemble des facteurs déterminant les choix et leurs implications. Cette compétence transverse sera de plus en plus valorisée au sein des entreprises de la chimie qui doivent répondre à des enjeux sociétaux, environnementaux et concurrentiels.

Des établissements d'enseignement ont développé déjà des formations dont l'objectif est de développer une compréhension globale des enjeux scientifiques, environnementaux et sociétaux actuels. Nous citerons à titre d'illustration le cas d'AgroParisTech qui a complètement revu son offre de formation à la rentrée 2010 notamment dans le cursus initial. Selon le directeur de l'École, ce cursus vise désormais à former des ingénieurs « possédant une vision systémique, globale et de long terme » et à leur apporter une ouverture sur les grands enjeux de la société : l'environnement, la santé, la transformation des produits et la gestion des ressources.

3.2.3. Toxicologie / Écotoxicologie

Pour répondre aux enjeux de durabilité, les entreprises de la chimie devront concevoir des procédés et des technologies qui prennent en compte les dimensions énergétiques (consommation, pollution), économiques et environnementales. Plus précisément, la mise en application de la réglementation REACH nécessitera le recours à de nouvelles compétences dans les domaines de la toxicologie et de l'écotoxicologie. L'évaluation de la toxicité des produits dès la conception au niveau des producteurs est en fait une discipline relativement récente pour laquelle des besoins sont d'ores et déjà exprimés.

Les industriels sollicitent en effet souvent les écoles de chimie pour s'assurer que les formations dans ces disciplines sont suffisantes. À l'heure actuelle, la plupart des établissements ont incorporé dans leurs programmes des modules d'écotoxicologie. L'objectif de ces modules est de présenter les bases de cette science et de consolider les acquis par des mises en situation dans le cadre de travaux

pratiques. Des formations plus poussées ont par ailleurs été développées : le Master Toxicologie, Environnement, Santé de l'UTC Compiègne et le Master Recherche spécialité Ecotoxicité-Biodiversité de l'université Paul Verlaine de Metz.

3.2.4. Les méthodes analytiques et en particulier l'analyse du Cycle de Vie

Les méthodes analytiques appliquées à la chimie sont de plus en plus importantes pour évaluer l'impact des nouveaux produits ou procédés développés : impact environnemental, sécurité, énergétique, économique, ... les futurs ingénieurs et techniciens devront mieux maîtriser ces méthodes qui sont aujourd'hui trop peu enseignées dans les écoles françaises. Le nombre de données en conception, en développement, en génie des procédés ou en analyse a posteriori augmentent très significativement. Il est nécessaire soit de disposer de spécialistes d'interprétation de ces données soit de former tous les ingénieurs et techniciens à la manipulation de telles données.

À ce titre, l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), méthode d'évaluation environnementale se retrouve au cœur de la chimie nouvelle. À partir d'une connaissance plus fine des impacts liés à la composition, la fabrication, l'utilisation et la fin de vie des produits, les entreprises de la chimie peuvent appréhender les problématiques environnementales et sociétales sur toute la durée de vie de leurs produits.

L'Analyse du Cycle de Vie trouve sa place dans les évolutions futures du secteur de la chimie :

- Dans le rapprochement avec les filières aval et la chimie du végétal : pour l'évaluation des nouveaux produits au cours d'une démarche d'écoconception.
- Dans le recyclage : pour l'évaluation des filières de traitement de déchets par exemple.
- Dans le développement des concepts de durabilité : pour approfondir les connaissances sur les rejets et les impacts environnementaux.

Les compétences en ACV seront fortement recherchées dans tous les secteurs de la chimie, or la France est en retard sur ce domaine tant du point de vue de l'harmonisation des méthodes que du point de vue de leur enseignement. Des masters spécialisés pourraient être envisagés sur ces sujets compte tenu de l'ampleur des besoins identifiés et de l'enjeu pour le positionnement futur des produits chimiques « français ».

3.2.5. Modélisation/ informatique

La bioinformatique est un domaine porteur, notamment dans le contexte du développement des biotechnologies, car elle permet de modéliser les modifications des souches et les séquences du génome.

Comme cela a été indiqué plus haut, la quantité de données à traiter devient de plus en plus importante. La modélisation joue un rôle majeur pour mesurer et prévoir les propriétés de nouveaux matériaux, leurs interactions, la diffusion de produits polluants dans l'atmosphère ou même les impacts du stockage des déchets. Ces compétences doivent être développées plutôt au sein de cursus existants en chimie sous forme de spécialités. Les moyens de modélisation doivent aussi être mis en commun au sein des pôles de compétitivité en entreprises et laboratoires de recherche pour augmenter sérieusement les puissances disponibles.

3.2.6. Connaissances applicatives

Le développement de nouvelles applications de la chimie nécessite une compréhension pointue des marchés et des caractéristiques des filières concernées par l'arrivée de nouveaux produits.

Les enjeux de codéveloppement de produits avec les filières automobiles ou aéronautiques par exemple militent vers une meilleure compréhension des applications et de la mise en œuvre des produits ou matériaux issus de la chimie. Ici aussi on peut envisager des formations spécialisées sur

certaines applications (par exemple : plasturgie, matériaux pour l'automobile, ...) mais au-delà de ces quelques cas de formations spécialisées, il s'agit surtout de développer les connaissances applicatives dans les formations généralistes.

3.2.7. Langues

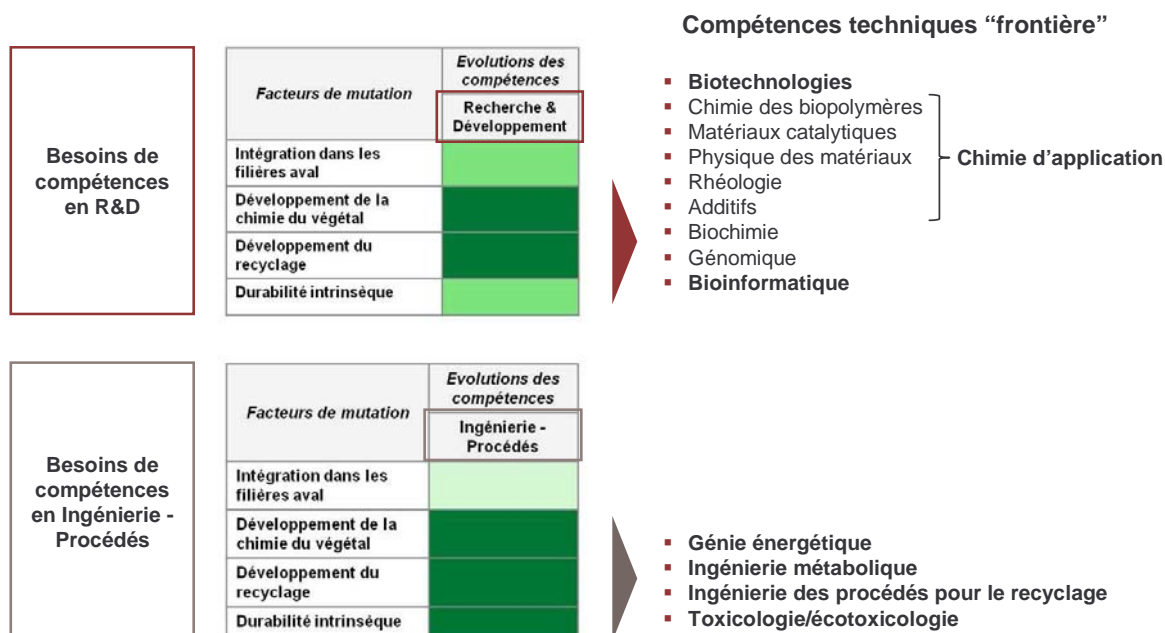
Les compétences en langues sont aujourd'hui devenues incontournables dans la chimie, notamment pour les métiers les plus qualifiés comme le confirme par ailleurs le rapport du CEP des industries chimiques. Dans une logique d'ouverture des marchés, la connaissance d'une langue supplémentaire (l'anglais ou le mandarin typiquement) constitue un avantage compétitif pour les candidats et peut se révéler d'une importance stratégique pour les entreprises dans leur communication vis-à-vis des autorités étrangères ou de leurs partenaires locaux.

3.3. Synthèse des besoins de compétences et écarts par rapport à l'offre de formation

Les besoins de compétences les plus importants concernent des besoins techniques spécifiques à une mutation donnée (e.g. ingénierie métabolique ou ingénierie des procédés de recyclage) et des besoins techniques de nature transverse, dans le sens où ils correspondent à plusieurs mutations, à plusieurs segments de l'industrie ou à plusieurs étapes de la chaîne de valeur (e.g. : biotechnologie/biochimie, bioinformatique, chimie d'application, toxicologie/écotoxicologie, génie énergétique). Nous avons qualifié ces besoins de besoins techniques « frontières » car ils ne relèvent généralement pas des techniques de chimie scientifique classiques mais de techniques connexes qu'il est indispensable de combiner avec les techniques chimiques dans le cadre des mutations anticipées.

ATKEARNEY

Les principaux besoins touchent des compétences techniques « frontière »



Mission d'expertise sur les mutations économiques dans le domaine de la chimie - Compétences

14

D'autres besoins de nature transverse sont également apparus comme particulièrement importants. Il s'agit en particulier des besoins sur les techniques analytiques : métrologie, chimie analytique, analyse du cycle de vie, modélisation/simulation et des besoins sur des compétences transverses générales : enjeux systémiques, langues, mode projet.

