

Les écoles d'ingénieurs de la Fédération Gay-Lussac

La formation de cadres, la recherche et l'innovation pour un secteur clé de l'économie et pour l'émergence d'une chimie « nouvelle »

Joël Moreau

L'industrie chimique, qui a apporté une contribution déterminante au développement économique du XX^e siècle, est l'une des plus grandes industries du monde avec un marché estimé à plus de 1 800 milliards d'euros. Les écoles d'ingénieurs françaises en chimie et en génie chimique, avec une mission toujours plus exigeante de formation de cadres en réponse aux attentes des entreprises, ont accompagné le développement et l'évolution de ce secteur d'activité. Aujourd'hui, dans une économie globalisée où la durabilité est devenue le concept central face aux enjeux de l'énergie, de l'eau, de l'alimentation, de la santé et de l'environnement, ces écoles se doivent d'adapter leur offre de formation scientifique et technologique avec un souci renforcé de rechercher la meilleure adéquation formation/emploi. Les ingénieurs diplômés doivent concevoir et mettre en œuvre des produits, des procédés, des innovations scientifiques et technologiques qui répondent aux attentes du marché comme à celles de la société. Établissements d'enseignement supérieur, les écoles françaises d'ingénieurs appuient leur formation sur des partenariats forts avec les entreprises, sur des activités de recherche au meilleur niveau international et sur de solides collaborations internationales. Elles sont attractives pour les bons élèves et jouent un rôle très important dans la formation de niveau master en délivrant un diplôme apprécié d'ingénieur accrédité par la Commission des titres d'ingénieur (CTI) et labellisé EUR-ACE Master of engineering.

Les écoles de la Fédération Gay-Lussac



Les écoles d'ingénieurs en chimie et en génie chimique, dont certaines délivrent un diplôme plus que centenaire, ont été créées pour répondre à la demande de cadres dans un contexte de fort développement de l'industrie chimique. Elles se répartissent sur l'ensemble du territoire, de Strasbourg à Rennes et de Pau à Lille (figure 1). Elles se sont regroupées au sein de la Fédération Gay-Lussac (FGL) dès 1987, pour mieux répondre ensemble à toutes leurs missions. L'objectif initial de constituer une structure permanente de concertation et de coordination, et notamment de conduire des réflexions et des actions sur la meilleure adéquation des formations d'ingénieurs aux débouchés, a été rapidement élargi sous l'impulsion des responsables successifs des établissements.

La personnalité des écoles est diversifiée ; héritée de leur histoire, elle a fortement évolué avec les liens et collaborations développés sur leurs sites universitaires. Aujourd'hui, les dix-neuf écoles de la fédération accueillent 6 000 élèves



Figure 1 - Carte des écoles de la Fédération Gay-Lussac (FGL) en 2009.

ingénieurs en formation et délivrent 1 500 diplômes d'ingénieurs (grade de master) chaque année. Elles sont attractives et bénéficient à l'issue des classes préparatoires aux grandes écoles d'un recrutement diversifié avec un équilibre femmes-hommes et une mixité culturelle et sociale (plus de 30 % de boursiers). Les écoles préparent leurs élèves à des filières d'embauche de la recherche et du développement, de l'ingénierie et des études techniques ainsi que de la production, débouchant ultérieurement sur une large gamme de familles professionnelles : industrie, production, recherche-innovation-technologie, achats, « supply chain », commerce et marketing, systèmes d'information, propriété industrielle... Cette caractéristique de l'industrie chimique, qui constitue environ 45 % des débouchés professionnels de nos diplômés, est également pertinente pour de nombreuses autres industries de plus en plus consommatrices d'ingénieurs connaissant bien la chimie et/ou le génie chimique : pharmacie, agroalimentaire, énergies, protection de l'environnement, automobile, matériaux divers, électronique et technologies avancées, etc.

