



**HAL**  
open science

# Du “ Chemical Engineering ” au “ génie des procédés ” (1888-1990). Émergence en France d’une science pour l’ingénieur en chimie

Breysse Jacques

► **To cite this version:**

Breysse Jacques. Du “ Chemical Engineering ” au “ génie des procédés ” (1888-1990). Émergence en France d’une science pour l’ingénieur en chimie. Cahiers d’histoire du Cnam, 2014, L’enseignement de la chimie industrielle et du génie chimique au Cnam, vol.02 (2), pp. 21-58. hal-02987910

**HAL Id: hal-02987910**

**<https://hal.science/hal-02987910>**

Submitted on 14 Nov 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

# Du « Chemical Engineering » au « génie des procédés » (1888–1990). Émergence en France d'une science pour l'ingénieur en chimie

Jacques Breyse

*Club d'histoire de la chimie.*

## Résumé

*L'objectif de cet article est de rappeler les grandes étapes du développement du génie chimique en France au cours du xx<sup>e</sup> siècle. Nous évoquerons préalablement à titre comparatif quelle a été l'émergence de cette discipline dans deux autres pays, les États-Unis et l'Allemagne. Nous abordons la naissance du Chemical Engineering aux États-Unis, au Massachusetts Institute of Technology (MIT), marquée par le concept des « opérations unitaires » (Unit actions) apparu en 1917. Puis, nous évoquons le cas de l'Allemagne, où l'approche des questions de développement industriel a été très différente – association étroite de chimistes et d'ingénieurs – dans le contexte d'une industrie chimique allemande très puissante. En ce qui concerne la France, notre point de départ a été la situation de la chimie industrielle et de son enseignement au début du xx<sup>e</sup> siècle et au moment de la première guerre mondiale, avec en particulier la « crispation » des chimistes pour la défense de leur profession. Enfin sont abordés les aspects plus factuels relatifs à l'émergence du génie chimique en France dans le monde académique, à partir des années 1950 notamment à Toulouse et à Nancy, en rappelant les événements et dates les plus significatives.*

Le génie chimique est apparu en France, dans les années qui ont suivi la fin de la deuxième guerre mondiale, avec la fondation de l'Institut du Génie Chimique (IGC) à Toulouse en 1949 par le Professeur Joseph Cathala (1892-1969). Dans un article publié en 1951, ce dernier définissait alors le génie chimique comme suit : « *Le génie chimique peut être défini comme la branche spéciale de la chimie qui a pour objet de concevoir, calculer, dessiner, faire fonctionner l'appareillage dans lequel on réalisera une réaction chimique quelconque à l'échelle industrielle. Nous avons été amenés à introduire ce terme nouveau de « génie chimique » pour rendre compte d'une manière correcte du terme « chemical engineering » devenu, depuis bientôt trente ans, d'un usage courant dans les Pays anglo-saxons et spécialement l'Amérique du nord* » (Cathala, 1951, pp. 1-7).

Le génie chimique n'a cessé depuis lors de se développer et le premier objectif de ce travail a été de rappeler les

grandes étapes de ce développement, en particulier dans le cas de deux Écoles, l'IGC déjà nommé et celui de l'École Nationale Supérieure des Industries Chimiques de Nancy (ENSIC), jusqu'à sa généralisation dans les années 1980 à tout type de «procédé de transformation», d'où le terme de «génie des procédés» et cette nouvelle définition: «[...] l'ensemble des connaissances nécessaires pour concevoir, analyser, développer, construire et faire fonctionner d'une manière optimale les procédés dans lesquels la matière change: de forme, d'état d'agrégation ou de dispersion d'état physique ou de propriétés physico-chimiques de nature chimique» (Villiermaux *et al.*, 1983, p. 19 et suivantes).

Le génie chimique/génie des procédés se caractérise par un ensemble de méthodes et de concepts généraux, applicables à tout procédé de transformation, indépendamment des substances mises en œuvre et de la taille des installations<sup>1</sup> (Villiermaux *et al.*, 1983, pp. 9-22; Villiermaux, 1993). Plus précisément, on peut mentionner:

- le découpage fréquent du procédé en un enchaînement plus ou moins important d'opérations élémentaires (*Unit Operations*) où chacune d'entre elles

---

<sup>1</sup> La reconnaissance du *Chemical engineering* comme une discipline scientifique spécifique, a été mise en exergue par James Wei en 1985, et reprise par Villiermaux (1993), en identifiant, dans l'esprit des travaux de Thomas S. Kuhn, un ensemble de "paradigmes" tout à fait caractéristiques d'une science cohérente (Wei, 1985; Kuhn, 1983).

donne lieu à un «corpus» original de connaissances<sup>2</sup>. À titre d'exemple on peut citer celui de la «distillation», constitué par de nombreuses interactions entre thermodynamique (équilibres liquide/vapeur), mécanique des fluides («hydrodynamique» des internes<sup>3</sup>), transferts de matières et d'énergie, technologie des matériaux constituant les internes, corrosion (réactions matériaux/produits), processus de conduite et de contrôle...;

- une approche systémique où l'on prend en compte simultanément les bilans matières, d'énergie et de quantité de mouvements, autant au niveau des opérations élémentaires qu'au niveau global du procédé;
- le couplage entre réactions chimiques et phénomènes de transport ou de transfert;
- la mise en œuvre de méthodes de modélisations sinon originales, du moins adaptées et développées à des cas très variés;
- la prise en compte de facteurs technico-économiques et environnementaux.

Le deuxième objectif a été d'examiner et de comparer les différentes approches en matière d'éducation et de

---

<sup>2</sup> Cette méthodologie a été la base du développement du *Chemical Engineering* aux États-Unis: voir plus loin le paragraphe concernant le développement du concept (chapitre «États-Unis»).

<sup>3</sup> Parties «internes» des colonnes et autres équipements de distillation. Il s'agit par exemple de plateaux (perforés, à cloches), ou de «garnissages» vrac (empilement de matériaux de remplissage présentant un grand rapport surface/volume: anneaux de Raschig...) ou ordonnés (structure à enchevêtrement complexe).

formation pour les questions d'industrialisation en chimie, entre la France, les États-Unis, et l'Allemagne. Tous les pays n'ont pas eu la même approche et le même cheminement en la matière, mais tous (et non seulement ceux que nous avons choisis d'évoquer<sup>4</sup>) se sont toutefois progressivement ralliés au Chemical Engineering<sup>5</sup>, né et développé aux États-Unis au début du xx<sup>e</sup> siècle: «*intelligent training is a source of power and a factor in the relative growth of nations as well of individuals. If commercial supremacy is to be won for America, it must be won only by means of the best equipment, of the most efficient means of the highest training*»<sup>6</sup>.

## Le développement du "Chemical Engineering" aux États-Unis

Il existe une littérature très abondante relative à l'histoire du CE<sup>7</sup> aux États-Unis. Il faut mentionner, entre autres, les deux ouvrages généraux de William A. Furter, ceux de Terry S. Reynolds et de Nikolaos A. Peppas (Furter, 1980, 1982; Reynolds, 1983; Peppas, 1989). Mais, dans ce qui suit, nous ferons

---

<sup>4</sup> Voir par exemple Peppas (Peppas, 1989) à propos des Pays-Bas et de l'Inde.

<sup>5</sup> Un congrès mondial de la discipline (World Congress of Chemical Engineering, WCCE) sera instauré tous les quatre ans. Le premier s'est tenu à Montréal en 1981.

<sup>6</sup> Déclaration d'Henry Pritchett, Président du MIT en 1904, citée par Lécuyer (Lécuyer, 1995, p. 54).

<sup>7</sup> Dans tout ce qui suit, nous utiliserons l'abréviation CE, en lieu et place du terme Chemical Engineering.

aussi référence à plusieurs articles de synthèse: d'une part ceux de Hougen et Scriven (Hougen, 1977; Scriven, 1991), et à celui de Christophe Lécuyer d'autre part (Lécuyer, 1995) concernant l'histoire du MIT au tournant du siècle.

## Une première initiative au Massachusetts Institute of Technology (MIT) en 1888

Le MIT a été fondé en 1861 par des «*technologues*» d'origine variée (enseignants, ingénieurs, physiciens, industriels), avec l'objectif de mettre en œuvre de nouvelles formes d'enseignement de la technologie<sup>8</sup>, en réaction en particulier aux études classiques «*which served the persistent conservatism of a privilege (class) and of colleges like Harvard that offered such courses*»<sup>9</sup>.

Après un certain succès, puis une période difficile au milieu des années 1870, le MIT est reparti de plus belle à partir des années 1880, avec une nouvelle génération d'administrateurs, en général ingénieurs d'origine. Ils développèrent l'institution en s'appuyant toujours sur les *Teaching Laboratories*, une des originalités du MIT depuis sa création, et

---

<sup>8</sup> Au départ, le MIT rassemblait divers instituts et/ou organisations: «*The school of industrial science, the school of mechanic arts, the Lowell school of practical design, and the Society of Arts*».

<sup>9</sup> Bigelow, J (1865). *An Address on the Limits of Education Read Before the Massachusetts Institute of Technology*. Boston: Dutton & Company, p. 25 (cité par Lécuyer, 1995).

transformèrent certaines des organisations présentes en *Engineering Schools*. En 1890, le MIT était la plus importante école de ce type aux États-Unis, drainant le quart des étudiants du domaine.

C'est dans ce contexte que les administrateurs confièrent au Professeur Norton le soin de lancer en 1888 un *Chemical Engineering degree*. Lewis M. Norton (1855-1893) avait étudié la chimie au MIT, et après deux années comme *Assistant*, était parti en Allemagne préparer une thèse qu'il soutint en 1879. À son retour aux États-Unis, il passa deux années dans une entreprise industrielle, avant de rejoindre le MIT en 1881<sup>10</sup>. Durant son passage dans l'industrie il put se rendre compte des problèmes d'ingénierie du monde industriel, non seulement dans le domaine textile qui était celui de l'entreprise où il travaillait, mais plus généralement dans les domaines de la construction et de la régulation des fours, ainsi que de la fabrication de matières organiques. En 1888, il proposa donc au MIT un nouveau programme original, intégrant des parties de *Mechanical Engineering* à de la «chimie appliquée», des enseignements de chimie industrielle, ainsi que des travaux de laboratoire<sup>11</sup>, programme qu'il appela CE. Ces propositions furent acceptées et les cours commencèrent en

septembre 1888. Norton mourut malheureusement très jeune (à trente-huit ans), et ses successeurs (Frank Drown de 1893 à 1895, puis Frank Thorp de 1895 à 1902) revinrent à une vision plus classique d'enseignements disjoints de *Mechanical Engineering* et de chimie industrielle<sup>12</sup>.

## La naissance et l'essor du CE en 1902

En 1902, William Hurts Walker (1869-1934) est engagé par le nouveau Président du MIT, Henry Pritchett, nommé deux ans auparavant à la tête de l'établissement. Walker avait fait des études de chimie au Pennsylvania State College, où il avait obtenu son diplôme en 1890. Élève brillant, il obtint une bourse pour faire une thèse en Allemagne, plus précisément à Göttingen<sup>13</sup>. À son retour, après avoir occupé des postes d'enseignants, il rejoint en 1900 Arthur Dehon Little (1863-1935) dans sa société de consultants en chimie industrielle.

Walker est appelé par Pritchett pour rénover l'enseignement de laboratoire de CE. Il accepte cette mission, tout en conservant un partenariat avec Little, partenariat qui perdurera jusqu'en 1905.