Pour la plupart des besoins de compétences identifiées il existe des cursus de formation capables de répondre aux besoins. Toutefois de l'avis des acteurs et à partir de l'analyse des formations existantes (voir analyse détaillée en annexe et dans les planches de présentation), nous avons identifié les domaines/disciplines prioritaires qui nécessitent :

- soit un effort de focalisation, de renforcement ou de lisibilité externe des cursus existant sur les domaines identifiés, comme porteur pour la chimie : e.g. biotech/chimie, chimie du végétal, polymères, catalyse,
- soit un effort d'intégration de certains domaines /disciplines au titre de sensibilisation et formation de type « culturelle » que ce soit pour les formations techniques « frontières » de la chimie (e.g. toxicologie, biotechnologie, nanotechnologies, ...) ou les formations analytiques (e.g. : métrologie, chimie analytique, ACV, modélisation, ...).
- soit la création de filières de formation spécialisées sur des compétences techniques et analytiques critiques pour accompagner les mutations de la chimie et mal couvertes aujourd'hui : toxicologie /écotoxicologie, modélisation pour la chimie, analyse du cycle de vie.

4. RECOMMANDATIONS

- **Encourager la focalisation et la lisibilité des pôles de compétence intégrant formation de base, spécialisation et formation continue sur les domaines porteurs de la chimie**
 - Renforcer les offres de formation sur les domaines de spécialité au sein de chaque pôle
 - Créer des masses critiques « régionales » sur certaines spécialités phares (eg biotech /chimie, polymères, catalyse, chimie du végétal, recyclage, ...)
- **Renforcer la formation de sensibilisation sur les compétences techniques « frontières » de la chimie, les compétences analytiques et certaines compétences transverses générales, au sein des cursus classiques de formation de la chimie**
 - Compétences techniques « frontières » : biotechnologies, bioinformatique, toxicologie, chimie d'application, nanotech, ...
 - Compétences analytiques : métrologie, chimie analytique, modélisation, analyse du cycle de vie
 - Compétences transverses générales : langues, mode projet, analyse systémique, normalisation et qualité
- **Créer des cursus de formation spécialisés, soit via masters, soit via double cursus sur les compétences les plus critiques pour l'accompagnement des mutations**
 - Biotech / chimie
 - Analyse du cycle de vie
 - Modélisation pour la chimie
 - Toxicologie et écotoxicologie
- **Renforcer les liens entre établissements de formation et industrie, notamment sur les sujets de biotechnologie industrielle et de recyclage des plastiques**
 - Renforcer la partie enseignement des pôles de compétitivité
 - Développer les formations en alternance et les tutorats ; encourager les entreprises de la chimie à appuyer les formations en apprentissage
 - Renforcer les plates-formes de projets collaboratifs avec des moyens de modélisation et la mise en commun de compétences
 - Faire témoigner les entreprises notamment sur les nouvelles mutations comme le recyclage pour valoriser les nouveaux métiers
- **Communiquer sur le lien chimie et développement durable pour améliorer l'attractivité des cursus chimiques auprès des étudiants.**

5. ANNEXES

5.1. Les formations existantes

Il existe aujourd'hui 3 schémas de formation pour les métiers de l'industrie chimique liés à la nature des métiers et des débouchés :

- Les métiers d'opérateurs sont accessibles suite à un CAP, un BEP ou un Baccalauréat Professionnel. Le Baccalauréat technologique oriente plus les étudiants vers la poursuite des formations, et notamment les BTS et les DUT.
- Les techniciens sont formés par des DUT, BTS ou Licences professionnelles.
- Les métiers d'ingénieurs ou de cadres sont réservés aux titulaires de Master et IUP, aux diplômés d'écoles d'ingénieurs et de doctorants.

Le **CAP (Certificat d'Aptitudes Professionnelles)** donne une qualification d'ouvrier ou d'employé qualifié dans un métier donné et se prépare soit par la formation initiale en lycée professionnel ou en alternance école-entreprise, soit par la formation professionnelle continue. Le CAP peut également s'obtenir par la Validation des Acquis de l'Expérience (VAE). Il s'agit d'un diplôme spécialisé ayant pour objectif d'apporter une qualification professionnelle suffisante pour permettre une intégration rapide dans le marché du travail. Il existe aujourd'hui environ 200 spécialités de CAP dans les secteurs commerciaux, industriels et de services. À ce jour, les formations en CAP les plus pertinentes pour un choix d'orientation en chimie sont les suivantes :

- **CAP Industries chimiques** : forme des professionnels pour travailler dans les usines industrielles du secteur chimique, électrochimique, etc. Le titulaire de ce CAP contrôle la production (qualité, rendement), conduit les appareils conformément aux règles environnementales d'hygiène et de sécurité.
- **CAP Employé technique de laboratoire** : forme des techniciens compétents pour travailler au sein des laboratoires chimiques, agroalimentaires,... Le technicien de laboratoire intervient auprès des professionnels dans la réalisation d'expériences et l'observation des résultats, et assure l'entretien des outils et du matériel ayant servi lors des tests.
- **CAP Conduite de Systèmes Industriels**, avec les options suivantes de spécialisation : Agroalimentaire, fabrication-assemblage, production en industries textiles, production et transformation des métaux, papier-carton.

Le **BEP (Brevet d'Études Professionnelles)** est un diplôme obtenu en 2 ans qui atteste l'acquisition de compétences professionnelles et donne une qualification d'ouvrier ou d'employé qualifié. Depuis la rentrée 2008, et en raison de la réforme de la voie professionnelle, le BEP dans sa forme actuelle est en cours de rénovation. Il devient une certification intermédiaire dans le processus de formation vers le baccalauréat professionnel (validation du BEP à la fin de la 1^{ère} professionnelle). Seules 4 spécialités perdurent pour le moment en tant que BEP.

Le **Baccalauréat Professionnel** se prépare en 3 ans à partir de la 3^{ème} depuis 2009 et peut s'obtenir par la voie scolaire, par l'apprentissage, par la formation professionnelle continue destinée à des adultes engagés dans la voie professionnelle, ou par la Validation des Acquis de l'Expérience (VAE). Cette validation se fait après 3 ans d'activités professionnelles dans un emploi où le domaine professionnel est en rapport avec la finalité du diplôme visé. Le baccalauréat professionnel comprend 75 spécialités, celles permettant une intégration dans le secteur des industries chimiques étant principalement :

- **Bioindustries de transformation** : ce baccalauréat est destiné à former des opérateurs de fabrication pour les bioindustries (industries agroalimentaires, cosmétiques, pharmaceutiques). Les principales fonctions pour lesquelles les opérateurs sont formés comprennent :
 - La conduite d'une ligne de fabrication ou de conditionnement automatisée ou semi-automatisée
 - L'organisation et la coordination des activités d'un segment de production
 - Les contrôles sur un segment de production dans le cadre d'un système d'assurance-qualité
 - La maintenance des moyens de production
 - L'animation d'équipes et la communication vers les autres services.
- **Hygiène et environnement** : ce diplôme se déroule pour partie en milieu professionnel et est destiné à former des responsables de chantiers d'assainissement, de nettoyage, de nettoyage industriel et de décontamination biologique et chimique. Les principaux secteurs d'activité concernés par cette formation sont :
 - La maintenance et l'hygiène des locaux domestiques, commerciaux et administratifs
 - La maintenance et l'hygiène des locaux, des installations, et des matériels dans les zones à risques et les zones protégées
 - La maintenance des réseaux de collecte, de stockage, et d'évacuation des eaux et des déchets
 - Le nettoyage d'installations industrielles et pétrolières
 - La collecte des déchets industriels pompables, polluants, toxiques, corrosifs
 - La propreté urbaine et rurale.
- **Industrie de procédés** : cette formation répond à un besoin exprimé de recrutement des entreprises pour les conducteurs d'installation, les techniciens et opérateurs de fabrication. Elle permet de développer des connaissances en chimie et génie chimique, ainsi qu'en conduite d'installations pilotées. Le titulaire peut exercer son activité dans les industries utilisant des procédés de fabrication physico-chimiques, et notamment les industries chimiques, la pétrochimie, l'agroalimentaire, les entreprises de fabrication de ciments, peintures, verres, ... Les activités principales des titulaires de cette formation consistent à :
 - Conduire et surveiller les installations de production
 - Produire dans des conditions optimales de qualité, de sécurité et de coût
 - S'adapter aux évolutions des procédés et techniques pour améliorer le processus de production
 - Effectuer des interventions de maintenance de premier niveau et détecter les dysfonctionnements
- **Maintenance des équipements industriels** : ce baccalauréat professionnel forme des techniciens qui interviennent sur les parties opératives et sur les commandes des installations, et évoluent au sein du service maintenance des entreprises. Les activités principales des techniciens consistent à :
 - Réaliser la maintenance préventive et corrective des biens à caractère industriel
 - Participer à la modification et à l'amélioration des équipements

- Participer à l'installation et la mise en service de nouveaux équipements
- **Pilotage de systèmes de production automatisée** : l'objectif de cette formation est de préparer à la conduite et à la gestion d'installations industrielles dans des secteurs tels que l'automobile, la sidérurgie, mais aussi la parachimie et la pharmacie. À l'issue de cette formation, les bacheliers seront capables d'assurer la gestion d'une ligne de fabrication dotée de plusieurs postes de travail, le conseil technique vis-à-vis des opérateurs et la maintenance de premier niveau, et de participer à l'amélioration de la qualité des produits et de la fiabilité des installations.
- **Plastiques et composites** : les titulaires de ce baccalauréat sont des techniciens chargés de réaliser une production ou une fabrication dans une famille de matériaux parmi les thermoplastiques ou les composites. Les principales fonctions des techniciens encadrés par un responsable de production ou un chef d'atelier sont les suivantes :
 - Pilotage d'une zone de production
 - Participation à l'amélioration de la production et de la qualité
 - Prévention des risques professionnels et environnementaux
 - Animation de l'équipe de production
 - Communication vers les autres services

Le Baccalauréat Technologique se prépare en 2 ans dans un lycée, soit après une classe de 2^{nde} générale et technologique, soit à l'issue d'un BEP. Cette formation oriente plus vers la poursuite des études que vers l'emploi immédiat. En effet, la majorité des bacheliers s'oriente vers des diplômes de techniciens supérieurs (DUT, BTS), complétés éventuellement par des licences professionnelles. Deux séries sont particulièrement adaptées pour les métiers de la chimie :

- La série STL (Sciences et Technologies de Laboratoire) dans les spécialités : Chimie de laboratoire et de procédés industriels, Physique de laboratoire et de procédés industriels, Biochimie-Génie biologique.
- La série STI (Sciences et Techniques Industrielles) dans la spécialité Génie des matériaux.