Au sein du réseau FGL, les écoles portent des actions communes. En amont, ce sont des classes préparatoires intégrées à Lille, Rennes et Clermont-Ferrand, associées à un programme de classes internationales Chem.I.St[®] permettant d'accueillir 15 % d'élèves étrangers, et des partenariats avec les lycées à Mulhouse, Montpellier ou Créteil pour les élèves issus des filières sciences et techniques. Les actions communes visent également à mieux accompagner la diversité des projets professionnels des élèves : mobilité vers les institutions européennes et vers les entreprises en Europe dans le cadre d'un programme Erasmus-stage partagé, accord de

partenariat et de doubles diplômes avec de nombreuses universités en Europe, en Amérique du Sud et en Asie. Le développement international cible également l'intégration dans l'espace européen de l'enseignement supérieur ainsi que l'exportation de la formation d'ingénieur chimiste. En aval, l'observatoire de l'emploi et des métiers fournit la base des réflexions communes sur l'ajustement de la formation en réponse aux attentes du monde économique. Il est clair que les outils partagés et toutes les actions menées en réseau constituent d'autant plus de forces lorsqu'ils sont portés ensemble par les écoles partenaires.

En outre, les écoles, bien implantées sur leurs sites respectifs, sont engagées dans des partenariats avec les universités et les organismes de recherche (EPST : établissement public à caractère scientifique et technologique, et EPIC : établissement public à caractère industriel et commercial). Les pôles de recherche et d'enseignement supérieur (PRES) dont les écoles sont membres fondateurs ou membres associés leur permettent de mettre en synergie une politique de réseau et une politique de site en cohérence avec leurs missions de formation et de recherche.

La chimie : un secteur d'activité en mutation et une clé pour les industries du futur

L'industrie chimique représente un secteur majeur au niveau mondial avec une augmentation considérable de la taille des marchés émergents, l'Asie étant devenue la première région productrice de produits chimiques. Cette industrie représente 1,3 millions d'emplois directs en Europe dont 240 000 en France, avec un chiffre d'affaires de plus de 80 milliards d'euros. Elle est en France au premier rang des secteurs exportateurs et se trouve placée depuis plusieurs années dans un contexte de restructuration, d'internationalisation, de forte intensité concurrentielle et d'évolution rapide des technologies. Le diagnostic du Ministère de l'Industrie a souligné pour l'industrie chimique le rôle clé de la recherche et de

l'innovation ainsi que la nécessaire mobilisation pour la protection de l'environnement. L'Union des Industries Chimiques (UIC) soulignait quant à elle l'atout que cette industrie constitue en France, convaincue qu'il n'y aura pas de développement durable en France et en Europe sans la chimie. L'industrie des produits chimiques est un moteur de l'innovation et une source d'innovation pour la plupart des secteurs aval. La chimie est à l'origine de la moitié des innovations dans les médicaments, le textile, les industries métallurgiques, pétrochimiques et dans l'environnement. Le savoir chimique joue en effet un rôle particulier par sa capacité à proposer des solutions aux problèmes posés dans de nombreux domaines : santé, agronomie, environnement, énergie, automobile, aéronautique, électronique... Le secteur d'activité de l'industrie chimique ne représente d'ailleurs que la moitié des emplois des ingénieurs chimistes par ailleurs très recherchés dans de nombreux secteurs industriels. « *Le défi de la voiture électrique est d'abord un problème de chimie* » disait récemment un haut responsable de l'industrie automobile.

La formation des ingénieurs chimistes

Le cursus ingénieur chimiste présente la caractéristique d'associer une formation scientifique fondamentale au niveau le plus élevé, une solide formation en sciences pour l'ingénieur et une formation économique, humaine et sociale. Les écoles forment en trois ans des ingénieurs chimistes en préparant les élèves ingénieurs par un programme et des méthodes d'acquisition de connaissance et de développement de compétences ouvert sur les frontières de la discipline. La formation doit répondre aux enjeux de l'industrie dans le contexte de mondialisation dans lequel elle doit se développer actuellement et où la recherche et l'innovation jouent un rôle clé. Les écoles s'attachent à concilier le nécessaire maintien d'un socle de sciences fondamentales, une exigence pluridisciplinaire et la responsabilisation des élèves. Elles offrent des parcours de formation flexibles qui permettent le développement du projet professionnel de l'élève et une diversité de débouchés vers tous les secteurs d'activité liés à la chimie ; elles échangent par exemple leurs élèves en

Encadré 1

Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850)

Chimiste et physicien français, connu pour ses études sur les propriétés des gaz



Né à Saint-Léonard-de-Noblat (Haute-Vienne, Limousin), Louis Joseph Gay-Lussac fit ses études à l'École polytechnique et intégra ensuite l'École des Ponts et Chaussées. En plus de ses recherches, il fut professeur de physique à la Sorbonne (Faculté des sciences) de 1809 à 1832, professeur de chimie pratique à l'École polytechnique de 1809 à 1840,

membre de l'Académie nationale de médecine en 1820, professeur de chimie minérale au Muséum en 1832, député de la Haute-Vienne de 1831 à 1837 et pair de France en 1839.