---

<sup>10</sup> G. C. Williams et J. E. Vivian, «Pioneers in Chemical Engineering at M.I.T.» (*in Furter*, 1980, p. 113).

<sup>11</sup> Il y avait par exemple un cours de *Chemical Machinery* d'un point de vue ingénieur (pompes, appareil de réfrigération, filtre-presses, techniques d'évaporation sous vide) et un cours de chimie appliquée (équipement) (Scriven, 1991, p. 11).

---

<sup>12</sup> Des enseignements de ce type, *Mechanical Engineering* et chimie industrielle, prénommés aussi *Chemical Engineering* vont apparaître dans d'autres universités (Minnesota 1891, Pennsylvanie 1892, Tulane 1894 et Michigan 1898).

<sup>13</sup> L.E. Scriven rappelle qu'entre 1850 et les débuts de la première guerre mondiale, près de 1 000 étudiants en chimie vont obtenir des bourses pour aller en Allemagne afin de compléter leurs études (Scriven, 1991).

Dans un contexte où il y eut beaucoup de débats d'idées (Scriven, 1991, p. 12), il va immédiatement s'impliquer fortement et réfléchir à comment améliorer le contenu du programme d'enseignement, en s'inspirant notamment de l'ouvrage que venait de publier en 1901 un ingénieur-conseil anglais, Georges E. Davis (1850-1907), *Handbook of Chemical Engineering* (Davis, 1901)<sup>14</sup>.

Pendant cette période, plusieurs stratégies de développement se sont affrontées, à l'instigation et en réaction aux idées de Pritchett. Ce dernier est décrit par Lécuyer comme un « *industrial nationalist* », qui essaya de transformer le MIT en une institution nationale contribuant à la croissance industrielle du pays et à l'aider dans sa compétition avec les autres pays industrialisés.

C'est sur ces bases qu'il décida d'embaucher de grands professionnels, comme Walker, qui institutionnalisa la recherche (par la création de laboratoires de recherches), mit sur pied des programmes d'enseignement structurés, et essaya de beaucoup développer les relations avec l'industrie. Il proposa enfin une fusion du MIT avec la Lawrence Scientific School de Harvard. Les idées de Pritchett reçurent un accueil mitigé. À propos de ces différentes stratégies, un texte de Dugald Jackson<sup>15</sup>, spécialiste de *Electrical engineering*, illustre bien les idées d'un des groupes de pression, celui auquel Walker appartenait : « *Engineering demands industrial engineers – men with an industrial training of the highest type, competent to conceive, organize and direct extended industrial enterprises of broadly varied character. [...] Moreover, they must know men and the affairs of men – which is sociology; and they must be acquainted with the business methods and the affairs of the business world.* »

Autorisation aimable de la Chemical Heritage Foundation



William H. Walker

<sup>14</sup> L'ouvrage aura une 2<sup>e</sup> édition en 1904 en deux volumes. L'organisation de l'ouvrage, le titre des chapitres, sont vraiment les prémices de ce que seront ultérieurement les « opérations unitaires ». Voir à ce sujet Jacques Breysse, « Du génie chimique au génie des procédés », *Mémoire de DEA, CNAM-CDHTE*, 2004.

<sup>15</sup> Cité par Lécuyer (1995, p. 62).

À partir de 1905, dans le cadre du département de chimie, Walker fait évoluer le programme du travail de laboratoire et réorganise les cours. Il va apporter beaucoup d'enrichissements par rapport au premier contenu de Norton, incorporant – en liaison avec Arthur Noyes, Professeur de chimie – de la chimie physique, de la thermodynamique, de la technologie qui était déjà abordée en Allemagne à l'époque (transfert de chaleur, distillation et mécanique des fluides), ainsi que de la corrosion. Le programme prit une forme quasi définitive à partir de 1907.

En 1908, Warren K. Lewis, ancien élève de Walker, après avoir préparé lui aussi une thèse en Allemagne, vint renforcer l'équipe enseignante. Ce dernier entreprit des travaux dans les domaines de la distillation, filtration, écoulement des fluides, transfert de chaleur, travaux qui seront publiés dans une nouvelle revue (1908), *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Après le départ de Noyes pour la Californie, qui entraîna une rupture entre chimistes et *chemical engineers*, un département autonome de CE est créé en 1920, département dont Lewis prit la Direction, après la démission de Walker (Scriven, 1991, p. 18).

## **Fondation de l'American Institution of Chemical Engineers (AIChE) en 1908**

En 1905, Richard K. Meade, fondateur du périodique *The Chemical Engineer* l'année précédente, suggérait à ses lecteurs la création d'une association de *chemical engineers*. Le 22 juin 1908, une assemblée générale fut organisée à Philadelphie pour sa constitution, et prit le nom d'American Institution of Chemical Engineers (AIChE). Samuel Sadtler fut élu président et John Olsen secrétaire général. Dans un premier temps les objectifs prioritaires furent d'une part, d'éviter un conflit direct avec l'American Chemical Society (ACS)<sup>16</sup> et, d'autre part, de préciser les contours et le contenu de la discipline. En ce qui concerne le premier point, la position de l'AIChE fut d'adopter des conditions d'adhésion très sévères : pour devenir membre il fallait avoir au moins 30 ans, être compétent en chimie et dans un domaine relevant de *l'engineering*, enfin avoir une expérience professionnelle industrielle si on n'était pas enseignant<sup>17</sup>. Dans ces conditions, l'association eut une croissance relativement faible en termes de membres : 40 en 1908, 118 en 1910, mais

---

<sup>16</sup> L'ACS, en la personne, entre autres, de son Président T. S. Bogert, avait manifesté une forte opposition à la création de l'association. L'ACS mettra en place la même année une division en son sein, « Industrial Chemistry and Chemical Engineering » et lancera le *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*.

<sup>17</sup> Pour être membre actif, il fallait avoir un métier dans le domaine ou faire de la chimie appliquée, avec une expérience d'au moins 10 ans en l'absence de formation académique, dont cinq de fabrication (Reynolds, 1983, p. 5).

encore seulement 344 en 1920. Par ailleurs, elle adopta une position prudente et conciliante dans les domaines où il y avait recouvrement avec l'ACS et mit en relief leur complémentarité.

Pour préciser les contours du domaine, l'association décida de se pencher sur les aspects éducatifs. Dès décembre 1908, l'AICChE mit en place un *Committee on Chemical Engineering Education*. Il fut chargé de définir, via des discussions et un questionnaire, ce qu'un programme d'enseignement devait inclure. Reynolds remarque à ce sujet : « *This Committee was the most dynamic and innovative element within the Institute over most of the next two decades and made it a major forum for discussing and exploring various experiments in chemical engineering education and various views on how chemical engineers should be trained* » (Reynolds, 1983, p. 11). C'est également à cette époque qu'un événement important va permettre de conforter les idées émergentes relatives au CE et à son intérêt en termes de développement industriel. Au cours de 1917, les Américains, pour aider leurs alliés dans le conflit avec l'Allemagne, vont lancer la fabrication de masques à gaz et démarrer un programme de recherche sur les gaz de combat. En juin 1917, le National Research Council (NRC) décide de construire, d'abord un immense complexe de laboratoires à Washington, ensuite, à partir de novembre 1917, une usine pour la fabrication des gaz : l'arsenal d'Edgewood (Ndiaye, 2001, pp. 83-90). Il est intéressant de noter qu'une partie de l'encadrement du MIT (chimistes et *chemical engineers*) va

être impliquée dans l'opération : Walker (Responsable de l'arsenal), Noyes, Lewis, McAdams... : « *Le programme de fabrication des gaz mobilisa les ingénieurs les plus en pointe, les croisés du génie chimique, qui, outre leurs motivations patriotiques, virent dans l'aventure l'occasion de démontrer leurs compétences.* » (Ndiaye, 2001, p. 86). Les conditions de travail étaient très dures (hygiène, sécurité), mais l'expérience très formatrice sur les aspects « industrialisation ».

En novembre 1918, Edgewood produisait chaque jour plus de gaz que la France et le Royaume-Uni réunis ! Après l'armistice, l'arsenal fut partiellement démantelé, mais certaines fabrications maintenues, avec de nouvelles mises en œuvre (gaz lacrymogènes).

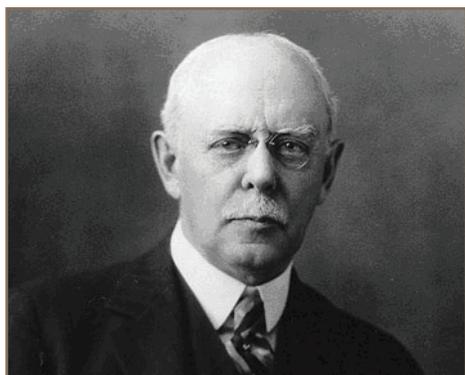
### **Le concept des *Unit Operations* (opérations unitaires)**

Walker va donc intégrer de nouvelles disciplines scientifiques (chimie physique, thermodynamique) à celles plus traditionnelles déjà prises en compte (transfert de chaleur, distillation, évaporation, mécanique des fluides,...). Progressivement le concept de « *Unit Operations* » va se pouvoir se développer et sera formalisé dans un rapport célèbre d'Arthur Little en 1915<sup>18</sup> :

---

<sup>18</sup> Arthur D. Little, « Report to the Corporation of MIT », décembre 1915, cité dans le chapitre 1 « Chemical Engineering Research, Lifeblood of American Industry » (Kirkpatrick, 1933, p. 5).

Any chemical process, in whatever scale conducted, may be resolved into a coordinated series of what may be termed «unit actions»<sup>19</sup>, as pulverizing, mixing, heating, roasting, absorbing, condensing, lixiviating, precipitating, crystallizing, filtering, dissolving, electrolyzing and so on. The number of these basic unit operations is not very large and relatively few of them are involved in any particular process. The complexity of chemical engineering results from the variety of conditions as to temperature, pressure, etc.... under which the unit actions must be carried out in different processes and from the limitations as to materials of construction and design of apparatus imposed by the physical and chemical character of the reacting substances.



Arthur D. Little

Il faudra attendre 1923, en particulier à cause des impératifs liés à la guerre mondiale, pour que le premier ouvrage formalisant un contenu technique détaillé relatif à ces opérations unitaires,

<sup>19</sup> Le nom de *Unit actions* (ou *Unit operations*) sera traduit par Cathala par «opérations fondamentales».

*Principles of Chemical Engineering*, soit publié (Walker, Lewis et McAdams, 1923). On trouvera ci dessous le plan de cet ouvrage :

#### Introduction

- I. Éléments de bilans matières industriels (*Elements of Industrial Stoichiometry*)
- II. Films fluides (*Fluid Films*)
- III. Écoulement de fluides (*Flow of Fluids*)
- IV. Transfert de chaleur (*Flow of Heat*)
- V. Combustibles et puissance (*Fuels and Power*)
- VI. Combustion
- VII. Fours et chaudières (*Furnaces and Kilns*)
- VIII. Production de gaz (*Gas Producers*)
- IX. Concassage et broyage (*Crushing and Grinding*)
- X. Séparation mécanique (*Mechanical Separation*)
- XI. Filtration
- XII. Principes de base de la vaporisation (*Basic Principles of Vaporization Processes*)
- XIII. Évaporation
- XIV. Distillation

Le savoir-faire industriel qui existait à l'époque était spécifique à chaque produit ou mélange traité, et restait dans un cadre de secret strict, sans vraiment de possibilité de diffusion et de capitalisation. Hougen rappelle à ce sujet les réactions négatives d'un manufacturier anglais, lorsque Georges Davis (voir note 14) annonça son intention de donner une série de cours de *Chemical Engi-*

neering en 1887 à Manchester: «*It is all very fine for Davis, after having entree to all the chemical works in the country, to now go and lecture about them.*». Davis répliqua: «*The science of Chemical engineering does not consist in hawking trade secrets. If a chemical engineer were discovered taking the processes and these details from one works to another, his professional reputation would soon come to an end*» (Hougen, 1977, p. 92).