Le **Brevet de Technicien Supérieur (BTS)** est une formation permettant d'obtenir un diplôme professionnalisé en 2 ans après un baccalauréat ou équivalent, soit en formation initiale, soit en apprentissage ou alors en formation continue. Ses titulaires ont les qualifications nécessaires pour exercer une fonction de technicien supérieur dans les professions industrielles et commerciales ainsi que dans les activités de service. Ils peuvent aussi choisir de poursuivre leurs études : licences professionnelles, DEUG, IUP et Écoles d'ingénieurs.

Les spécialités de BTS existent dans tous les domaines, on en comptait 106 à la rentrée 2009. Dans le contexte de notre étude et en prenant en compte les grandes évolutions de l'industrie chimique, nous avons retenu 12 spécialités de BTS qui répondent tant par la nature des programmes que par les débouchés aux enjeux de mutation du secteur. Nous présenterons dans ce qui suit les principaux emplois concernés par ces formations :

- BTS Bioanalyses et contrôle : techniciens des laboratoires d'études, d'analyses et de contrôles biochimiques et biologiques.
- BTS Biotechnologies : assistant/collaborateur d'ingénieur ou de chercheur (production ou recherche et développement) dans le domaine des biotechnologies.
- BTS Chimiste : technicien supérieur en chimie, collaborateur d'ingénieur chimiste, technicien de laboratoire de recherche, technico-commercial.

- BTS Hygiène-Propreté-Environnement : responsable de site, adjoint de responsable de services généraux en milieu industriel, sanitaire et urbain.
- BTS Industries Plastiques (Europlastic) : responsable d'un îlot de production (moyennes et grandes entreprises), coordinateur et responsable de l'atelier de production (petites entreprises).
- BTS Maintenance Industrielle : technicien supérieur en charge de la maintenance des équipements industriels de production et de service (dans la pétrochimie, la sidérurgie, ...).
- BTS Mécanique et Automatismes Industriels : technicien de conception de matériels de production automatisée, technicien de maintenance.
- BTS Métiers de l'eau : spécialiste du traitement des eaux (distribution, assainissement, épuration), collaborateur des ingénieurs.
- BTS Peintures, Encres et Adhésifs : technicien en formulation, en fabrication de nouvelles molécules.

Selon le chef des travaux du lycée de l'Escaut : « Fabriquer des molécules nouvelles, on sait le faire. Aujourd'hui ce que les industries attendent, ce sont des techniciens capables de fabriquer des cocktails de molécules. Une peinture, c'est 40 à 50 substances différentes. Le titulaire de ce BTS doit pouvoir jouer sur la tenue de la couleur, la tenue sur le support, la résistance aux agressions extérieures. Il doit pouvoir intervenir sur toute la chaîne avec une dimension particulière : savoir analyser la problématique d'un client »

- BTS Qualité dans les industries alimentaires et les bioindustries : responsable du contrôle de la qualité dans les industries alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques et les bioindustries, technicien animateur qualité, technicien de laboratoire des industries agroalimentaires.
- BTS Techniques Physiques pour l'industrie et le laboratoire : technicien de contrôle, technicien de laboratoire.
- BTS Contrôle Industriel et régulation automatique : technicien de contrôle/de fabrication, technicien de maintenance, technicien d'optimisation process, technicien de production des industries de process,...

Au même titre que le BTS, le **Diplôme Universitaire de Technologie (DUT)** est une formation professionnalisée en 2 ans accessible suite à un baccalauréat ou équivalent et qui prépare à des fonctions d'encadrement technique et professionnel dans le secteur industriel entre autres.

L'enseignement est assuré dans 24 spécialités dont 15 relèvent du secteur de la production et 9 du secteur des services. Les domaines de spécialité dont les débouchés sont le plus susceptibles de se retrouver dans les industries chimiques sont les suivants :

- Chimie : formation de techniciens supérieurs, collaborateurs directs de l'ingénieur ou du chercheur dans tous les domaines d'application de la chimie et des industries (recherche, développement, production, analyse, contrôle).
- Génie biologique, options : agronomie, analyses biologiques et biochimiques, génie de l'environnement, industries alimentaires et biologiques.
- Génie chimique – génie des procédés : formation d'agents de maîtrise, techniciens de production, chefs de poste en fabrication, technicien supérieur en recherche-développement, technicien supérieur en bureau d'études-ingénierie, dans les services de maintenance et de support technique, agent technico-commercial.

- Hygiène-Sécurité-Environnement : formation de techniciens capables d'appréhender les différents aspects de la gestion des risques, la prévention de la santé-sécurité du travail et de la protection de l'environnement.
- Mesures physiques : formation de techniciens supérieurs en instrumentation (tests, essais, R&D,...), en contrôle industriel et en métrologie ayant un large spectre de compétences dans les métiers de la physique, de l'électronique, de la chimie et des matériaux.
- Qualité, logistique industrielle et organisation : formation de techniciens supérieurs pour des métiers liés à la maîtrise des flux, spécialisés en logistique industrielle ou en qualité.
- Science et génie des matériaux : formation pluridisciplinaire et généraliste de techniciens pouvant répondre aux nouveaux besoins nés de l'évolution contemporaine des matériaux par la conception de nouveaux produits et la maîtrise du procédé de mise en œuvre.

La **Licence Professionnelle** est un diplôme de niveau Bac+3 mis en place en partenariat avec les entreprises et les branches professionnelles, qui se prépare en 1 an. Elle répond à la demande de nouvelles qualifications, entre le niveau technicien supérieur et l'ingénieur-cadre supérieur.

Parmi les licences professionnelles les plus adaptées au secteur des industries chimiques, nous citerons (liste non exhaustive des licences professionnelles à la rentrée 2008) :

- Technologies de mise en œuvre, conception et assemblage des structures composites (Bordeaux).
- Biotechnologies : études moléculaires, cellulaires et intégrées des molécules bioactives (Clermont-Ferrand).
- Qualité-Sécurité-Environnement pour les Industries chimiques (Clermont-Ferrand).
- Métiers de la chimie organique : synthèse et analyse; métiers de la chimie de formulation ; métiers de la chimie des polymères ; métiers de la biotechnologie (Paris).
- Microbiologie industrielle et biotechnologie (Paris).
- Bioinformatique : traitement de données génomiques (Perpignan).
- Chimie agroindustrielle : valorisation non alimentaire des produits agricoles (Toulouse).
- Génie de la formulation (Toulouse).
- Traitement et valorisation des déchets industriels (Toulouse).

Le **Master** est un diplôme qui se prépare en 2 ans à l'issue de la licence et correspond à un Bac+5. Nous distinguerons les Master recherche qui ont vocation à préparer les étudiants via les études doctorales à la recherche, et les Master professionnels qui mènent à une qualification et une insertion professionnelle de haut niveau. Par ailleurs, les titulaires de maîtrise d'instituts universitaires professionnalisés (IUT) peuvent trouver leur place dans la nouvelle organisation LMD en validant leur diplôme et intégrant la deuxième année de Master (M2).

Exemples de Master professionnels pour les débouchés en chimie :

- Master pro Sciences, technologies, santé mention biochimie spécialité ingénierie biochimique et biotechnologies.
- Master pro Sciences, technologies, santé mention chimie et matériaux spécialité matériaux organiques nanostructures et durabilité.
- Master pro Sciences, technologies, santé mention chimie et procédés spécialité polymères pour technologies avancées.

Exemples de Master de recherche :

- Master recherche Sciences, technologies, santé mention chimie, contrôle et protection de l'environnement: spécialité biomolécules, catalyse et environnement.
- Master recherche Sciences, technologies, santé mention chimie et applications: spécialité chimie et procédés.
- Master recherche Sciences, technologies, santé mention chimie spécialité analyse et contrôle : des biomolécules aux produits industriels.
- Master recherche Sciences, technologies, santé mention génie des matériaux spécialité polymères fonctionnels.

Écoles d'ingénieurs

Les **Écoles d'Ingénieurs** préparent à un diplôme de niveau Bac+5. Dans le cadre d'études en chimie, ces écoles peuvent selon leur nature dispenser des formations généralistes ou spécialisées.

Nous distinguerons pour cela :

- Les écoles de la Fédération Gay-Lussac : la fédération regroupe 19 écoles de chimie et de génie chimique réparties sur l'ensemble du territoire national. Ces écoles recrutent par concours ou par admission sur titre :
 - Niveau Bac : admission sur dossier ou sur concours suivant les écoles.
 - Niveau Bac+2 : admission sur concours pour les étudiants des Classes Préparatoires aux Grandes Écoles, admission sur titre pour les titulaires de DUT ou de BTS.
 - Niveau Bac+3 : pour les titulaires de licences en sciences et technologies, candidature pour admission sur titre ou par concours («Concours national DEUG » pour certaines écoles).

La fédération recense en 2009 près de 6 000 élèves-ingénieurs en formation et 1 600 diplômés par an. Parmi ces diplômés, plus de la moitié occuperont des fonctions en relation avec la Recherche et le Développement, 20% s'orienteront vers le domaine de la production et près de 17% vers les études et le conseil.