Gay Lussac le chercheur en quelques dates clés

1802 : il découvre la loi de la dilatation des gaz et vapeurs (1^{ère} loi de Gay-Lussac).

1804 : il entreprend deux ascensions en ballon afin d'étudier les variations du magnétisme terrestre et la composition de l'air à différentes altitudes.

1805 : avec Humboldt, il effectue des expériences qui lui permettent d'énoncer les lois volumétriques des combinaisons gazeuses (2^e loi de Gay-Lussac en 1808).

1808 : en collaboration avec le chimiste français Louis-Jacques Thénard, il travaille à la préparation du potassium et du sodium et découvre le bore.

1809 : Gay-Lussac et Thénard découvrent ensemble l'acide fluosilicique et l'acide fluoborique et affirment que le chlore est un corps simple ; Gay-Lussac énonce qu'il en est de même pour l'iode.

1815 : il découvre le cyanogène, de formule C₂N₂ et l'acide cyanhydrique. Dans le domaine de la chimie analytique et industrielle, il améliore les procédés de fabrication de l'acide sulfurique et de l'acide oxalique et met au point des méthodes de contrôle par dosage.

• Musée Gay-Lussac :

<http://apella.ac-limoges.fr/musee-gay-lussac>

Association des amis de Louis Joseph Gay-Lussac :

www.bibliotheque.polytechnique.fr/associations/gaylussac/pages/AssofrGL.html

troisième année ou les dirigent vers des établissements partenaires en France, en Europe et hors Europe, tout comme elles accueillent en retour des étudiants étrangers.

La juste adéquation formation/emploi dans les écoles de la fédération repose sur un triple ancrage :

- *Un ancrage fort avec l'entreprise* et le développement de sa place dans la formation : par l'intervention de professionnels dans l'enseignement et dans les instances des établissements, par l'organisation de visites d'entreprises, de sites industriels, par une partie de la formation des élèves au sein de l'entreprise à divers niveaux (stages ouvrier et technicien, stage ingénieur et projet industriel de fin d'étude), en France comme à l'étranger.
- *Un ancrage avec la recherche* : la formation est adossée aux activités de recherche des écoles et appuyée sur les forces de leur site en partenariat avec les organismes de recherche. La formation par la recherche permet d'accompagner les projets professionnels des élèves qui souhaitent s'orienter vers le secteur R & D des entreprises qui représente près de 40 % des premiers emplois. Les élèves vont dans les laboratoires et les chercheurs participent à l'enseignement. Les activités de recherche partenariale des laboratoires, souvent fortes, viennent en outre enrichir la formation des élèves.
- *Un ancrage international* : par le développement d'accords et de réseaux avec les institutions étrangères pour des échanges d'étudiants et pour offrir des cursus de doubles diplômes. Toutes nos écoles ont maintenant intégré une expérience à l'étranger dans le cursus ingénieur associée à l'enseignement obligatoire de deux langues. Les écoles totalisent deux cents partenaires en Europe et hors Europe et portent ensemble des projets internationaux ambitieux d'accueil d'étudiants étrangers et d'exportation des programmes préparatoires et du cursus ingénieur.

L'évaluation périodique de la formation par la Commission des titres d'ingénieurs, qui présente l'originalité d'associer des membres du monde industriel et du monde

économique à l'évaluation, apporte une validation des cursus professionnalisants avec une labellisation EUR-ACE Master reconnue dans tous les pays d'Europe. L'insertion des élèves est traduite par un très bon taux d'emploi, malgré une baisse sur les résultats de l'enquête emploi 2009 par rapport à 2008, avec des chiffres comparables à ceux de l'ensemble des autres écoles d'ingénieurs.