Les opérations unitaires correspondaient donc à un changement considérable, dans la mesure où l'objectif était d'établir des lois générales caractérisant chaque opération, et applicables à n'importe quel type de produit ou de mélange. Cette segmentation du domaine va rester profondément ancrée chez tous les praticiens, y compris jusqu'à nos jours. Au départ, ces différentes opérations étaient relativement disjointes. Mais des interactions vont rapidement apparaître et donner une nouvelle cohérence à l'ensemble. Une étape importante, et caractéristique de ces interactions, sera la publication de travaux de Thomas H. Chilton et Alan P. Colburn relatifs aux analogies des transferts de matières, de chaleur, et de quantité de mouvements.

En termes de développement, cette époque est aussi marquée par quelque chose de très emblématique du CE à savoir la détermination de bilans matières et énergétique, pour tout ou partie de procédés (Hougen et Watson, 1931). Un peu plus tard, à partir de 1935, ce sera le développement d'applications de la ther-

modynamique aux procédés chimiques, en particulier par l'étude des propriétés thermodynamiques généralisées de composés purs à l'état gazeux ou liquide. Hougen l'explique de la façon suivante: «*[The chemical engineer] realizes that thermodynamic principles set fixed limits in the conversion of heat into useful work and also he realizes that thermodynamics sets the same limitations on the degree of completion that any reaction may attain*» (Hougen, 1977, p. 96).

Au départ, les connaissances de bases étaient presque exclusivement empiriques, que ce soit en Angleterre ou aux États-Unis. Mais très vite, les chercheurs vont développer les outils mathématiques adéquats pour représenter les divers phénomènes rencontrés. En 1923 paraît un ouvrage célèbre aux États-Unis, *Differential Equations in Applied Chemistry* (Hitchcock et Robinson, 1923), qui sera le premier d'une série d'ouvrages relative aux méthodes mathématiques dédiées au domaine (voir à ce sujet Scriven, 1991, pp. 19-20 et note 35). Mais le côté paradoxal vient du fait qu'à côté de cette tendance forte à conceptualiser et mathématiser les phénomènes mis en jeu, il va subsister une approche très «pratico-pratique» par le développement d'abaques, de tableaux synthétiques, de «règles du pouce» aussi nombreuses que variées, de méthodes dites de *short-cut*<sup>20</sup>, qui font partie du curriculum de l'ingénieur et

---

<sup>20</sup> Ce sont des méthodes rapides de calcul d'appareillage au moyen d'hypothèses simplificatrices sur le système à traiter (composition, propriétés physiques).

sont encore parfois utilisées aujourd'hui. Enfin en 1934 apparaît un ouvrage de synthèse de John H. Perry, le «Perry» (Perry, 1934), à la fois recueil de données et de méthodes, rassemblées dans un seul et gros volume. Cet ouvrage deviendra un des ouvrages de référence des ingénieurs.

En définitive, le succès et le développement du CE (avec comme bases les opérations unitaires) s'expliquent, ainsi que le souligne Pap Ndiaye, par au moins deux raisons: cette nouvelle approche facilitait le dialogue entre universitaires et industriels, ce que Pap Ndiaye appelle «*offrir un espace de négociation*» (Ndiaye, 2001, p. 79), et par le fait que l'industrie chimique américaine, privilégiant une production de masse avec des installations de grande capacité et des procédés si possibles continus, avait besoin d'une méthodologie rationnelle que lui offrait la discipline pour faire face aux problèmes d'extrapolation<sup>21</sup>.

## Le cas de l'Allemagne

L'émergence de colorants de synthèse à la fin des années 1850, à la suite des travaux de Perkin en Angleterre et de Verguin en France<sup>22</sup>, va se révéler un déclencheur majeur dans le développement de l'industrie chimique allemande. À partir des années 1860, on observe en effet le démarrage de nombreuses entreprises ayant pour objectif de produire ces colorants: entre autres, la Badische Anilin und Soda Fabrik (BASF) à partir de 1861, la Farbenfabrik vormals F.Bayer (1881) avec une première usine dès 1863 (*Fried, Bayer und C°*), ou la Farbwerke Hoechst (1880) aussi démarrée en 1862 (Aftalion, 1988, pp. 48-49).

Ce développement va se faire avec l'appui d'une recherche académique déjà bien établie. L'Allemagne disposait au tournant des XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles d'un système éducatif performant, par l'intermédiaire d'universités régionales (une par État de la confédération), avec des chaires de chimie mises en place progressivement dans le premier quart du XIX<sup>e</sup> siècle, ou *technische Hochschulen*, ayant une durée d'études de quatre ans après l'*Abitur* ainsi que des études en *Realschule* ou *Realgymnasium*, disposant de moyens expérimen-

---

21 «*The American tradition of mass production was even more critical to the emergence of chemical engineering as a profession than the quantitative growth of the American industry. [...] In America, the longstanding preference for more efficient mass production carried over into the chemical industry*» (Reynolds, 1983, p. 2).

---

22 Le point de départ correspond aux travaux de William Henry Perkin à Londres (synthèse de la mauvéine en 1856, premier colorant de synthèse), puis de François Emmanuel Verguin à Lyon (synthèse de la fuchsine en 1858). L'éclat et les qualités tinctoriales de la fuchsine incitèrent de nombreux industriels à essayer de la produire (Chastrette, 2009).

taux très importants<sup>23</sup>. Ces écoles avaient pour vocation de former les cadres industriels de la nation. En 1878, près de 5 500 étudiants avaient déjà été formés dans les *technische Hochschulen*, chiffre qui ne va cesser d'augmenter jusqu'en 1902, représentant une moyenne de 3 000 techniciens formés chaque année jusqu'à la première guerre mondiale<sup>24</sup>. Dans ce contexte, les résultats scientifiques académiques vont rapidement apparaître. Nous ne rappellerons ici que deux des plus marquants, toujours dans le domaine des colorants artificiels, à savoir la synthèse de l'alizarine (garance) en 1869 (Graebe et Liebermann à Berlin), et la structure de l'indigo en 1883 (Von Baeyer à Munich) avec sa synthèse industrielle par BASF en 1897.

L'impressionnant développement de l'industrie allemande des dernières décennies du XIX<sup>e</sup> siècle s'explique par divers facteurs.

En premier lieu, partant d'un faible niveau d'industrialisation, elle a pu adopter les procédés du moment les plus performants et faire le pari de se lancer dans un domaine - les colorants - qui va se révéler un formidable tremplin pour de futurs développements en chimie orga-

nique et pharmaceutique. Ce processus évolutif se fait en nouant des liens étroits avec la recherche académique à l'origine de ces nouveaux colorants<sup>25</sup>, et par là de constater aussi tout l'intérêt de disposer en interne d'une véritable "recherche industrielle". Ces liens se caractériseront souvent par des relations suivies, voire personnelles, entre responsables industriels et professeurs d'université.

En second lieu, François Caron écrit à propos des trois entreprises majeures : *«il s'instaura entre ces trois entreprises une compétition intense pour la recherche de nouveaux produits, mais une fois reconnue la supériorité de l'une d'entre elle dans tel domaine particulier, elles savaient limiter les effets d'une concurrence destructrice. Elles s'engagèrent ainsi, à partir de 1904, dans des systèmes d'accord et de participation commune qui devaient déboucher, en 1925, sur la création de l'I.G.Farben»* (Caron, 1985, p. 75).

Enfin, en complément à cette politique, des associations professionnelles très actives vont se constituer dans le courant des années 1870 (Meinel, 2001). La Verein zur Wahrung der Interessen der chemischen Industrie Deutschland (As-

---

<sup>23</sup> Les onze *Polytechnikum* se trouvaient à Aix-la-Chapelle, Charlottenburg, Brunswick, Karlsruhe, Darmstadt, Dresde, Hanovre, Munich, Stuttgart, Danzig, et Breslau. Victor Cambon détaille tout particulièrement les cas de Hanovre et Danzig, où il décrit les moyens «*extraordinaires*» mis à disposition des étudiants (Cambon, 1901, p. 13 et suivantes).

<sup>24</sup> Jean-Claude Guesdon, «*Conceptual and Institutional Obstacles to the Emergence of Unit Operation in Europe*» (*in* Furter, 1980, p. 63).

---

<sup>25</sup> Il faut mentionner ici Heinrich Caro (1834-1910) qui illustre bien ce type de liens. Coloriste de formation, après s'être perfectionné en Angleterre à la chimie des colorants de synthèse et y avoir développé une activité industrielle (1859-1866), il revient en Allemagne, ou après un bref passage dans un laboratoire académique, il prendra la Direction de la BASF (1868-1889). Il participera activement à la synthèse de l'alizarine.

sociation pour la protection des intérêts de l'industrie chimique allemande) sera créée en novembre 1877. Assez rapidement, ce fut un succès (le nombre d'adhésions augmenta de 70 % la deuxième année), et le « Verein » devint l'organe officiel de l'industrie chimique allemande. La même année, 1877, était également fondée la Verein analytischer Chemiker (Association des chimistes analystes), qui deviendra la Deutsche Gesellschaft für angewandte Chemie (Société allemande pour la chimie appliquée) en 1887, et finalement la Verein deutscher Chemiker (VDC, Association des Chimistes Allemands) en 1896. Là aussi, cette association rencontra vite le succès, et en 1908 elle comptait 3692 membres, soit plus que la Deutsche chemische Gesellschaft (Société chimique d'Allemagne, fondée par August Wilhelm Hofmann (1818-1892) en 1867 à son retour d'Angleterre<sup>26</sup>), notamment en raison de son action mettant l'accent sur la formation comme outil de promotion sociale. Vers 1912, elle comptait cinq mille membres (2/3 des chimistes allemands) et comprenait presque tous les professeurs de chimie et les industriels les plus importants: «c'était l'organisation chimique la plus importante du monde» (Meinel,

2001, p. 157). Elle était extrêmement active (revue de chimie appliquée, liste de publications, contrôle et normalisation, rencontres scientifiques mensuelles au niveau des sections locales) et à partir de 1907, elle mit en place des groupes spécialisés à des fins d'expertise technique !

Les Deutsche Chemische Gesellschaft, Verein zur Wahrung et Verein Deutscher Chemiker dominèrent sans partage jusqu'à la première guerre mondiale le monde de la chimie en Allemagne. Christoph Meinel écrit à leur propos: «*Au travers de leurs journaux et de leurs commissions d'experts, les associations facilitèrent aussi le transfert des connaissances et d'innovation de la science vers l'industrie, particulièrement à une époque où la recherche industrielle n'avait pas commencé!* [...] *Beaucoup plus importants (encore) furent les liens personnels que les professeurs entretenaient avec les entreprises de la chimie, liens qui se matérialisaient au travers de l'expertise, de brevets, d'actionnariat et du marché habituel de diplômés en échange de produits chimiques*» (Meinel, 2001, p. 161).