- Les écoles généralistes (École Centrale de Lille, École Nationale Supérieure de Techniques Avancées, École Nationale Supérieure des techniques industrielles et des mines d'Albi, ...) qui proposent des options ou des filières propres à la chimie
- Les écoles d'application (École Nationale Supérieure du Pétrole et des Moteurs, École Nationale Supérieure de Céramique Industrielle, École Supérieure des Industries du Caoutchouc,...) qui proposent aux ingénieurs des spécialisations dans les domaines de la chimie

Les **doctorats** se préparent en général en 3 ans à l'issue du cursus Master (voie recherche ou voie professionnelle, ou pour les titulaires de diplômes d'ingénieur) et correspondent à un diplôme Bac+8. La formation s'effectue au sein d'écoles doctorales accréditées, rattachées aux établissements d'enseignement supérieur.

5.2. Compétences détaillées par thème d'évolution

5.2.1. Intégration de la chimie dans les filières aval

Nous développerons dans les paragraphes suivants un état des lieux des compétences sur les thématiques pour lesquelles des efforts supplémentaires doivent être déployés notamment en recherche. À ce stade, nous avons identifié de manière préliminaire les principaux axes de recherche par nouvelle opportunité ainsi que les compétences techniques généralistes qui seraient utiles pour le développement de ces opportunités. Nous avons prévu dans le cadre de cette étude de rencontrer prochainement des représentants du monde industriel, tant au niveau des PME que des grandes entreprises, ce qui nous permettra d'affiner notre compréhension, d'identifier les compétences manquantes en France aujourd'hui et de compléter les analyses existantes ci-dessous :

A. **Composites** : le développement des **matériaux composites** trouve des applications dans le domaine de la construction, de l'automobile, de l'aéronautique et de la construction. Ces matériaux composés d'une matrice (généralement une résine thermoplastique ou thermodurcissable), et de renforts (fibres minérales, naturelles ou synthétiques) allient haute performance et légèreté. Ils permettent ainsi d'améliorer l'isolation thermique et phonique de bâtiments, ou encore de réduire le poids et donc l'énergie nécessaire des moyens de transport sans nuire à la sécurité.

Les efforts d'innovation notamment dans l'aéronautique portent aujourd'hui sur de nouvelles générations de matériaux composites : les matériaux à matrice thermoplastique en alternative aux matériaux thermodurcissables. L'objectif de ces travaux étant d'améliorer les propriétés de conductivité électriques et thermiques de ces composites ainsi que leurs caractéristiques mécaniques pour une meilleure isolation acoustique. L'industrie aéronautique a exprimé le besoin de faire de la technologie des thermoplastiques une solution industrielle compétitive permettant une production à cadence élevée de pièces de grande et de petite taille.

- **Recherche** : la recherche concernera l'amélioration des propriétés des composites (en termes de conductivité et d'isolation acoustique entre autres pour les besoins de l'aéronautique), et sur les nouveaux types de thermoplastiques (alliages thermoplastiques, matériaux multiaxiaux, collages, ...). À ce titre, des compétences en Science des matériaux ou Mécanique des matériaux seront nécessaires pour les équipes en charge des projets de recherche. Ces équipes devront démontrer des aptitudes en méthodes expérimentales, des compétences en modélisation/simulation en mécanique du solide.
- **Procédés** : l'utilisation des composites dans les applications industrielles nécessite d'étudier les procédés permettant de leur fournir les propriétés adaptées aux différents usages (exemple des projets INMAT et INMAT2 développés au sein du pôle de compétitivité Aerospace Valley et en collaboration avec nombre de centres de recherche et de partenaires industriels : Airbus, EADS, Hutchinson, ...). Par ailleurs, les technologies d'usinage et surtout les outils de coupe doivent s'adapter au développement industriel de ces nouveaux matériaux, d'où la nécessité de développer des connaissances sur le procédé, la géométrie et le revêtement de l'outil. Cette problématique industrielle impactant le coût et la cadence de production est ainsi au cœur des travaux du projet U2MI (Usinage Multi-Matériaux & Innovation) de l'Aerospace Valley. Les compétences qu'il sera nécessaire de développer dans ce sens reposent sur les connaissances en Ingénierie des procédés portées sur des thématiques de modélisation et de mise en œuvre de méthodes d'optimisation.

- **Technique/Exploitation** : les avancées technologiques qui permettront de mettre en place des techniques de production innovantes et compétitives devront s'appuyer sur un ensemble de moyens industriels (machines, outillages, assemblage, ...) dont la mise à disposition, le contrôle et l'optimisation requièrent des compétences de techniciens.
- **Compétences « comportementales »** : les équipes de recherche devront développer un sens pratique leur permettant de réaliser, de comprendre et d'interpréter les essais expérimentaux. Ils devront faire preuve d'un esprit de synthèse et une aptitude à la communication en relation avec les réunions d'avancement du projet. Le thème des composites étant traité en collaboration étroite avec des industriels (avionneurs, équipementiers, ...), des centres de recherche et des laboratoires, les profils considérés sur l'ensemble des fonctions devront être en mesure de travailler ensemble au sein d'équipes pluridisciplinaires.

B. **Isolants thermiques/phoniques** : le développement de nouveaux **isolants thermiques** comme les polymères nanoporeux répond à une demande croissante pour limiter le gaspillage d'énergie et donc préserver l'environnement. Ces isolants sont fortement recherchés dans la construction de bâtiments « économiques » en énergie. Par ailleurs, la conception de matériaux composites à titre d'**isolants phoniques** permettant de réfléchir totalement les ondes ultrasonores ou le son peut trouver nombre d'applications dans la construction et l'aéronautique notamment pour obtenir une isolation thermique efficace dans un souci d'éviter le gaspillage énergétique.

Dans la construction, Placo, fournisseur de solutions d'aménagement pour l'intérieur, a conçu avec la collaboration de Saint-Gobain Glass une gamme de produits à hautes performances acoustiques (technologie brevetée) qui reposent sur des procédés d'assemblage multicouches. Une bonne isolation thermique est ainsi obtenue en utilisant des matériaux hautement poreux comportant des pores nanométriques. Nous développerons plus en détail les compétences nécessaires au développement de ce type d'isolant dans la partie relative aux polymères nanoporeux.

- **Recherche** : les nouvelles orientations en matière d'isolation phonique portent sur la conception de structures qui empêchent la propagation de certaines fréquences et en autorisent d'autres, les « cristaux phononiques ». Ce thème est aujourd'hui au centre de nombreux projets de recherche (Université de Lille 1, CNRS-Université du Havre, équipe de recherche Micro Instrumentation, Nanosciences et Ondes du FEMTO-ST), et se situe à la frontière entre la physique et la chimie. Les dispositifs à base de ces cristaux vont potentiellement être utilisés dans la micro et nanoélectronique dans les structures anti-séismes, les murs anti-bruits,... Des compétences de modélisation pour la propagation des sons dans la matière seront à développer.
- **Compétences « comportementales »** : ces innovations étant fortement liées au domaine de la Physique, des Matériaux et de l'Acoustique, il sera nécessaire d'encourager des profils polyvalents, capables de travailler dans des équipes mixtes et de partager leurs connaissances. Ces profils devraient développer une connaissance des marchés aval et de leurs besoins (construction, électronique, aéronautique) afin de concevoir des applications pertinentes et novatrices pour les utilisateurs finaux.

C. **Colles** : La conception de nouvelles **colles** permettant de réaliser des assemblages « démontables » s'inscrit dans une démarche d'écoconception et de recyclabilité. En effet la récupération des pièces à forte valeur ajoutée dans les domaines aéronautiques, automobiles et aérospatiales où le collage permet d'alléger les structures nécessite un démontage « propre » de ces structures sans dégradation et pollution des substrats. Il importe pour cela de pouvoir

créer de nouveaux types de colles avec des formulations leur permettant de réagir par exemple à une température précise ou à un champ magnétique. La démontabilité des assemblages collés constitue aujourd'hui un enjeu fort pour les secteurs d'activité où le collage est difficilement substituable à d'autres types d'assemblages.

- **Recherche** : les travaux de recherche sur le sujet ont conduit au développement de nouveaux adhésifs structuraux démontables tels que les adhésifs de la société américaine ElectRelease, qui permettent de désassembler les substrats sous l'action d'un courant électrique. Au niveau européen, le procédé INDAR mis au point par les équipes de recherche RESCOLL en coopération avec le Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques présente aujourd'hui de nombreuses applications industrielles (automobile, technologie spatiale, aéronautique) et se veut une solution innovante aux problèmes de recyclage et d'écoconception.
- Cette technologie est mise en avant dans le cadre du projet ECO-WINDAR cofinancé par le FUI dont l'objectif est l'écoconception d'un module vitré automobile. Des efforts en Recherche et Développement sont cependant à poursuivre pour la conception de nouveaux procédés (colles réagissant aux UV, à un champ magnétique, à une température précise, ...), mais aussi pour la simulation des transferts thermiques ou magnétiques mis en jeu lors de la phase de décollement.
- **Compétences techniques** : les compétences techniques à rechercher relèvent du domaine expérimental et comprennent : la formulation pour les prototypes, le traitement des surfaces, les processus de fabrication.

D. **Peintures et les revêtements conducteurs** : les **peintures conductrices** appliquées sur des polymères techniques permettent de fournir de hauts niveaux de protection contre les interférences électromagnétiques. Ces interférences sont responsables de dysfonctionnements d'appareils électriques et électroniques ou de services de communication radio.