La recherche

Les écoles de la FGL apportent une contribution importante aux activités de recherche sur tous les sites universitaires. Quelques chiffres suffisent à situer cet apport : les écoles hébergent plus de cent laboratoires et développent des partenariats avec les universités et les organismes de recherche (CNRS, Inserm, INRA). Co-accréditées sur leurs sites avec les écoles doctorales de chimie et de génie des procédés, les écoles de la fédération accueillent 1 100 doctorants et plus de 300 post-doctorants dans leurs laboratoires, et environ 350 thèses par an y sont soutenues. Les élèves ingénieurs s'orientent d'ailleurs pour 20 % d'entre eux vers une poursuite en doctorat. Ce pourcentage moyen, très variable d'une école à l'autre, est lié à la spécialité de formation. Les titres d'ingénieur et de docteur répondent à une demande du secteur R & D des entreprises et permettent une excellente insertion des diplômés, souvent avant même la soutenance de thèse.

Les thématiques de recherche des écoles sont très larges ; elles couvrent l'ensemble des domaines de la chimie et du génie des procédés et vont de la frontière avec les sciences du vivant jusqu'à la science des matériaux et aux grands domaines de la physique. Il n'est pas besoin de lister ici l'ensemble des thématiques de recherches abordées. Les écoles se situent au meilleur niveau international, les enseignants-chercheurs et les chercheurs publient plus de 2 000 contributions par an à la recherche académique dans les meilleurs journaux scientifiques. La personnalité des



Figure 2 - Le club Gay-Lussac en 1987.

De gauche à droite : Jean-Claude Bernier (Strasbourg), Jean-Michel Chézeau (Mulhouse), André Laurent (Nancy), Jean-Paul Parenteau (UIC), Jean-Pierre Gallet (ITECH Lyon), Valdo Pellegrin (Montpellier), Maurice Rougeron (Délégué Général), XXX, Michèle Ricard (ENSIGC INPT Toulouse), Yves Guibert (ESCOM), Francis Marsais (INSA Rouen), Jacques Gelas (Clermont-Ferrand), Pierre-Gilles de Gennes (ESPCI Paris), Alain Lablache-Combier (Lille), Michel Ansart (UNAFIC), René Dabard (Rennes), Henri Patin (Rennes), Jean-Jacques Bonnet (Toulouse), Alexis Dufour (ICPI Lyon-CPE), Henry Gasparoux, XXX, Maurice Jaymond (SCI).

écoles est le plus souvent traduite par une très forte activité de recherche partenariale. Les entreprises, interlocuteurs naturels des établissements, contribuent annuellement par plus de 28 millions d'euros de conventions de recherche et plus de 180 brevets sont issus de ces collaborations.

En volume comme en qualité, les écoles d'ingénieurs de la FGL sont fortement engagées en recherche et affichent des partenariats avec les universités, les EPST, les EPIC et les entreprises. Elles sont présentes dans les conseils des pôles de compétitivité en région. L'équilibre recherche fondamentale-recherche finalisée est conforté par une labellisation Institut Carnot de plusieurs laboratoires.

L'enjeu d'une chimie pour le développement durable

Aux premiers rangs des défis futurs, on trouve l'énergie, l'eau, l'alimentation, l'environnement et la santé. Ils constituent autant d'enjeux dans lesquels la chimie a la capacité d'apporter des contributions déterminantes. Les produits chimiques alimentent d'ailleurs tous les secteurs de l'économie. Que cela soit en réponse aux demandes de la société – médicaments, produits pour l'hygiène ou la beauté, protection des plantes, traitement de l'eau – ou en réponse aux demandes environnementales – procédés plus propres et plus sûrs, traitement des effluents, recyclage et matières premières renouvelables –, les innovations de la chimie apparaissent incontournables à un véritable développement durable.