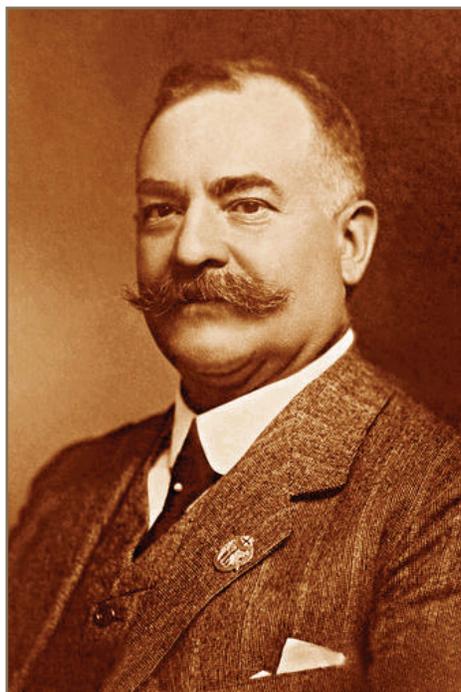
La Deutsche Chemische Gesellschaft jouera un rôle actif au début des années 1870 en vue d'une réforme législative pour la protection des inventions, au sein du Deutscher Patentverein un groupe de pression politique créée en 1874. Pour ce qui concerne la chimie, le problème le plus controversé était de savoir si ce devait être le produit ou les procédés qui devaient être protégés.

---

<sup>26</sup> August Wilhelm von Hofmann, élève de Liebig à Giessen, sera appelé à la tête du Royal College of Chemistry en 1845, où il restera 20 ans. C'est sous sa direction que W. Perkin découvrira la formule de la mauvéine en 1856. Il reviendra en Allemagne en 1865 pour occuper la chaire de chimie de l'université de Berlin. Dès son retour, il commencera à mettre en place les structures d'une société savante calquée sur la Chemical Society of London, société qui sera donc créée en 1867 et dont il sera le premier Président.

La loi de 1877 qui fut adoptée instaura l'examen préalable et retint la protection des procédés (Meinel, 2001, p. 153). Cela eut un effet particulièrement bénéfique au niveau développement, en obligeant les industriels à rechercher en permanence les meilleures voies chimiques et les procédés les plus performants, de peur de perdre les marchés concernés !

Du point de vue méthodologique, l'approche allemande va être complètement différente de celle choisie par les États-Unis et le Royaume Uni : « *In opposition to many friends I place myself [...] on the standpoint [...] that the chemist does not require (engineering) as a necessity. Nothing, in my opinion, is worse than to make of a chemist an Ingénieur-chimiste as is done in France, or chemical engineer as is very often done in England. [...] I leave to the engineer and to the chemist their respective science but I desire that both work together.* »<sup>27</sup> Ce texte de Carl Duisberg (1861-1935), un des responsables de l'entreprise Bayer, date de 1896 et est très souvent cité, car il illustre parfaitement la philosophie des



Autorisation aimable des Editions Delcourt

Carl Duisberg

Allemands en la matière ! L'organisation choisie par l'entreprise Bayer est décrite dans le même texte<sup>28</sup>.

Cette dichotomie entre Chimiste et Ingénieur va donc marquer durablement toute la chimie allemande, ce qui permet de comprendre que l'apparition formelle du CE en Allemagne ne se fera qu'à partir des années 1930 et dans le contexte de la

<sup>27</sup> Carl Duisberg, « The Education of Chemists », une conférence lue devant la section de New-York de l'ACS au College of Pharmacy le 18 mai 1896 et reproduit dans le *J. Soc. Chem. Ind., Jubilee number*, July 1931, pp. 171-175 (Duisberg, 1931). Carl Duisberg avait fait des études de chimie à Göttingen puis à Jena où il avait passé son Doctorat. Après une brève période post-doctorale, il est embauché par l'entreprise BAYER en 1883, où il va rapidement s'illustrer en recherche et développement (colorants, produits pharmaceutiques). En 1900, il est nommé au *Board of Managers*, puis Directeur Général en 1912, poste qu'il occupera jusqu'en 1924 à la création de l'IG Farben, dont il sera l'un des cofondateurs.

<sup>28</sup> En matière de colorants artificiels, les chimistes nouveaux embauchés devaient d'abord passer dans le laboratoire d'application afin d'être parfaitement au courant des exigences du marché. C'est seulement après qu'ils pouvaient rejoindre un laboratoire de recherche scientifique et de développement de nouveaux produits. (Duisberg, 1931, pp. 173-174).

« filière Ingénieurs », la Verein Deutscher Ingenieure (VDI, Association des Ingénieurs Allemands). Sur ce point, il faut aussi rappeler la longue tradition d'ouvrages de technologie chimique en Allemagne, dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle : en 1893, notamment celui de Hausbrand en distillation, de Nagel pour le transport de gaz, liquides et solides, ou celui de Wolfrum en 1903<sup>29</sup>. Enfin, et surtout, l'ouvrage de Alwin Parnicke, *Die maschinellen Hilfsmittel der chemischen Technik* (première édition en 1894), où l'on trouve implicitement une classification en opérations unitaires déjà très prononcée. Il sera traduit en français en 1906<sup>30</sup>.

Paradoxalement c'est d'abord dans le cadre du VDC, l'Association des chimistes, que les aspects « équipement et matériel » vont être abordés à partir de 1918, avec la création d'une section dédiée à « l'équipement chimique » (*Fachgruppe für Chemisches Apparatewesen*) et avec l'idée de rapprocher Chimistes et Ingénieurs. Dans cette section, Max Buchner (1866-1934), responsable du groupe « Équipement de grande dimension » présentera en 1919 un mémorandum demandant la création dans les universités de chaires dédiées au « calcul d'appareillage chimique et à la science des matériaux ». Il faudra toutefois attendre 1928 pour voir une première chaire dans ce

domaine à Karlsruhe (*Equipment Engineering*). Buchner est aussi à l'origine de la création d'une foire nationale de matériel chimique à partir 1920, l'ACHEMA. En 1926 la section évoquée plus haut se transforme en société savante autonome, la DECHEMA (Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen), regroupant « chimistes et ingénieurs, travaillant dans le domaine du CE » (Onken, 1997 : 72). C'est la DECHEMA qui aura donc la charge de l'organisation de l'ACHEMA, foire qui deviendra Internationale à partir de 1930 et sera déplacée sur le site de Francfort à partir de 1937.

C'est toutefois à partir de 1935 que le CE va réellement émerger avec la création par le VDI, l'Association des ingénieurs, d'un groupe de travail dédié aux aspects « procédés » (*Verfahrenstechnik*), avec là aussi la même idée-force, celle de rapprocher chimistes et ingénieurs. Le premier président en sera d'ailleurs un physico-chimiste, Arnold Eucken (1884-1950), coéditeur d'un traité de références important, *Der Chemie-Ingenieur*. Après l'interruption de la guerre, les activités du groupe reprendront à partir de 1948 sous l'autorité de Ernst Schmidt, avec toujours la participation de beaucoup de chimistes. Le groupe se transformera en société scientifique autonome en 1959, la GVC-VDI (*Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen*).

---

29 A. Wolfrum, *Chemische Praktikum mit einem Atlas darstellend die Apparate der Chemischen Technik*, 1903 (manuel chimique contenant un atlas des appareils utilisés en technologie chimique).

30 (Parnicke, 1906).

## L'approche française durant la première guerre mondiale et entre les deux guerres

### L'industrie chimique française au début du xx<sup>e</sup> siècle

On peut d'abord rappeler que dans les années précédant la première guerre mondiale, l'industrie chimique française occupe globalement un rang satisfaisant, le quatrième dans le monde, avec des productions pas très éloignées de ses principaux concurrents, l'Allemagne, le Royaume-Uni et les États-Unis<sup>31</sup>.

Il y a toutefois à l'époque un profond «désenchantement» de la part des professionnels du domaine. Une enquête est d'ailleurs entreprise en 1905 par la *Revue scientifique* (la «revue rose») pour essayer de faire un point à ce sujet. Les auteurs de l'enquête écrivent par exemple (Collectif, 1905, p. 97) : «*Tout le monde sait que l'industrie chimique française [...] a subi un déclin manifeste depuis un certain nombre d'années. À côté de nous, au contraire,*

*l'Allemagne a pris une place prépondérante, son action croît encore tous les jours et l'on peut se demander où s'arrêtera la différence entre le chiffre de nos affaires et le sien, différence tout à notre avantage autrefois, mais de plus en plus écrasante à l'heure actuelle.*» Les auteurs citent en particulier un texte d'Albin Haller (1849-1925)<sup>32</sup>, quant aux causes de cet état de fait, où, à côté d'explications classiques (coûts de fabrication et de transport...) ce dernier dénonce «*cette espèce d'empirisme qui règne encore en maître dans beaucoup de nos usines*»<sup>33</sup>.

Mais, surtout, malgré l'existence en France d'un grand nombre de sociétés savantes, professionnelles ou locales, l'industrie chimique française, à la différence des industries allemandes et britanniques, ne dispose pas d'organisation(s) nationale(s) contribuant à faire émerger et fédérer des

---

<sup>31</sup> Mais l'Allemagne est très largement en tête dans le domaine des bases organiques («benzols») et des colorants de synthèse. Dans ce dernier domaine, sa production est près de 20 fois celle de la France ! Il existe un certain nombre d'ouvrages et articles de référence sur tous ces aspects (par exemple Sakudo, 2011 ; Daviet, 1991), ainsi que les tableaux de Goertz (Goertz, 1990). Dans les références d'époque, nous mentionnerons «L'enquête sur les industries chimiques françaises» parue dans la *Revue scientifique* (Collectif, 1905) et l'ouvrage *L'essor des industries chimiques en France* (Grandmougin, 1917).

---

<sup>32</sup> Albin Haller, *Rapport sur la chimie à l'exposition universelle de 1900, 1901*, I.N. Après des débuts modestes en tant que pharmacien, A. Haller gravit progressivement tous les échelons académiques en Alsace puis à Nancy en pharmacie et en chimie, pour devenir Maître de Conférences en Chimie en 1880, puis Professeur en 1885. Pendant toute cette période il s'implique fortement dans le projet d'une École de chimie à Nancy qui verra le jour en 1887 et dont il sera le Directeur jusqu'en 1899. Il est ensuite nommé à Paris à la Sorbonne comme Professeur titulaire de la chaire de chimie organique, avant de devenir Directeur de l'École Supérieure de Physique et Chimie de la ville de Paris en 1905, poste qu'il occupera jusqu'à sa mort. Il était membre de l'Institut depuis 1899. À propos de Haller et la formation des chimistes, voir par exemple Langliney, 2014.

<sup>33</sup> D'autres auteurs évoqueront le problème des relations entre industriels et monde académique, insuffisantes à leurs yeux : par exemple Guillet, 1900, pp. 321-327 ; Fleurent, 1915.

innovations scientifiques et techniques. La Chambre syndicale des produits chimiques, créée dès 1860 pour la défense des intérêts de l'industrie chimique française, ne va pas en effet jouer ce rôle. D'abord parce qu'elle n'est elle-même qu'un regroupement de syndicats d'entreprises dans des domaines techniques où chacun affiche sa différence<sup>34</sup>, ensuite, ceci expliquant probablement cela, parce qu'elle ne se donne que des objectifs de type commerciaux, financiers (prix, douanes, taxes), représentation auprès des tribunaux de commerce, brevets...<sup>35</sup>

Et il faudra donc attendre la guerre pour avoir les conditions permettant de fonder une organisation d'envergure nationale. La société de chimie industrielle (SCI) est fondée le 27 avril 1917 avec pour objectif (Fell, 2001, p. 69) :

1. de contribuer à l'expansion de l'industrie chimique dans tous ses domaines ;

---

<sup>34</sup> En 1910, elle se transforme en Syndicat général de produits chimiques (SGPC), dont les sept syndicats adhérents sont : le syndicat des fabricants d'extraits tannant tinctoriaux de France, la chambre syndicale des fabricants de produits pharmaceutiques, le syndicat professionnel des fabricants de superphosphates, la chambre syndicale des fabricants de colles et gélatines, la chambre syndicale de la grande industrie chimique, l'Union syndicale des usines de carbonisation des bois de France, et enfin le Syndicat général des industries chimiques et commerces annexes (Marseille). Cependant tous les syndicats du domaine chimie/pharmacie ne sont pas adhérents, et il y aura une tentative du SGPC pour faire adhérer le Syndicat général de la droguerie française et celui de la parfumerie française : voir *Bulletin du Syndicat général des produits chimiques*, juin 1914, p. 292.