- **Recherche** : la recherche sur les revêtements conducteurs est associée à celle sur les nanotubes de carbone qui présentent des débouchés dans le secteur de l'aéronautique. Le laboratoire MSSMat (Mécanique des Sols, Structures, et Matériaux) de l'École Centrale de Paris participe ainsi à ces travaux dans le cadre du projet NACOMAT (pôle de compétitivité aéronautique Midi-Pyrénées et Aquitaine). Un de leur axe de recherche concerne le remplacement des câblages en cuivre nécessaires pour l'évacuation de l'énergie statique par des peintures conductrices incorporées de nanotubes. Les compétences à rechercher dans ce contexte devront maîtriser les caractéristiques des matériaux et introduire des procédés innovants pour améliorer leur conductivité.
- **Procédés** : la définition des conditions de synthèse, la simulation de procédés permettant de rendre conductrices des matières qui ne le sont peu et l'implémentation de ces procédés à échelle industrielle nécessitent des compétences en ingénierie des procédés, en électronique et en science des matériaux.

E. **Nanomatériaux** : la recherche sur les **nanomatériaux** (hors tubes de carbone) a mis en évidence les opportunités économiques offertes par les nanotechnologies : nanoparticules pour les applications biomédicales, pharmaceutiques et cosmétiques (production d'agents antimicrobiens, marqueurs biologiques pour la recherche et le diagnostic, ...), pour les applications liées à l'énergie (par exemple à l'intérieur de capteurs solaires photovoltaïques susceptibles de contribuer à l'utilisation des énergies renouvelables), nanocomposites pour lesquels des marchés ont été identifiés dans les secteurs des transports, de l'ingénierie et de la haute technologie.

L'utilisation des nanomatériaux est envisagée aussi pour la réduction des émissions de polluants, le traitement des effluents : ces matériaux pourront être développés sous forme de **membranes organiques**, de filtres ou de céramiques **nanoporeuses**.

Un autre domaine d'application des nanomatériaux est celui de la construction avec le renforcement des céramiques par des nanopoudres. Des recherches sont aujourd'hui en cours pour réaliser des revêtements plus résistants, ou qui présentent des propriétés antisalissures ou antidérapantes.

Dans le domaine des télécommunications, l'insertion de **nanoparticules dans les fibres optiques** est toujours en cours d'étude et présente des enjeux forts d'amplification du signal et de limitation des pertes. L'utilisation des nanomatériaux concernera à terme de nombreux secteurs industriels allant de l'environnement (membranes organiques, catalyseurs, filtres) à l'énergie (cellules photovoltaïques, stockage de l'hydrogène), à la chimie et aux matériaux, à la cosmétique et autres...

- **Recherche** : la conférence européenne et internationale sur les nanotechnologies EuroNanoForum organisée en juin 2009 a réuni plus de 800 représentants de la communauté scientifique et de l'industrie et a permis de présenter les dernières avancées en matière de recherche fondamentale ainsi que les développements nécessaires pour répondre aux besoins industriels et sociétaux. Les nouveaux domaines de recherche concernent ainsi les nanoparticules superparamagnétiques qui agissent simultanément en tant que catalyseurs et sources d'énergie dans les réactions chimiques. Les compétences nécessaires pour le développement de ce thème se rapportent à la physique appliquée et à l'électromagnétisme.

Dans les secteurs de la construction et de l'environnement, les matériaux photocatalytiques présentent de forts potentiels de développement commercial : stockage de l'énergie solaire, dépollution de l'eau et de l'air, revêtements auto-désinfectants, ... Les recherches citées feront appel à des compétences en génie chimique et en ingénierie des procédés.

Dans les industries, l'incorporation de nanoparticules dans la structure des composites modifie considérablement leurs propriétés thermiques et mécaniques, l'efficacité de cette incorporation dépendant du niveau de dispersion atteignable. Les efforts de recherche devraient donc se diriger vers le développement de procédés permettant une dispersion optimale dans les composites.

- **Procédés** : le développement des nanomatériaux repose sur la capacité à mettre en place des techniques d'ingénierie à échelle nanométrique pour la création de composants, des processus de production utilisant des technologies avancées en matière d'aide à la décision et de simulations. Les compétences recherchées regroupent celles en ingénierie des procédés et en modélisation auxquelles sont associées des connaissances en matériaux et polymères.

- F. **Biomatériaux** : les efforts de recherche ont permis d'élargir les champs d'applications des **biomatériaux** à de nombreux domaines médicaux : ophtalmologie (lentilles, implants,...), odontologie (orthodontie), orthopédie (ligaments artificiels, prothèses articulaires, ...), cardiovasculaire (valves cardiaques, stimulateurs, ...) et autres. Des recherches complémentaires restent nécessaires aujourd'hui notamment dans les domaines de la chirurgie cardiovasculaire et orthopédique pour reproduire les caractéristiques fonctionnelles des tissus à remplacer (biocompatibilité, développement de nouveaux polymères fonctionnels). À l'heure

actuelle, cette thématique n'est pas un point fort en France, en partie en raison d'une insuffisante présence de l'industrie.

- G. **Recherche** : les principaux thèmes de recherche fondamentale sur les biomatériaux touchent à l'étude des réactions induites au niveau des interfaces matériau-système vivant et à la création de matériaux possédant de meilleures propriétés de biocompatibilité et de biofonctionnalité. Ce programme de recherche ne pourrait se développer qu'au sein de groupements pluridisciplinaires de laboratoires ou d'équipes comprenant des compétences en physique, chimie, mécanique, biologie et médecine.
- H. **Procédés** : la conception de biomatériaux répondant à des caractéristiques physicochimiques propres nécessite la mise en place de procédés de traitement de surface, de modélisation pour la mécanique des contacts, de préparation de matériaux pour des revêtements « multifonctions » et de synthèse dirigée. Les compétences nécessaires regroupent l'ingénierie de procédés, l'ingénierie tissulaire, la modélisation, la connaissance des matériaux et la connaissance des environnements biologiques.
- I. **Additifs** : de nombreux **additifs** entrent dans la composition des polymères et matières plastiques pour améliorer leurs propriétés physiques, chimiques et mécaniques. La production de ces additifs (marché de plus de 31 Mds€ en 2014, vs. 25,5 Mds€ en 2009 ; source : étude BBC Research) devrait appuyer le développement du recyclage des matières plastiques, et notamment les produits de performance utilisés dans l'industrie automobile.
- **Recherche** : pour certains types de polymères la perte des caractéristiques mécaniques au cours des cycles de recyclage et de vieillissement est un sujet d'étude important. L'une des solutions préconisées pour pallier cette problématique et pouvoir recycler des plastiques ayant la même qualité que les matériaux neufs est l'incorporation d'additifs. Les recherches à développer dans ce contexte pour améliorer la recyclabilité des matériaux porte sur l'amélioration des propriétés des polymères par ajout d'additifs.
 - **Procédés & Technique** : les compétences à développer dans ce secteur sont l'ingénierie des procédés, la formulation, la connaissance des polymères et de leurs propriétés mécaniques.
 - **Compétences « comportementales »** : les équipes travaillant sur de nouveaux types d'additifs devront être en mesure d'appréhender les attentes des clients industriels finaux quant aux propriétés requises pour les matériaux recyclés, et répondre à un cahier des charges précis.
- J. **Polymères conducteurs** : les **polymères conducteurs** ou semi-conducteurs organiques constituent de par leurs propriétés électroniques et/ou optiques remarquables des matériaux de choix pour des applications variées telles que les cellules photovoltaïques, les LED, les OLED, les transistors à effet de champ,...
- **Recherche** : les orientations de recherche portent sur la conception de nouveaux matériaux organiques permettant l'amélioration du rendement de dispositifs photovoltaïques. Ces recherches font intervenir des compétences en électrochimie, en chimie organique moléculaire, et en chimie des matériaux (polymères plus spécifiquement).
 - **Procédés** : le développement des polymères conducteurs à échelle industrielle nécessite de pouvoir maîtriser leurs voies de synthèse (chimique et électrochimique) et de développer de nouveaux procédés.

- **Technique** : la synthèse des polymères conducteurs passe par un contrôle rigoureux des paramètres (concentration et composition des catalyseurs, conditions de température et d'humidité) et par des étapes d'expérimentation en laboratoire.
- K. **Bioplastiques** : les **bioplastiques** permettent de répondre aux problématiques d'appauvrissement en ressources fossiles à la base des matières plastiques et aux enjeux de préservation de l'environnement et de durabilité des matériaux. Les applications industrielles des bioplastiques sont multiples : emballages pour les biens de consommation, matériaux solides composites pour les équipementiers automobiles, composants chimiques participant à la création de nouveaux produits pour les industries chimiques,... Leur utilisation présente des atouts indéniables : utilisation de ressources naturelles renouvelables, biodégradabilité, minimisation des rejets carboniques, nouveaux débouchés pour l'agriculture, ...
- **Recherche** : les travaux de recherche devront contribuer à la création de nouveaux matériaux bioplastiques et à faire émerger de nouvelles applications. Il s'agira par exemple d'étudier l'influence des modes d'extraction et de préparation sur les propriétés finales des matériaux, la stabilité et de la pérennité des matériaux, ou de conduire des travaux sur les polymères issus de la biomasse (ligno-cellulose, amidon, fibres végétales) obtenus par la voie biotechnologique et sur les polymères biodégradables. Des efforts ont déjà été initiés dans ce sens avec la création en juin 2009 de la Chaire Bioplastiques des Mines ParisTech en partenariat avec des entreprises de renommée internationale (L'Oréal, Arkema, Nestlé, PSA Peugeot Citroën et Schneider Electric). Les compétences à rechercher pour mener à bien ces travaux comprennent la physico-chimie, la mécanique, la thermique ainsi que la modélisation et la simulation numériques.
 - **Procédés** : afin de développer des procédés de mise en forme des matériaux plus respectueux de l'environnement, il sera nécessaire de faire appel à des ingénieurs de procédés ayant par ailleurs une connaissance approfondie des polymères. Ces ingénieurs pourront être en mesure de piloter la production réalisée d'abord en laboratoire et de développer des outils de simulation adaptés.
 - **Technique** : dans le cadre des études sur les bioplastiques, il sera nécessaire de mettre en place une plate-forme d'essais permettant l'évaluation des prototypes et la caractérisation de leurs propriétés finales. Des compétences techniques d'expérimentation et d'analyse seront de ce fait recherchées.
 - **Compétences comportementales** : il sera indispensable pour les équipes travaillant sur les bioplastiques de développer une compréhension des enjeux économiques et industriels induits par ces nouveaux matériaux, et de participer au transfert de compétences et de technologies avec le monde industriel pour permettre une plus grande diffusion de l'innovation.
- L. **Traitement des surfaces** : comme évoqué plus haut, les technologies de traitement de surface notamment par photocatalyse, ont ouvert la voie à des innovations dans le domaine de la construction, de la santé et de l'environnement : matériaux dépolluants et autonettoyants, comme le verre SGG BIOCLEAN, revêtements intérieurs et extérieurs, purification et dépollution de l'air (PHOTOCAL), élimination des odeurs... Des acteurs de la cimenterie se sont déjà positionnés sur ce segment comme par exemple Italcementi, 5^{ème} cimentier mondial, qui a investi sur des capacités d'innovation et a mis en place la gamme TX Active© basée sur la photocatalyse, comprenant des bétons dépolluants et autonettoyants. Par ailleurs, la combinaison de la photocatalyse et de l'hydrophilie a permis de mettre en place des vitrages