Tous les chimistes ont un rôle à jouer pour l'émergence d'une chimie durable. Les ingénieurs chimistes ont une responsabilité particulière pour mettre en œuvre des produits et des procédés chimiques efficaces, sûrs, économiquement viables et respectueux de l'environnement. Les écoles se sont toutes mobilisées autour de ces enjeux tant dans le domaine de la formation que dans celui de la recherche. Elles travaillent au développement d'une nouvelle chimie qui s'impose aujourd'hui et qui paraît apte à réconcilier le citoyen avec la chimie, trop souvent évaluée à partir des impacts négatifs qu'on lui attribue. La Fédération Gay-Lussac a marqué son engagement aux côtés des autres acteurs de la chimie : la Fondation internationale de la Maison de la Chimie, l'Institut de chimie du CNRS, l'Académie des sciences, l'Union des Industries Chimiques, la Société Chimique de France et la Fédération Française pour les sciences de la Chimie, en signant le 18 mai 2009 la charte « La chimie, une ambition pour la France et l'Europe ». L'objectif des acteurs rassemblés est de s'engager pour le développement d'une chimie durable et responsable, notamment en partageant davantage savoirs et savoir-faire pour relever les grands défis et proposer à tous les niveaux une formation scientifique adaptée aux nouvelles attentes de la société, en améliorant la connaissance et l'impact des substances chimiques sur la santé et l'environnement, en recherchant toujours davantage le dialogue autour des enjeux scientifiques, économiques et sociétaux.

C'est à travers cette ambition que les écoles de la FGL ont choisi d'illustrer leurs activités de recherche. Les articles qui suivent constituent une sélection pour présenter la diversité et la richesse de la recherche en chimie et en génie des procédés. Le choix a porté sur dix axes de développement d'une chimie durable rassemblant à chaque fois des contributions de plusieurs écoles (voir encadré 2). Cet ensemble ne constitue pas une description exhaustive de l'activité de recherche des écoles de la FGL, mais la

Encadré 2

Au sommaire de ce numéro : dix axes de développement pour une chimie durable

1. *Vers une chimie moléculaire verte* : une nouvelle chimie organique qui vise à inventer des méthodes de synthèse sûres, économes en énergie et en matières premières, exemptes de sous-produits et en accord avec les douze principes de la chimie verte.
2. *Agroressources pour une chimie durable* : une utilisation des matières premières renouvelables pour le développement de molécules fonctionnelles, d'intermédiaires de synthèse ou de nouveaux synthons.
3. *Matériaux polymères et développement durable* : de nouveaux matériaux non toxiques, recyclables et biodégradables préparés selon des procédés sûrs, efficaces et économes en énergie.
4. *Chimie analytique et société* : de nouveaux concepts pour une analyse chimique qui doit assurer la détection d'ultra-traces de manière rapide, fiable et peu coûteuse.
5. *Matériaux catalytiques et catalyse hétérogène* : de nouveaux matériaux catalytiques pour la production de vecteurs énergétiques, pour l'utilisation de carbone renouvelable, pour la dépollution et pour des procédés industriels toujours plus performants.
6. *Énergie photovoltaïque, verrous et perspectives* : de nouvelles filières pour la conversion photovoltaïque face aux enjeux majeurs d'accroissement des performances et de la durée de vie.
7. *Procédés de conversion d'énergie* : les batteries, les piles à combustible et les procédés non électriques.
8. *Le génie des procédés au service de l'environnement* : les concepts et les méthodes du génie des procédés pour le traitement de l'eau, de l'air et des déchets.
9. *L'intensification des procédés* : la conception de procédés plus compacts, plus sûrs et plus économiques avec une capacité de production supérieure aux procédés conventionnels.
10. *Nanosciences et nanotechnologies, environnement et santé* : des systèmes pour l'imagerie médicale, la vectorisation et le relargage contrôlé.

présentation d'une sélection illustrant les approches au sein de l'ensemble des écoles sur un thème transversal, celui de la chimie pour le développement durable. Il vise à donner au lecteur une meilleure connaissance et une meilleure perception de la contribution des écoles d'ingénieurs de la Fédération Gay-Lussac à la formation scientifique et technique et aux activités de recherche au sein de l'ensemble universitaire français.

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement l'ensemble des collègues qui ont contribué à ce numéro spécial et particulièrement les animateurs des dix thèmes sélectionnés, ainsi que Jean Louis Halary et Daniel Plusquellec qui ont, en outre, coordonné la construction de cet ensemble.



Joël Moreau

est président de la Fédération Gay-Lussac et directeur de l'École nationale supérieure de chimie de Montpellier*, responsable du laboratoire Architectures Moléculaires et Matériaux Nanostructurés (Institut Charles Gerhardt, UMR 5253).

* ENSCM, 8 rue de l'École normale, 34296 Montpellier Cedex 5.
Courriel : joel.moreau@enscm.fr
www.19ecolesdechimie.com