<sup>35</sup> En 1890, les commissions d'experts de la chambre syndicale sont : bulletin mensuel, droits de régie et d'octroi, commerce général, transports par chemin de fer et eau, adjudications publiques, législation.

2. de grouper tous les Chefs d'industrie, professeurs, ingénieurs, chimistes, etc. qui y sont intéressés ;
3. de contribuer au progrès de la chimie industrielle, tant au point de vue économique qu'au point de vue scientifique.

Ulrike Fell rappelle que la fondation de la SCI donna lieu à des discours imprégnés de nationalisme et mentionne une lettre circulaire de Paul Kestner<sup>36</sup>, son premier Président, qui énumère les causes du retard pris par l'industrie française : le trop faible engagement financier des industriels, l'intérêt réduit qu'ils portaient aux résultats de la recherche, la négligence à l'égard de la chimie dans les grandes écoles. La guerre et les nécessités de la défense du pays ont selon lui suscité d'admirables performances. Cet élan ne doit pas être brisé<sup>37</sup> : « [...] *il faut que la chimie redeviene une grande science française ; il faut que l'industrie chimique trouve dans notre pays ses représentants les plus autorisés. C'est à cette œuvre que nous vous convions.* »

Les présidents qui se succédèrent entre les deux guerres, furent tous des Chefs d'entreprise ou des hauts dirigeants

---

<sup>36</sup> Paul Kestner (1864-1936). Né à Mulhouse et diplômé de l'École de chimie de cette ville, il prépare ensuite une thèse dans le laboratoire de Wurtz à Paris. Après une première expérience industrielle chez Kuhlmann, puis un séjour de deux ans dans le laboratoire de Lunge à Zurich, il démarre en 1891 une activité industrielle d'équipementier pour l'industrie chimique. Cofondateur en 1919 avec W. Pope de l'IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), il recevra la médaille de la Society of Chemical Industry en 1920.

<sup>37</sup> Circulaire de P. Kestner (1917) – Archives de la SCI (Fell, 2001, p. 79).

de l'industrie chimique<sup>38</sup>. Les objectifs de promotion de l'industrie chimique et de la chimie industrielle passèrent principalement à travers trois grands types d'activités : le journal *chimie et industrie*, l'organisation de congrès et autres réunions d'information technique (Fauque, 2013), et enfin un « Centre de documentation chimique » (CDC).

### L'enseignement de la chimie pratique et/ou industrielle

Les premiers enseignements de chimie à vocation réellement industrielle datent de 1822 à Mulhouse, avec la mise en place d'un cours de « chimie appliquée aux arts », dans le contexte du collège municipal de la ville. Il donnera lieu quelques années plus tard en 1854 à une École, créée conjointement par la Municipalité et la Société Industrielle de Mulhouse. L'enseignement comportait non seulement une formation dans le domaine de la teinture et de l'impression, mais aussi des cours de chimie<sup>39</sup>. C'est seulement dans les années 1880 qu'il y aura d'autres initiatives

dans le domaine : c'est en 1882, la création de l'École Supérieure de Physique et de Chimie industrielle de la ville de Paris, à l'initiative de Charles Lauth, avec l'objectif d'un enseignement adapté au milieu industriel<sup>40</sup>. C'est aussi l'année suivante la création à Lyon de l'École de Chimie Industrielle, avec le soutien de Chambre de Commerce, dans le contexte d'une forte demande liée au développement de l'industrie chimique dans la région lyonnaise, enfin celle, quelques années plus tard en 1887, de la fondation de l'Institut de Chimie de Nancy. D'autres Écoles ou Instituts de chimie verront le jour dans les années qui vont suivre, délivrant elles aussi pour la plupart à plus ou moins brève échéance un diplôme d'« ingénieur-chimiste »<sup>41</sup>.

Il faudra attendre 1905 et les résultats de l'enquête entreprise par la revue rose (« L'enquête sur les industries chimiques françaises », que nous avons évoquée pré-

<sup>38</sup> Les présidents furent successivement : Paul Kestner (1917-1924), Lucien Dior (1924-1927), Donat Agache (1927-1929), Henry Gall (1929-1930), Louis Hauzeur (1930-1936), Sir Robert Mond (1936-1938).

<sup>39</sup> L'école est créée à l'appui d'un cours de « chimie appliquée aux arts » qui existait au collège municipal de Mulhouse depuis 1822. Voir à ce sujet le numéro spécial du *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, « La chimie et l'Alsace, 1850-1920 » (Collectif, 1994). Concernant l'École de chimie de Mulhouse, voir aussi Jean-Michel Chezeau, « Les chimistes, leurs institutions et leurs sociétés savantes entre les deux guerres : V – L'École de chimie de Mulhouse » (Chezeau, 2014).

<sup>40</sup> « L'École a pour but de former des chimistes et des physiciens pour l'industrie : elle ne cherche pas à faire des licenciés et des docteurs es sciences, mais à préparer des jeunes savants, capables, à leur sortie, de rendre des services à nos manufacturiers, qui, ne trouvant pas en France le personnel nécessaire avaient été entraînés dans le développement de leur industrie ou obligés de chercher leur collaborateur à l'étranger... » (Lauth, 1900, p. 20).

<sup>41</sup> Par exemple, l'Institut de Chimie Appliquée de Paris est autorisé à délivrer un diplôme d'Ingénieur chimiste à partir de 1906 et décide en 1907 d'aménager la formation en abordant les questions de l'art de l'ingénieur. Toutefois, suite à diverses difficultés (entre autres budgétaires), cela ne se concrétisera pas et cela amènera même l'association des anciens élèves de l'Institut de financer en 1908 à titre provisoire et sur leur propre budget, des cours de mécanique et d'électricité industrielle ; voir l'article de Virginie Fonteneau (2010, pp. 53-65).

cédemment; Collectif, 1905), pour avoir une analyse critique de la formation dispensée par un certain nombre de ces écoles. On y trouve la formulation de quelques suggestions concernant l'enseignement: renforcer la partie expérimentale, mettre en œuvre un maximum d'études de laboratoires, créer des écoles spécialisées (savonnerie/parfumerie, colorants/teinture) à l'image de l'École de chimie de Mulhouse, à l'époque hors de France.

La première guerre mondiale et l'infériorité de l'industrie chimique française en regard de son homologue allemande, va avoir pour conséquence de relancer le débat sur la formation des chimistes. Il s'agit encore d'une enquête d'opinion à partir d'avril 1916, à l'initiative de la *Revue de produits chimiques*, avec publication des réponses au fur et à mesure de leur transmission au journal. La même année en août, André Blondel, publie un article très critique dans la revue rose à propos de l'enseignement des Écoles de chimie sur l'aspect «ingénieur» de leur formation (Blondel, 1916)<sup>42</sup>. Cet article va évidemment interférer avec l'enquête, et susciter une grande émotion parmi les chimistes. Les nombreuses réactions seront regroupées dans un ouvrage que publie Grand-

mougin en 1917 (Grandmougin, 1917). Blondel répondra à ces réactions par une lettre ouverte publiée elle aussi dans cet ouvrage, et dans lequel il réprecise :

[...] qu'on abuse vraiment trop du titre d'ingénieur, quand il s'agit de chimistes et qu'il conviendrait de distinguer plus nettement les chimistes proprement dits, [...] des ingénieurs chimistes. [...] Il me semblait nécessaire de distinguer au moins les chimistes de laboratoires dont le métier est d'étudier les réactions chimiques, des ingénieurs chimistes dont le métier devrait être d'installer et de diriger des usines chimiques, ce qui n'est pas la même chose. Cela est si vrai qu'aux États-Unis, les établissements les plus modernes d'instruction publique, tels que l'Institut technique de Massachussets, ont pour ces deux catégories de spécialistes deux sections d'enseignement distinctes, portant respectivement le nom de Chemistry et Chemical Engineering.

Ces commentaires, où pour la première fois le CE est évoqué, n'auront toutefois pas de suite. Cela intervient à un moment où les associations de chimistes revendiquent haut et fort la légitimité de leur fonction dans l'entreprise et ne sauraient accepter une remise en cause possible de cette légitimité par le biais de l'émergence d'une nouvelle discipline<sup>43</sup>.

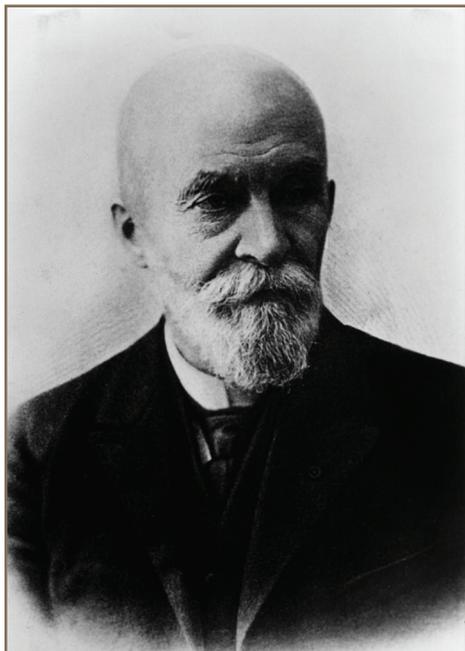
Dans l'entre-deux-guerres, la formation des différents Écoles ou Instituts à «vocation industrielle» va donc

---

<sup>42</sup> André Blondel (1863-1938), ancien élève de l'École Polytechnique et de l'École Nationale des Ponts et chaussées, entre en 1889 au service des «Phares et balises» où il fera toute sa carrière et des recherches très brillantes dans les domaines de la photométrie, de l'électrotechnique et de la propagation des ondes radioélectriques. Président de la Société Française d'Électricité en 1890, il recevra de nombreuses récompenses internationales et sera reçu à l'Académie des sciences en 1913.

---

<sup>43</sup> Voir au sujet de la formation des chimistes pour l'industrie l'article de Gérard Emptoz (2010, pp. 15-27), ainsi que celui d'André Grelon (1989, pp. 65-88) pour la formation des ingénieurs au tournant XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècle.



Albin Haller



Wikimedia

André Blondel

rester fidèle à un enseignement de chimie industrielle<sup>44</sup>, avec quelques disciplines annexes de « physique industrielle ». La dénomination d'ingénieur-chimiste va elle aussi perdurer, ce qui ne manquera

---

<sup>44</sup> Dans son histoire de l'enseignement de la chimie, René Sordes écrit en 1928, un peu plus de 10 ans après l'article de Blondel : « *L'enseignement ne correspondait certes pas à celui qu'aurait dû recevoir un élève Ingénieur, devant connaître, outre la chimie, les choses essentielles de la mécanique, de la construction, de l'électricité. Ces Instituts annexés aux Facultés continuèrent à former parfois d'excellents chimistes, mais restèrent malgré certaines indications de programmes généralement peu suivies, très loin des conditions minima de formation des ingénieurs-chimistes* » (Sordes, 1928, p. 160). Cette remarque est étonnante dans la mesure où elle est en contradiction avec ce qui a été retenu après les débats de 1916-1917 auxquels Sordes avait participé ! Résurgence amère d'un soutien à Blondel ?

pas de créer quelques confusions avec le terme anglais de *chemical engineer* (Coeuret, 2003). Le terme de CE n'est d'ailleurs que rarement mentionné dans la revue de la SCI, *Chimie et Industrie*, si ce n'est pour la citation de quelques ouvrages d'origine américaine, et dans le cas de quelques rares articles relevant d'une approche « opérations unitaires »<sup>45</sup>.