autonettoyants, commercialisés par les grands producteurs de verre plat (Pilkington, Saint-Gobain, PPG,...). Les projets futurs devront perfectionner les solutions existantes pour améliorer la performance des catalyseurs (réduire la taille des réacteurs et leur consommation énergétique).

- **Recherche** : la photocatalyse consiste en la dégradation de matières organiques sous l'effet de la lumière, suite à l'absorption des rayons UV par un catalyseur qui est le dioxyde de Titane (TiO_2). Le principal verrou technologique actuel réside dans la nature même du matériau actif (TiO_2) qui ne présente pas une grande activité sous irradiation solaire (le rayonnement solaire utile n'est que de 4%). De nombreuses études s'orientent aujourd'hui vers l'amélioration de cette propriété, soit par dopage du matériau actif, soit par la recherche d'un nouveau type de photocatalyseur. Des compétences en ingénierie des matériaux, et une connaissance des facteurs physico-chimiques influant les propriétés de ces matériaux seront donc à développer.
- **Procédés** : des compétences d'optimisation de procédés dans le développement de réacteurs photocatalytiques seront intéressantes pour aboutir à des temps de réaction minimaux et à une meilleure gestion de la performance des catalyseurs.
- **Technique** : un ensemble d'études expérimentales appuiera le développement optimisé des réacteurs.

M. **Caoutchoucs autocicatrisants** : le développement des caoutchoucs autocicatrisants repose sur les avancées réalisées en matière de chimie supramoléculaire. En France, ces avancées ont été concrétisées par les travaux conjoints menés par Arkema en collaboration avec le laboratoire Matière Molle et Chimie de l'ESPCI (Paris) et ont donné naissance à une gamme de produits (REVERLINK). Ces caoutchoucs possèdent en fait toutes les vertus des caoutchoucs naturels et donc leurs propriétés d'élongation, avec l'avantage de pouvoir s'autoréparer. Parmi les applications prévues figurent des articles pour le sport, des joints pour l'automobile, des revêtements anticorrosifs,... Le développement de matériaux ayant des propriétés similaires, sur la base de la chimie supramoléculaire, offre un fort potentiel de développement pour l'industrie chimique.

- **Recherche** : les recherches se concentrent autour de la science des polymères et autour de l'application des concepts de chimie supramoléculaire aux polymères, principalement autour de 2 thèmes : le greffage de petites molécules visant à les rendre associatives et à comportement « polymère », et le greffage de polymères classiques pour améliorer leur performance.
- **Procédés** : le développement des produits au stade industriel nécessite la maîtrise des procédés de synthèse et la transposition des méthodes de fabrication des laboratoires de recherche vers les industriels.

N. **Stockage de données** : des recherches récentes portant sur le processus de dopage sélectif (modification des propriétés d'un matériau par ajout d'une impureté) ont permis de créer un nouveau matériau prometteur pour le **stockage de données** (stockage de l'équivalent de près de 20 DVD Haute Définition). Cette découverte offre des perspectives intéressantes non seulement pour le stockage de l'information, mais aussi pour la gestion de l'énergie : le nouveau matériau pourrait être utilisé pour développer des moteurs à consommation réduite (équipe de recherche de la North Carolina A&T State University, octobre 2009). Les applications de ces technologies sont nombreuses dans les systèmes d'information : nouveaux types de circuits imprimés, nanoordinateurs à capacités de calcul très supérieures à l'existant, ...

- **Recherche** : les domaines de recherche concernés se rapportent à la science des matériaux et à leurs propriétés magnétiques et à la microélectronique. Les innovations dans ce sens bénéficient des progrès apportés par les nanotechnologies.
- **Procédés** : les compétences nécessaires en procédés pour la création de ces nouveaux matériaux sont comparables à celles mises en œuvre pour les nanomatériaux (ingénierie des procédés, connaissance des propriétés physico-chimiques des matériaux).

Gestion de l'énergie :

Les enjeux liés à la maîtrise de l'énergie, la réduction des émissions et de la dépendance aux énergies fossiles concourent aujourd'hui au développement de sources alternatives plus respectueuses de l'environnement, avec un meilleur stockage de l'énergie et une capacité de conversion plus développée. Les constructeurs automobiles n'ont pas tardé à se positionner sur le segment de la voiture électrique (PSA-Mitsubishi, Renault-Nissan), dont le succès dépend cependant des avancées en matière de batteries.

- O. **Batteries** : les voies les plus prometteuses reposent sur les **batteries** lithium-ion (transport des ions lithium à travers un électrolyte entre les électrodes) et l'utilisation des nanomatériaux au niveau des cathodes pour augmenter le coefficient de diffusion. Selon les responsables du programme batteries du CEA-Liten, et en s'appuyant sur ces technologies, la densité énergétique des batteries est amenée à doubler en 3 ans (de 150 Km à 300 Km d'autonomie avec une batterie de 100 Kg).
- **Recherche** : les batteries de type Lithium-ion sont aujourd'hui les technologies les plus adaptées pour les véhicules électriques. Les innovations attendues par les industriels et développées par les centres de recherche tels que le CEA-Liten portent sur une évolution des matériaux composant les électrodes (remplacement du graphite pour assurer des durées de vie plus longues, introduction du phosphate de fer pour réduire les coûts). Les filières industrielles françaises bénéficient par ailleurs de nombreux atouts sur ce type de batteries : la plate-forme STEEVE de prototypage industriel (Grenoble et INES à Chambéry) qui regroupe des partenaires (CNRS, CEA, EDF, INERIS) ayant développé une capacité de recherche reconnue sur ces problématiques, des plates-formes de tests industriels (projet MOV'EO-DEGE) et un aval industriel de fabricants de batteries (Johnson Controls-SAFT, Prollion : JV du CEA-Liten et d'ALCEN). Le développement de la filière Li-ion repose sur des compétences dans le domaine des matériaux et des nanomatériaux, et dans celui du stockage électrochimique pour l'optimisation des batteries. Afin de contribuer au dynamisme de la filière, le CEA-Liten a décidé de renforcer les équipes de recherche dédiées au stockage de l'énergie dont les effectifs doublent d'ici 2011 pour atteindre 200 chercheurs.
 - **Procédés** : des compétences en ingénierie seront nécessaires pour adapter les technologies développées par les laboratoires de recherche au monde industriel, notamment en termes de procédés de fabrication et de test en environnement réel.
- P. **Accumulateurs** : les **accumulateurs** électrochimiques servant à stocker réversiblement de l'énergie électrique sous forme chimique se sont imposés sur le marché de l'électronique portable. De nouveaux marchés tels que le véhicule hybride ou tout électrique peuvent se développer sous condition d'évolution des matériaux pour une meilleure stabilité et une sûreté d'usage.
- **Recherche** : si les accumulateurs Li-ion sont commercialisés depuis plusieurs années, les recherches visent aujourd'hui à trouver des substituts à ces matériaux de manière à

obtenir des gains en termes de coût, de sûreté, et d'énergie. Ces recherches s'orientent vers l'optimisation de la synthèse et des conditions de fonctionnement du LiFePO_4 . Les caractéristiques de cyclabilité, de faible coût, de poids et de sûreté de ce matériau dédient son utilisation aux accumulateurs de véhicules hybrides et électriques.

- **Procédés** : les caractéristiques de fonctionnement de ce matériau dépendant fortement de sa morphologie, il sera nécessaire de maîtriser les procédés bas coût permettant d'obtenir une morphologie déterminée.

Q. **Piles à combustibles** : les **piles à combustibles** présentent un avantage fort en termes d'environnement (pas de rejet de polluant, uniquement de la vapeur d'eau) mais ont cependant des rendements énergétiques faibles et doivent faire face à la problématique de stockage de l'hydrogène. Les progrès réalisés sur l'amélioration des rendements (56% de rendement en 2009 avec des chercheurs japonais), sur l'utilisation de matériaux à bas coûts (à la place des matériaux nobles dans les électrodes) permettront une commercialisation de ces piles à plus grande échelle (génération d'électricité stationnaire, cogénération d'électricité et de chaleur, propulsion de véhicules, ...).

- **Recherche** : contrairement aux batteries Li-ion dont le développement a été tiré par le marché de l'électronique nomade (notamment les applications aux téléphones portables), les piles à combustibles n'ont pas encore atteint la phase de maturité qui leur permet de passer au stade de l'industrialisation. De nombreux travaux de R&D sont à prévoir pour rendre les piles à combustibles compatibles en termes de coût avec le marché automobile. Le groupe PSA Peugeot Citroën s'est engagé auprès du CNRS et du CEA dans une démarche visant à explorer les technologies envisageables (pile de 80kW GENEPAC) et a réalisé plusieurs démonstrateurs pour tester les différentes solutions. Les efforts de recherche doivent essentiellement porter sur la réduction de coût des piles à combustibles et sur les conditions de stockage de l'hydrogène. À ce titre, l'Agence Nationale de la Recherche a lancé son programme H-PAC pour les années 2009 à 2011 dont l'objectif est de favoriser le développement d'une filière française de production d'hydrogène sans carbone et de piles à combustibles.
- **Procédés** : les évolutions et recherches sur les piles à combustibles nécessitent la mise en place et la conception de différents procédés de stockage de l'hydrogène : stockage à l'état gazeux, sous forme cryogénique, ou stockage absorbé dans les matériaux solides (projet StorHy). Sur ces trois types de technologies, seul le stockage solide n'est pas encore suffisamment mature pour une application automobile. Il conviendra pour cela de développer les processus de production et d'optimiser les matériaux à la base de ce système de stockage.

R. **Supercapacités** : les **supercapacités** sont des systèmes de stockage d'énergie composés d'électrodes et d'un électrolyte. À mi-chemin entre les batteries et les accumulateurs, la technologie des supercapacités commercialisée par la filiale du groupe Bolloré « BatScap » permet d'absorber et de restituer de fortes puissances électriques sur des temps très courts. Cette technologie présente des avantages de rendement énergétique et de durée de vie, et ouvre des perspectives de développement pour les transports collectifs propres, pour l'automobile (BlueCar) et dans le domaine de l'énergie pour la sécurisation de l'alimentation d'application sensible en cas de coupures de courant.

- **Recherche** : les électrodes des dispositifs commercialisés peuvent être soit en carbone poreux, soit en polymère conducteur ou alors en oxydes métalliques, considérés comme les matériaux les plus prometteurs. Les orientations porteront de ce fait sur la recherche

de matériaux répondant à des contraintes de coût et de faible toxicité, tels que les oxydes de métaux de transition. Ces études recouvrent le domaine de la chimie et de la physique des matériaux ainsi que les nanomatériaux.

- **Procédés** : la recherche de nouveaux matériaux pour l'élaboration des supercapacités de nouvelle génération reposera sur le développement de nouveaux dispositifs associant la synthèse et la caractérisation des nanoparticules.

S. **Biocarburants** : si le secteur des transports dépend à plus de 98% des produits pétroliers au niveau mondial, les alternatives restent nombreuses aujourd'hui en termes de ressources d'énergie. Parmi ces alternatives figurent les **biocarburants** qui sont de deux types (biocarburants de 1^{ère} génération) : l'éthanol pour les moteurs à essence produit par la fermentation alcoolique de matières premières agricoles (betteraves sucrières, céréales), et le biodiesel destiné aux moteurs à diesel produit par estérification d'huile végétale. Les biocarburants de 2^{ème} génération sont obtenus à partir de la biomasse sans concurrence avec l'utilisation alimentaire, selon deux filières de production : la voie biochimique par la conversion de la biomasse lignocellulosique en éthanol, et la voie thermochimique pour la production de carburant diesel de synthèse BtL (Biomass to Liquid). La mise en œuvre industrielle des biocarburants de 2^{ème} génération bénéficie aujourd'hui d'un effort de R&D très important, l'objectif étant de produire ces carburants alternatifs à prix compétitif et à bilan énergétique satisfaisant. La possibilité de produire des biocarburants à partir de la biomasse algale est également investiguée.

- **Recherche** : les thèmes de recherche portent de manière non exhaustive sur l'étude des impacts environnementaux, la gazéification suivie de traitement, la filière éthanol cellulosique et les algues de 3^{ème} génération. Ces thèmes associent le plus souvent des équipes multidisciplinaires comprenant des chimistes, des biochimistes, des agronomes et des ingénieurs de procédés, ainsi que des spécialistes de l'écologie ou plus spécifiquement de la culture des microalgues.
- **Procédés** : les compétences en génie des procédés sont nécessaires pour mettre en place et optimiser les processus de gazéification dans la filière BtL (Biomass to Liquid) et les processus de production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique. Dans le cadre du développement des biocarburants de 3^{ème} génération, il sera nécessaire d'évaluer le choix et la pertinence d'une filière de production industrielle d'un point de vue technologique et économique, ce qui repose sur des études de faisabilité.

5.2.2. Développement de la chimie du végétal : compétences

A. **Oléochimie** : les nouvelles voies de développement dans l'oléochimie concernent principalement la création de nouveaux synthons et l'optimisation de procédés biotechnologiques tels que la catalyse enzymatique.

- Recherche : la recherche sur les nouveaux synthons fait intervenir des compétences en chimie des polymères et nécessite une expertise en corps gras. Pour le volet biotechnologies, les compétences recherchées pour la production de lipides par voie microbiologique sont dans des domaines à l'interface entre la biologie, la chimie et la génomique.
- Procédés : l'industrie oléochimique et en particulier la filière biodiesel s'oriente vers la mise en place de procédés moins consommateurs en énergie (fonctionnement à des températures plus basses, récupération de l'énergie). Elle fera appel pour cela à des

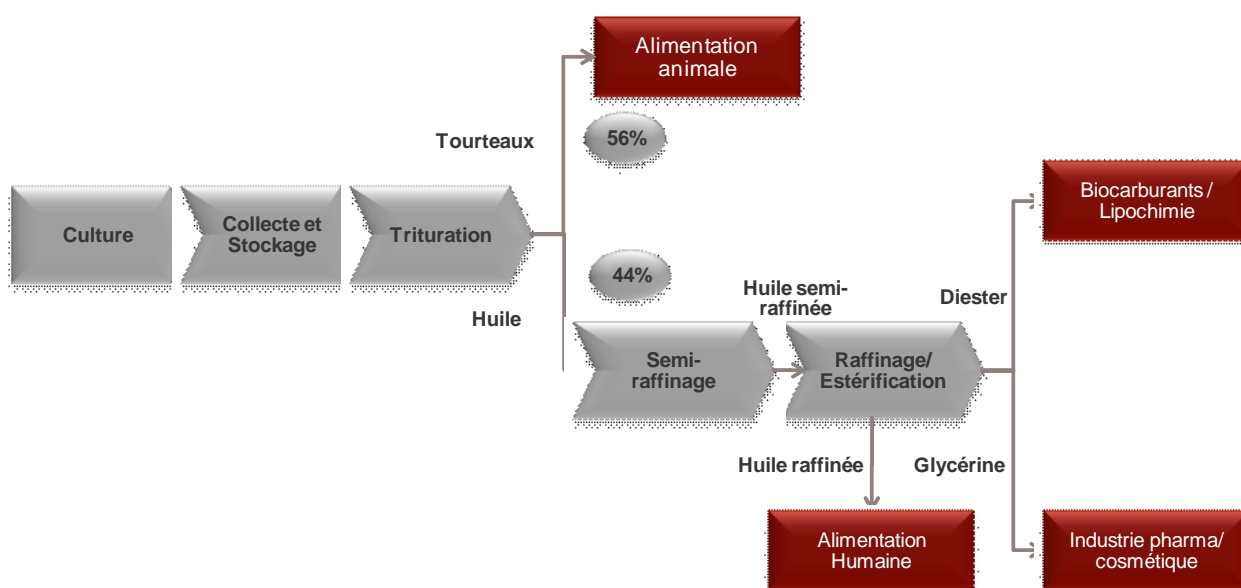
ingénieurs de procédés qui interviendront sur les installations en place pour les optimiser ou réduire leur consommation énergétique.

Principales applications non alimentaires des huiles végétales (source : Proléa)

	Exemples d'application	Bases végétales
Lubrifiants et fluides hydrauliques	Lubrifiants pour machines agricoles	Colza, tournesol oléique
	Fluides pour forages pétroliers en mer	Colza
	Travail des métaux	Esters d'huile de colza
Solvants	Adjuvants de produits de traitements agricoles	Esters d'huile de colza
	Dégraissage industriel, décapage	Esters d'huile de colza
Revêtements et encres	Peintures et vernis	Lin, soja, tournesol, colza et ricin
	Encres	Huiles et esters de soja, tournesol et colza
	Traitement du bois	Huile de lin
Tensioactifs	Produits cosmétiques	Dérivés d'huiles de colza, ricin, glycérine
	Savons ménagers	Huile de lin

- o Compétences périphériques : l'amélioration des rendements en graines présente des bénéfices considérables pour l'industrie oléochimique et nécessite une coopération étroite d'une part avec les agronomes pour le choix des solutions de protection des récoltes, et d'autre part avec les agriculteurs et les organismes collecteurs (transmission des bonnes pratiques de récolte, contrôle de qualité).