---

<sup>45</sup> L'ouvrage de Walker *et al*, *Principles of Chemical Engineering*, sera traduit et publié sous le titre particulièrement controversé de *Principes de Chimie industrielle* (2<sup>e</sup> édition 1933). Dans le domaine du génie des procédés, le thème le plus important abordé dans la revue reste la distillation/rectification, mais qui est à l'époque « une spécialité française » à la suite des travaux de Sorel et de Ponchon/Savarit. On trouve également beaucoup d'éléments relatifs aux problèmes de matériaux/corrosion.

On notera quand même la fondation en 1920 de la revue *Chaleur et industrie*, qui n'est pas sans aborder certains aspects typiques du génie chimique<sup>46</sup> mais qui restera dans le contexte d'une stricte appartenance à la physique industrielle.

## L'émergence de l'enseignement du génie chimique en France

Le génie chimique apparaît finalement en France en 1949 avec la fondation à Toulouse de l'Institut du Génie Chimique (IGC) par le Professeur Joseph Cathala (cf. notre introduction). La même année, l'École Supérieure des Industries Chimiques (ESIC) de Nancy va à son tour inclure un enseignement de ce type dans son cursus. Progressivement, dans les années 1950, la nouvelle discipline va être prise en compte, à des degrés divers, par la plupart des écoles de chimie, ou ayant des enseignements de chimie. Quelques décennies plus tard (années 1980) cette discipline s'étendra

à toutes les «industries de procédés», pour devenir le «génie des procédés»<sup>47</sup>. En matière historiographique, des études relatives aux institutions scientifiques de Toulouse et Nancy – dont les écoles de chimie – ont été réalisées dans le cadre d'un programme PIR-VILLES «Villes et Institution Scientifiques» (Grossetti *et al.*, 1996), dont l'un des objectifs était d'analyser l'impact de la présence de ces institutions sur les villes. Les autres villes concernées étaient Nantes, Lille et Montpellier. Ces études ont été ensuite reprises par les intervenants concernés du programme PIR-VILLES : Claude Detrez dans le cas de l'ESIC, devenu ENSIC, de Nancy (Detrez, 1998), et Michel Grossetti avec Claude Detrez en ce qui concerne l'IGC de Toulouse (Detrez et Grossetti, 1998 ; Grossetti et Detrez, 2000). Enfin, il faut aussi signaler une étude complémentaire de Laurent Rollet en 2007 concernant le développement de l'ENSIC, dans le cadre d'un ouvrage relatif aux origines du pôle scientifique de Nancy (Rollet, 2007).

---

<sup>46</sup> Le rédacteur en chef en est Julien Izart. Dans l'article de présentation du 1<sup>er</sup> numéro (mars 1920) il est dit, entre autres : «*nulle industrie ne peut s'affranchir de la physique industrielle ; aucune qui n'est recours, de près ou de loin, au froid ou à la chaleur, au séchage ou à l'humification, à la combustion vive ou lente, à l'évaporation ou à la vaporisation des liquides, à la détente ou à la compression des gaz*». Et dès la première année, on trouve effectivement des articles sur des sujets relevant typiquement du *Chemical engineering* comme les bilans thermiques (combustions), analyse industrielle, évaporation et distillation, techniques de réchauffage...

---

<sup>47</sup> Cf. l'introduction de cet article, ainsi que (Villiermaux *et al.*, 1983, pp. 19-27). Pour le Cnam, Gérard Emptoz décrit dans ce numéro l'enseignement d'André Étienne, nommé en 1955 professeur de Chimie industrielle.

## Fondation de l'Institut du Génie Chimique (IGC) de Toulouse en 1949<sup>48</sup>

Après des études supérieures en chimie à Toulouse, Joseph Cathala (1892-1969) devient en 1914 le préparateur du professeur Matignon au Collège de France. Il y restera treize ans et collaborera aux travaux de ce dernier en chimie industrielle et chimie physique. Il soutient sa thèse en 1927 (étude cinétique de la synthèse photochimique du phosgène), avant de partir au Canada

pour enseigner la chimie inorganique à l'Université Laval au Québec. C'est là qu'il découvre le *Chemical engineering* nord-américain et son rôle dans le développement industriel.

À son retour en 1931, il succède à Paul Sabatier à Toulouse comme titulaire de la chaire de chimie générale, et commence dès cette époque à essayer de créer en France un enseignement équivalent à celui du *Chemical engineering*. Mais comme il l'écrit un peu plus tard :

Mes premières tentatives pour introduire à Toulouse le génie chimique dans les études préparant nos étudiants à l'industrie chimique se heurtèrent à de telles difficultés que très rapidement je fus déchargé de toutes responsabilités dans la formation à Toulouse des Ingénieurs-chimistes. Un échec aussi total allait me procurer à la fois le loisir intellectuel pour une recherche honnête de ses causes et l'indépendance indispensable pour toute tentative nouvelle.

Le mouvement se pratique en marchant ; pour prouver l'utilité du génie chimique, il fallait le pratiquer. Cela voulait dire trouver les moyens matériels nécessaires pour poursuivre à l'échelle semi-industrielle la mise au point de procédés chimiques nouveaux<sup>49</sup>.

En 1932, il est nommé à la tête du Laboratoire d'électrochimie de l'Université de Toulouse. Ce laboratoire va



Joseph Cathala

Autorisation aimable de l'ENSIACET

<sup>48</sup> L'IGC (ENSIGC) a fusionné avec l'École Nationale Supérieure de Chimie de Toulouse en 2001 pour donner naissance à l'ENSIACET (École Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimiques et Technologiques).

<sup>49</sup> Joseph Cathala, document (manuscrit et non daté 1960 ?) de préparation d'un exposé relatif à l'installation semi-industrielle du laboratoire d'électrochimie [Archives ENSIACET].

être pour lui une base idéale pour démontrer la pertinence de ces idées. Dans un autre document en date de 1959<sup>50</sup>, Cathala précise :

Dès 1935, le laboratoire d'Électrochimie amorçait la création d'un laboratoire semi-industriel d'essais, devant permettre de pousser jusqu'à l'industrialisation complète des procédés chimiques nouveaux. Après quelques mois, une première équipe de collaborateurs disposait des moyens indispensables grâce à l'appui de l'industrie pyrénéenne et surtout de la Direction des poudres. Elle réussissait à mener jusqu'à l'échelle industrielle la mise au point d'un procédé électrothermique de traitement du sulfate de chaux donnant des gaz riches en SO<sub>2</sub> (60 %) faciles à convertir en acide sulfurique et laissant un laitier de ciment alumineux.

Au moment de la guerre, Cathala quitte la France en 1940 et s'établit en Grande Bretagne où il restera jusqu'en 1945 comme Ingénieur Conseil de la R.O.F. (Royal Ordnance Factory). Dans ce contexte, il a une activité d'expertise industrielle dans des domaines complexes et risqués (préparation d'explosifs). Il conserve aussi des liens étroits avec le Royaume-Uni (il deviendra membre de l'Institution of Chemical Engineers (IChE) dès 1946) non seulement avec la R.O.F., mais aussi avec les milieux académiques (Prof. Newitt – Imperial College – et Cummings – Glasgow). Dès son retour en France, il se remet à la tâche pour créer

une école de génie chimique à Toulouse. Le 26 mars 1947, le conseil de l'université demande la transformation du diplôme d'Ingénieur électrochimiste de l'Université de Toulouse en diplôme d'Ingénieur du génie chimique, demande qui est acceptée (arrêté ministériel du 17 mars 1948). La première promotion sortira la même année et comptera cinq reçus sur sept candidats. Le conseil de l'université de Toulouse revient deux fois à la charge (25 juin 1948 et 28 janvier 1949) en vue de la création d'un établissement séparé pour la formation des Ingénieurs de génie chimique. Finalement, l'Institut du Génie Chimique de Toulouse est créé par décret le 11 avril 1949, publié au journal officiel le 15 avril 1949. L'Institut est autorisé à recruter des candidats sur titre (licence ès sciences, ou diplôme d'ingénieur) pour une durée d'études de deux ans. Leur nombre est limité à dix.

En 1952, Cathala obtient l'autorisation de recruter dix élèves supplémentaires sur concours, sur la base du programme de Mathématiques Spéciales. Cette mesure, mise en œuvre seulement à partir de 1953 – l'IGC est assimilé à une ENSI à cette date – fait augmenter le nombre annuel de diplômés, qui passe de neuf en 1956, à seize en 1957, treize en 1958, et treize en 1959<sup>51</sup>. Par ailleurs, Cathala n'aura de cesse de créer aussi une section Techniciens, avec l'appui du conseil d'université. La première promotion ne sortira toutefois qu'en juin 1959.

---

<sup>50</sup> Rapport général sur l'Institut du Génie chimique, transmis par J. Cathala le 18 septembre 1959 à la DES (Direction de l'Enseignement Supérieur) – [Archives ENSIACET].

---

<sup>51</sup> Rapport général sur l'Institut du Génie chimique, *ibid.*, voir p. 7.



IGC (site d'Empalot à Toulouse)

À partir de 1950, Cathala va rechercher un nouvel emplacement pour l'Institut, afin de résoudre les problèmes liés à l'exiguïté et à la sécurité des installations expérimentales des locaux de la rue Sainte-Catherine dans le centre de Toulouse, où était le laboratoire d'électrochimie. En 1951, la Direction des poudres met gratuitement à disposition sur l'île d'Empalot un terrain de 80000 m<sup>2</sup> faisant partie de la Poudrerie Nationale et à proximité de l'ONIA (Office National Industriel de l'Azote)<sup>52</sup>. Les travaux d'implantation se feront en plusieurs tranches, démarrant en avril 1957.

<sup>52</sup> *Idem*, voir pp. 10 et 11.

Dès septembre 1959, les ateliers d'essais seront opérationnels, mais il faudra attendre 1965 pour que tout soit terminé<sup>53</sup>. Cathala avait d'autres projets, rappelé par Detrez (*in Grossetti et al.*, 1996, p. 226) : la formation post-scolaire des ingénieurs, la mise à disposition à d'autres écoles des installations semi-industrielles pour des stages, la mise en place d'un centre technique pour l'industrie chimique, la publication *in extenso* dans les *Annales du génie chimique*

<sup>53</sup> Elles font partie des installations qui seront détruites le 21 septembre 2001 par l'explosion de l'usine d'AZF (qui avait succédé à l'ONIA) dans les conditions tragiques que l'on sait.

(début de parution : 1958) des résultats de recherche. En réalité peu d'entre elles verront le jour, mais cela illustre l'engagement et l'enthousiasme de Cathala en ce domaine.

À sa mort en avril 1969, c'est son principal collaborateur, Henri Gardy, qui sera chargé de poursuivre l'œuvre entreprise, avec, entre autres, la collaboration de MM. Angéline et Mahenc.

## **Cas de l'École nationale supérieure des industries chimiques (ENSIC) en 1948<sup>54</sup>**

En préambule à l'apparition du génie chimique dans son enseignement, l'Institut Chimique de Nancy va être marqué au milieu des années 1930 par ce qu'on appelle « la réforme Travers », réforme qui va infléchir sensiblement et durablement l'enseignement vers une culture plus mathématique et physique.

Alexandre Travers (1883-1949) avait pris la direction de l'Institut Chimique en 1929. Avant de rejoindre Nancy juste après la première guerre mondiale, spécialiste de chimie analytique, il avait été aussi professeur de Lycée, examinateur au concours de

l'École Normale Supérieure et de l'École Centrale et avait de nombreux contacts industriels. Il était convaincu de la nécessité de compléter la formation des élèves en physique, et d'améliorer celle en chimie-physique et en physique industrielle. La réforme qu'il mit en œuvre à partir de 1936 consista au niveau recrutement, en l'adoption pour le concours d'entrée, du programme de l'école Polytechnique et au niveau enseignement, en l'obligation de passer les parties thermodynamique, optique et électricité du certificat de physique générale de la faculté (Aubry, 1987, pp. 56-58). La même année, un décret ministériel en date du 19 février 1936, transformait le nom d'Institut Chimique de Nancy, en École Supérieure des Industries chimiques (ESIC).

Travers aura juste le temps de voir sortir la première « nouvelle » promotion en juillet 1939, car il sera obligé, du fait de la guerre, de quitter Nancy pour se replier provisoirement à Grenoble. Il reviendra brièvement à Nancy en 1942, avant d'abandonner la Direction à Pierre Donzelot et de quitter définitivement Nancy pour Clermont-Ferrand. Les deux successeurs de Travers à la Direction de l'école après la guerre, Pierre Donzelot puis Maurice Letort, vont confirmer les orientations prises, et introduire le génie chimique dans le cursus de l'école.

Pierre Donzelot (1901-1960) d'abord, Directeur à partir de l'été 1942 jusqu'en avril 1946, date à laquelle il devient Recteur de l'université de Nancy, avant d'être nommé quelque temps après

---

<sup>54</sup> 27 mars 1948 : suite à la création des ENSI (Écoles Nationales Supérieures d'Ingénieurs) en 1947, transformation de l'ESIC (École Supérieure des Industries Chimiques) en ENSIC.

en 1948, à la tête de la Direction Générale de l'Enseignement Supérieur. Il aura la lourde charge de remettre en route le fonctionnement normal de l'École tout de suite après-guerre, et apportera un grand appui à ses évolutions à venir.

Maurice Letort (1907-1972) ensuite, directeur de 1946 à 1956, diplômé de l'Institut de Chimie de Paris, il avait préparé sa thèse en Belgique à Liège dans le domaine de la cinétique chimique, thèse soutenue à la Sorbonne en 1937. Après un passage à Prague comme directeur de l'Institut Français, il est nommé Chef de Travaux puis Maître de Conférences à l'université de Caen, avant enfin d'être recruté comme Professeur de chimie générale en 1943 à Nancy. Ses travaux novateurs en cinétique chimique, et quelque part annonciateurs de l'évolution de cette discipline dans le contexte du développement de procédés («génie de la réaction chimique»), expliquent peut-être qu'il ait été particulièrement réceptif au Génie chimique (Letort, 1961).

En fait, ainsi que l'a montré Detrez (*in* Grossetti *et al*, 1996, pp. 247-248), c'est tout un réseau d'influence qui se constitue fin des années 1940-début des années 1950, avec Donzelot et Letort, mais aussi, entre autres, Maurice Brulfer (1891-1966), Président de l'association des anciens élèves de l'ESIC, Directeur des usines PROGIL et Président de l'UIC (Union des Industries Chimiques), ainsi qu'Alfred Landucci (1900-1962), Président de Kodak-Pathé, rapporteur de la sous-commission chargée des écoles de

chimie, pour la commission permanente présidée par Pierre Auger. Ce réseau va peser énormément sur un certain nombre d'orientations nouvelles en matière d'enseignement et d'organisation de l'industrie chimique Française après le décret du 16 janvier 1947 créant les Écoles Nationales Supérieures d'Ingénieurs, l'ESIC devenant ENSIC (École Nationale Supérieure des Industries Chimiques) par décret en date du 27 mars 1948. Il est possible, que ce soit par l'intermédiaire de ce réseau – et notamment de Donzelot compte tenu de sa position à la Direction de l'Enseignement Supérieur – que l'attention des dirigeants de l'école ait été, sinon attirée par la toute nouvelle discipline du génie chimique qui commençait à apparaître à Toulouse, du moins confortée dans leur choix. Letort dira toutefois plus tard :

Je me souviens fort bien de l'époque ou, pour la première fois, j'entendis la locution nouvelle de «Chemical Engineering» qu'on a traduite par «Génie Chimique» plutôt qu'«Art de l'Ingénieur des industries chimiques». C'était pendant l'occupation au début de l'année 1943 [...] De fait, ce n'est qu'en 1948, au cours d'un voyage aux États-Unis, que j'ai pu me faire une opinion claire de ce que représente le génie chimique (Letort, 1961, p. 53).

Cette étonnante déclaration illustre bien l'ignorance du CE que l'on avait en France à l'époque. Ce qui est clair en tout cas, c'est que Letort prend en compte très vite et très sérieusement la nouvelle discipline qui apparaît pour la première fois dans l'enseignement de l'école, à la rentrée

de septembre 1949. Il est intéressant de lire ce qui est écrit dans le rapport d'activité de l'année 1948-1949<sup>55</sup> à ce sujet :

2°/ Une importante extension a été également faite (aux dépens de cours descriptifs, car on ne saurait charger démesurément l'emploi du temps des élèves) du côté de ce qu'on convient d'appeler le génie chimique, domaine qui est peu développé dans les écoles de chimie française de formation générale. [...] L'enseignement [échanges thermiques et distillation] se continue comme par le passé, mais à partir de la rentrée 1949, il est doublé d'un nouveau cours sur les phénomènes de diffusion, les transports de fluide et autres problèmes de l'art de l'Ingénieur-chimiste. [...] Cet enseignement est nettement conçu dans le sens de l'utilisation : il conviendrait, par exemple qu'en fin d'année scolaire, les ingénieurs de l'école soient à même de se servir avec facilité et succès de la littérature spécialisée de «chemical engineering» tel le fameux *Chemical Engineers Handbook* de J.H. Perry.

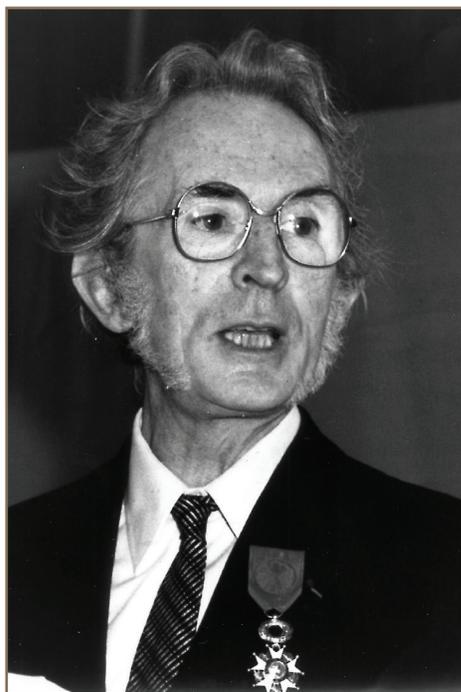
Plusieurs points peuvent être soulignés dans ce rapport, dont on peut imaginer qu'il ait été écrit sinon par Letort lui-même, alors Directeur de l'École, du moins sous son contrôle : «*ce qu'on convient d'appeler le génie chimique*» : la manière dont cela est rédigé laisse quand même un peu à penser à un certain opportunisme, même si les choses changeront par la suite. En 1951, Letort fera un exposé sur «la formation technique de l'ingénieur chimiste moderne» au congrès de Paris

---

55 [Archives ENSIC, «Rapport d'activité», année 1948-1949.]



Maurice Letort



Pierre Le Goff

de la Société de Chimie Industrielle<sup>56</sup>, formation technique où il justifiera longuement l'intérêt du génie chimique dans la formation des ingénieurs.

Autre remarque : « l'extension » est effectivement en parfaite cohérence avec la réforme Travers : « *la culture mathématique et physique élevée des élèves ingénieurs de l'école leur permettra de tirer un large profit de ce nouvel effort.* » Il est à noter qu'en septembre 1948, Letort avait passé plusieurs semaines aux États-Unis, pour visiter les principaux départements de CE, dont celui du MIT.

Le génie chimique se développe effectivement rapidement dans l'enseignement de l'École : une chaire est créée en 1952, confiée à René Gibert, puis à partir de 1959 à Pierre Le Goff (1923-2005), qui va devenir le Responsable et coordinateur de la discipline, et quelque part, l'âme et le symbole du génie chimique à Nancy<sup>57</sup>. Il avait lui aussi séjourné aux États-Unis (trois mois pendant l'hiver 1955-1956) pour bien connaître et appréhender l'approche nord-américaine.

Parallèlement, Letort lance à partir de 1951, un projet de construction de hall génie chimique, projet qui aboutira deux ans plus tard, grâce à l'appui de Donzelot avec l'attribution d'un crédit important

de la part du ministère, pour la création d'un département et la construction d'un bâtiment qui lui soit associé. Il faudra cependant attendre encore plusieurs années (1957), pour voir démarrer effectivement la construction, qui sera terminée et inaugurée solennellement en 1961, bien après le départ de Letort de Nancy en 1956.

Il initiera enfin la venue de professeurs nord-américains de CE, en général pour un an, qui aideront énormément à « institutionnaliser » la nouvelle discipline<sup>58</sup>. Le premier d'entre eux, Edgar L. Piret (Minnesota) en 1950-1951 publiera d'ailleurs un article à ce sujet en 1951 (Piret, 1951). D'autres professeurs le suivront, comme Barnett J. Dodge (Yale)<sup>59</sup> en 1951, Carol O. Bennett (Purdue)<sup>60</sup> en 1952-1953, qui contribueront à enraciner la discipline et approfondir son contenu. Letort quittera la Direction de l'ENSIC en 1956, pour prendre la Direction du CERCHAR (Centre de Recherches des Charbonnages de France). Son successeur, Henri Wahl, directeur de 1956 à 1961, apportera sa pierre à l'édifice (il publiera lui aussi un article sur le sujet

---

<sup>58</sup> Ces séjours en France s'inscrivaient dans le cadre des échanges scientifiques du plan Marshall.

<sup>59</sup> Barnett Dodge publiera en 1951 un long article dans la revue *Chimie et industrie* : « La profession d'ingénieur du génie chimique. Sa conception aux États-Unis » (Dodge, 1951).

<sup>60</sup> Carol Bennett, spécialiste de cinétique, fera par la suite de nombreux allers et venues entre la France (Nancy, Lyon, Paris) et les États-Unis, avant de se fixer définitivement au Laboratoire de Réactivité de Surface de l'Université Pierre-et-Marie-Curie à Paris. Aujourd'hui retraité, il vit toujours à Paris.

---

<sup>56</sup> Voir le texte de la conférence de M. Letort du 27.11.51 au congrès de Paris de la SCI (Letort, 1952).