Schéma simplifié de la filière des oléagineux

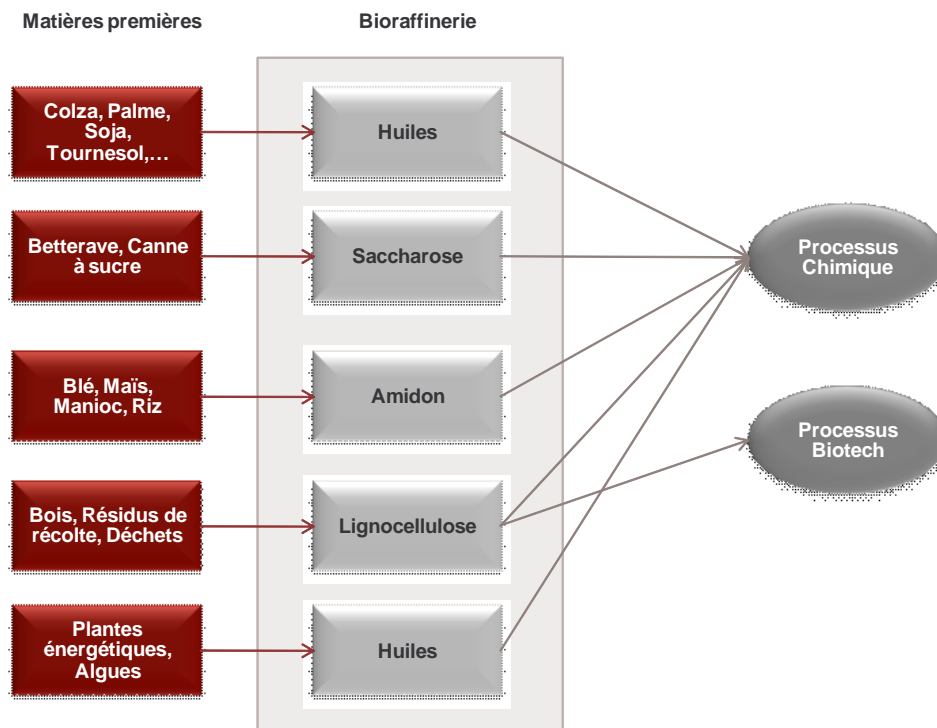


B. Chimie des sucres : l'orientation des recherches dans la chimie des sucres vise à accroître le stock de biomasse utilisable et à l'amélioration des rendements et des productivités actuelles des réactions.

- **Recherche :** les connaissances scientifiques nécessaires au développement de la chimie des sucres comprennent l'enzymologie, la connaissance des caractéristiques physico-chimiques des parois végétales et des micro-organismes. En particulier, la recherche sur les micro-organismes s'appuie sur des compétences en biologie, en bioinformatique et modélisation pour la conception des modifications et en ingénierie du génome.
- **Procédés :** les innovations devront s'appuyer sur des plates-formes expérimentales pour la fermentation. Les procédés intervenant dans les réactions doivent être pensés pour optimiser la consommation énergétique des installations et requièrent des compétences particulières en ingénierie.
- **Compétences périphériques :** la chimie des sucres étant intimement liée à l'approvisionnement en matières végétales, sucrières ou amidonnières, il sera nécessaire de mettre en place une coordination efficace entre groupements d'agriculteurs, industriels et acteurs de la chimie afin de sécuriser les flux et de garantir la qualité des ressources.

C. Développement des bioraffineries : au-delà de la possibilité d'exploiter tout le potentiel de la biomasse, les bioraffineries présentent des avantages en termes industriels : diminution des coûts de production par la mutualisation d'infrastructures et l'optimisation des coûts de transport et de logistique, valorisation de coproduits et possibilité d'intégration entre les acteurs.

- **Recherche :** la plupart des technologies impliquées dans la mise en place des bioraffineries sont aujourd'hui connues. Il s'agit plus aujourd'hui de « réunir des connaissances dans une chaîne de valeur unique ».
- **Procédés :** à l'exemple de l'industrie oléochimique, les innovations en procédés porteront sur la conception d'installations moins énergivores, viables sur le plan économique et répondant à des critères de durabilité. Les processus de production des produits biosourcés et des coproduits intégreront les procédés chimiques classiques et biotechnologiques. Il sera nécessaire dans le contexte du lancement de bioraffineries de deuxième génération de concevoir des pilotes pour la valorisation de l'hémicellulose. Des études sont aujourd'hui en cours par le groupe hollandais Royal DSM et le laboratoire finlandais VTT. Les compétences recherchées de ce fait regroupent l'ingénierie des systèmes biologiques et des procédés. De manière plus globale, les intervenants dans le secteur des bioraffineries devront développer une connaissance des besoins de l'industrie aval et devront être en mesure de faire le lien entre les différentes matières premières et leurs applications industrielles.



D. Voie thermochimique : la voie thermochimique contribue à la conversion de la biomasse cellulosique en hydrocarbures et intervient de ce fait dans les productions de biocarburants de 2^{ème} génération.

- **Recherche :** les axes de recherche à développer pour contribuer à l'évolution de la voie thermochimique concernent les techniques de prétraitement de la biomasse, de gazéification en vue d'améliorer les rendements et de purification des gaz de synthèse.
- **Procédés :** des compétences seront recherchées en termes de connaissance des propriétés physico-chimiques de biomasses variées en vue de choisir les meilleures techniques de prétraitement correspondantes, des techniques de conditionnement de la biomasse (pour faciliter son transport), des procédés de valorisation de sous-produits et de conditionnement des effluents (goudrons,...).
- **Compétences périphériques :** afin d'évaluer le potentiel de développement de la voie thermochimique et les impacts globaux en matière d'énergie, il sera nécessaire d'effectuer des analyses socio-économiques et environnementales et des analyses de cycle de vie. Ces analyses nécessitent de développer une connaissance transverse des voies de transformation des ressources végétales, de la consommation d'énergie à chaque étape du processus, des investissements nécessaires pour le déploiement des infrastructures, et des coûts de production et de logistique.

E. Valorisation de la lignine : le potentiel de marché de la lignine est aujourd'hui encore difficile à estimer, dans le sens où les technologies de valorisation hors combustion ne sont pas tout à fait matures. En France, la technologie de séparation de la lignine brevetée par CIMV (Champagne-Ardenne) et permettant de transformer la paille de blé en pâte papetière a été en fait validée de manière industrielle en 2008, date de démarrage de la première unité de raffinage végétal.

- **Recherche :** des solutions de valorisation ont déjà été trouvées pour permettre la fabrication de panneaux de bois, de mousses isolantes ou d'additifs pour les colles. Les

recherches futures doivent permettre grâce à des niveaux de fractionnement plus importants, d'utiliser la lignine comme substitut aux molécules aromatiques (benzène, toluène,...). La molécule de lignine étant complexe, sa caractérisation nécessitera le recours à des compétences analytiques de type spectrométrie de masse. L'ensemble des recherches font intervenir des compétences qui existent déjà en chimie organique et en polymères.

- **Procédés** : les procédés de transformation de la lignine peuvent être de nature biotechnologique ou chimique impliquant de ce fait des compétences à la frontière de la biologie, la génétique et la chimie.
- **Compétences périphériques** : la mise en place de raffineries pour la dégradation de la lignine nécessitera la coopération des acteurs du monde agricole : suivi agronomique des exploitations qui fourniront les matières premières, sécurisation des approvisionnements...

5.3. Liste des entretiens réalisés

Organisme	Nom	Fonction
APESA	Benoit de Guillebon	Directeur
CNRS	Gilberte Chambaud	Directrice du Département Chimie
Conseil National des Ingénieurs et Scientifiques de	François Blin	Délégué général
ESCOM	Georges Santini	Directeur
Fédération Gay-Lussac	Jacques Bousquet	Vice-président
ITECH Lyon	Jean-Pierre Gallet	Directeur Général
ROQUETTE	Christophe Rupp-Dahlem	Directeur du programme "Chimie du Végétal" Président de l'Association Chimie du Végétal
Société Chimique de France	Bernard Sillion	Président de la Division Chimie Industrielle
	Patrick Chaquin	Président de la Division Enseignement - Formation
Société Française de Génie des Procédés	Christine Roizard	Directeur des études à l'ENSIC
	Eric Schaer	Responsable du groupe thématique Formation / Professeur à l'ENSIC
Sofiprotéol	Michel Boucly	Directeur des Engagements et du Développement
	Jean-François Rous	Adjoint au Directeur Prospectives et Innovations
Solvay	Guillaume Bucco	Directeur Général, responsable pour la France
	François Monnet	Responsable du centre de compétences Technologies
Union des Industries Chimiques	Bernard Chambon	Président
	Daniel Marini	Directeur des Affaires Economiques et Internationales
	Ithier d'Avout	Directeur des Affaires Sociales, Emploi, Formation

5.4. Bibliographie

- *Rapport final Contrat d'Études Prospectives des Industries Chimiques* – DGEFP-CPNE des Industries Chimiques, Mai 2008
- *20^{ème} enquête CNISF – CEFI sur les diplômés spécialisés en chimie et génie chimique*, Observatoire de l'emploi des ingénieurs diplômés, UNAFIC, Mars 2009
- *Références et Orientations 2009 (6^{ème} édition), Cahier Complémentaire* – CTI
- *Portraits statistiques de branche – Chimie hors pharmacie*, CEREQ
- *Résultats de l'enquête 2009 sur l'insertion des jeunes diplômés* - Conférence des Grandes Écoles (CGE)
- *Etude « Filières vertes » : les filières industrielles stratégiques de la croissance verte* - MEEDDM/CGDD, 2009
- *Les écoactivités et l'emploi environnemental* - CGDD, 2009
- *« Croissance verte: l'économie du futur »* - Conseil économique pour le développement durable, 2009
- *Chimie et développement durable: l'engagement des Écoles de la Fédération Gay-Lussac* - l'Actualité Chimique, février-mars 2010
- *« Comment les chercheurs peuvent-ils répondre aux enjeux de REACH? »* - CNRS-ANR, 2009
- *Bilan du recyclage 1998-2007, Annexe 1 : Matériaux et recyclage* – ADEME, juillet 2009
- *Enquête sur le recyclage des plastiques en 2007, Rapport final* – ADEME, Mars 2009
- *Déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) : synthèse* – ADEME, 2008
- *Les déchets en chiffres en France : données et références* – ADEME, 200