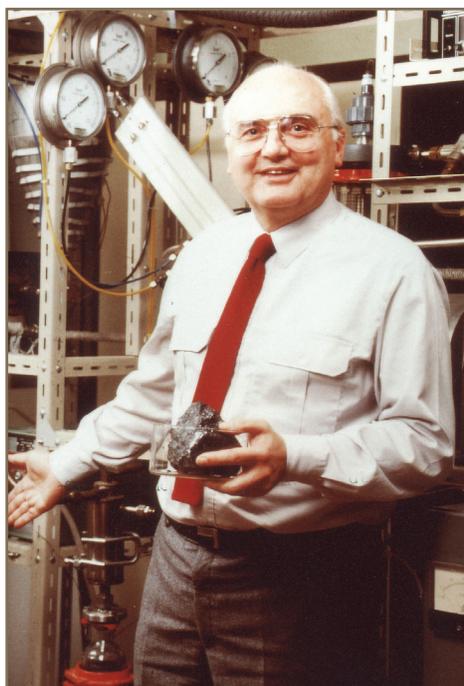
<sup>57</sup> Un numéro spécial de la revue *Entropie* a été consacré à l'ensemble de ses travaux scientifiques (le n° 180, paru en 1993).

en 1961<sup>61</sup> et c'est lui qui aura le privilège de voir se construire et d'inaugurer le nouveau bâtiment).

Une autre personnalité marquante apparaîtra au début des années 1960, en la personne du Professeur Jacques Villiermaux (1935-1997). Ce dernier, spécialiste internationalement reconnu du « génie de la réaction chimique », auteur d'un livre de références dans le domaine (Villiermaux, 1982)<sup>62</sup>, sera le premier directeur du Laboratoire des

Sciences du Génie Chimique à Nancy. Membre de l'Institut, Lauréat de l'ICChE (Institution of Chemical Engineers) britannique et de l'AIChE, il entretiendra aussi des relations étroites avec de nombreux industriels, et sera en particulier le premier Président du Conseil Technologique de Rhône-Poulenc. Membre fondateur et président du comité scientifique du Groupe Français de Génie des Procédés, il sera un artisan infatigable du développement du Génie des Procédés en France.

Autorisation aimable de l'École Nationale Supérieure des Industries Chimiques de Nancy



Jacques Villiermaux

<sup>61</sup> Wahl, 1962. Voir aussi l'article de Josette Fournier dans ce numéro.

<sup>62</sup> *Génie de la réaction chimique. Conception et fonctionnement des réacteurs* (Villiermaux, 1982).

## Émergence et dissémination de la discipline

Du point de vue académique, dans la majeure partie des Écoles de Chimie, des enseignements de génie chimique (GC) vont apparaître au début des années 1960<sup>63</sup>, au moins à titre d'introduction ou d'initiation au domaine. À l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris (ENSMSP), la nouvelle discipline fera son apparition en 1954 sous forme de conférences, en complément et annexe du cours de chimie indus-

<sup>63</sup> Un bilan de l'enseignement de quatre écoles de chimie (Lille, Lyon, Paris et Toulouse) fait en 1963 par un groupe d'étudiants de la section spéciale de l'ENSIC à Nancy, faisait apparaître une situation très similaire :

- Lille : GC 1 h 30 (3<sup>e</sup> année) + Thermodynamique + cinétique 1 h.
- Lyon : GC 2 h (3<sup>e</sup> année) + Phys. Indus. 1 h 30 + Thermodynamique 3 h. + cinétique chimique 1 h.
- Paris : GC T.P. de 4 h 1 sem. (3<sup>e</sup> année).
- Toulouse : GC 2 h (3<sup>e</sup> année).

[Archives personnelles de Jacques Breyse].

trielle, à l'issue d'une réflexion qui avait démarré en 1951<sup>64</sup>. Pour l'ECP il faudra attendre 1963 pour voir pris en compte le GC dans le contexte du cours de M. Dubourg, «Applications industrielles et agricoles de la chimie organique». Il faut rappeler toutefois que dans ces deux Écoles existaient des enseignements de physique industrielle recoupant déjà certains sous-domaines du GC (mécanique des fluides, thermique, automatique, etc.)<sup>65</sup>. À l'École Nationale Supérieure des Industries Agricoles (ENSIA), après des interventions régulières de sa part dans les années 1950, un enseignement permanent de génie des procédés industriels et alimentaires est confié à Marcel Loncin en 1962, en relation avec la publication de son ouvrage *Les opérations unitaires du génie chimique* l'année

précédente (Vigreux, 2011). À l'École Nationale Supérieure des Pétroles et des Moteurs (ENSPM), constituée et installée à Rueil en 1954<sup>66</sup>, le GC apparaît dès cette date dans l'enseignement sous la forme d'un des quatre Centres d'Études Supérieures avec l'intitulé «Raffinage et génie chimique», en conséquence du rôle important joué très tôt par le CE dans les industries pétrolières aux États-Unis. Au Cnam, c'est André Étienne, ingénieur ESPCI, qui introduit la nouvelle discipline, dans la chaire intitulée «Chimie industrielle: Méthodes générales, synthèse et catalyses, applications»<sup>67</sup>.

En 1962, un laboratoire de GC est créé à l'INSA de Lyon, dans le cadre du département de chimie, avant de passer dans celui du département énergétique. Il est confié successivement à Lucien Bonnetain et, après le départ de ce dernier à Grenoble, à Bernard Lespinasse, tous deux issus de Nancy. La construction d'un important hall d'essais est entreprise. En 1968, c'est la formalisation des deux premiers IUT (Institut Universitaire de Technologie) de GC à Toulouse et Nancy. Enfin, au début des années 1970, il est créé en France la première Université Technologique, celle de Compiègne, avec quatre départements dont un de GC. En 1958, une tentative est faite par Pierre Piganiol de créer un groupe de GC, auprès de la Société de Chimie

---

64 «M. Jolibois souligne l'intérêt qu'il y aurait à faire, en annexe au cours de chimie industrielle, 6 ou 7 conférences de génie chimique. Cette branche importante de la chimie appliquée, connaît en particulier aux USA – chemical engineering - un développement tel qu'il peut sembler paradoxal que les élèves de l'école des mines de Paris en ignorent même l'existence. M. Jolibois cite certains chapitres qui lui paraissent dignes de devoir être développés. M. Rey appuie M. Jolibois et souligne tout l'intérêt de cette suggestion. M. Bucher, sans nier cet intérêt indique qu'il serait également très souhaitable de faire parallèlement quelques conférences sur les engins de manutention... Le président considère que les propositions de MM. Bucher et Jolibois méritent d'être étudiées, mais qu'aucune décision ne peut être prise sans qu'on ait très scrupuleusement étudié les incidences qu'une suite éventuelle aurait sur l'enseignement, dans l'état actuel des programmes.» (Procès-verbal de la 238<sup>e</sup> séance du comité d'enseignement, 17 octobre 1951, § 11 «Affaires diverses» – [Archives de l'ENSMP]).

65 Voir les annexes de l'ouvrage de Patrice Noailles (1984, p. 69).

---

66 Voir le chapitre II de l'ouvrage collectif sur l'histoire de l'IFP (Collectif, 2001).

67 En ce qui concerne le Cnam, voir les articles de Gérard Emptoz et d'Alain Delacroix dans ce numéro.

Industrielle avec trois types de moyens d'action (Piganiol, 1958, pp. 123-124) : la revue *Génie Chimique* (complément à *Chimie et Industrie*) comme organe de liaison<sup>68</sup>, l'établissement d'un « guide répertoire de génie chimique » sous la responsabilité de Maurice Zundel, et enfin l'organisation de réunions techniques et scientifiques. À l'exception de la revue, cette tentative n'aura pas d'autres suites.

En juillet 1982, un rapport élaboré sous la Direction de Pierre Fillet, « La mission chimie », est remis au Ministre de la Recherche et de l'Industrie. L'objectif est de faire le point sur les axes de développement à soutenir en chimie. Le thème de la formation est aussi abordé, mais de façon succincte. Dans ce domaine, le rapport suggère la nécessité d'une adaptation de la formation, en termes d'ingénieurs d'application et d'ingénieurs de procédés. Toutefois, les recommandations restent limitées et très générales<sup>69</sup>.

À la même époque, il se dessine une évolution importante, celle du GC vers le génie des procédés. Piret écrivait en 1951 de façon prémonitoire (Piret, 1951 : 191) : « *En fait, le génie chimique serait peut-être mieux désigné comme étant le génie des procédés, car il s'occupe surtout de procédés, soit physiques,*

*soit chimiques* ». Le terme va être repris et adopté par la communauté scientifique concernée (voir notre introduction). Il est aussi intéressant de mentionner la nouvelle définition du CE qui était proposée aux membres de l'AICHE la même année, également caractéristique d'une évolution au-delà de la chimie : « *Chemical Engineering is the profession in which a knowledge of mathematics, chemistry and other natural sciences gained by study, experience and practice is applied with judgment to develop economic ways of using materials and energy for the benefit of mankind* » (cité par Villermaux *et al.*, 1983, p. 21).

À la fin des années 1980, le 10 mai 1988 est créée une association, « le Groupe Français de Génie des Procédés » ayant pour objet la promotion du génie des procédés en France. Son premier président en sera un industriel, Gilbert Gaillard (Société Française Hoechst). Deux ans après, une mission d'études lui est confiée par le ministère de la Recherche (Hubert Curien)<sup>70</sup> pour identifier les différents centres ayant vocation à compétence en génie des procédés. Quatre critères sont retenus : compétence en « Recherche et Développement » à l'appui d'un DEA (Diplôme d'Études Approfondies), ancrage (et soutien) régional, reconnaissance internationale (enseignement et/ou recherche), complémentarités et collaboration avec d'autres pôles. La

---

<sup>68</sup> Le premier numéro de la revue est paru en janvier 1955.

<sup>69</sup> « Mission Chimie », Rapport à M. le Ministre d'état, Ministre de la recherche et de l'industrie, juillet 1982 [Archives du Ministère de la recherche – cote CD, D2792]. Voir pp. 37-38.

---

<sup>70</sup> Décision du conseil des ministres en date du 11 juillet 1990.

mission sera assurée par, outre Gaillard, Claude Detrez, à l'époque délégué du CNRS au Groupe Français de génie des procédés, et par Édouard Borenfreund, de la Direction des Recherches de la société française Hoechst. Ce rapport aura l'immense mérite de mettre à plat ce qui existait à l'époque en France dans le domaine, et de faire un certain nombre de suggestions en matière d'organisation dont certaines verront le jour dans les années qui suivront. Le rapport de mission remis en juin 1991 au Ministre<sup>71</sup> comportait des annexes détaillées sous forme de «rapports régionaux» décrivant les ressources de chacun des pôles retenus. D'un point de vue comptable, le rapport fait apparaître un «flux» de 600 ingénieurs, dont 300 formés dans des structures spécifiquement «génie des procédés», contre 1400 en Allemagne. L'écart n'apparaît pas si considérable, même si l'on peut parfois faire quelques réserves sur la pertinence du choix de certains laboratoires de par le domaine scientifique couvert.

## Conclusion

On ne peut comprendre la tardive émergence du *Chemical Engineering* en France (sous le vocable génie chimique) sans prendre en considération au moins trois aspects: d'abord, on pourrait dire en toile de fond, la priorité donnée en France à la recherche pure/fondamentale par rapport à la recherche appliquée/industrielle dans toute la première moitié du xx<sup>e</sup> siècle. À titre d'illustration, en avril 1937, Jean Perrin, lors d'une cérémonie commémorative à la mémoire de Henry Le Chatelier disparu l'année précédente<sup>72</sup>, en avait profité pour rappeler quelques idées-forces: «*Ici encore, tout en reconnaissant l'importance immense de la science appliquée, je crois devoir faire des réserves quant à la généralité des directives proposées par Le Chatelier et je dois maintenir, malgré toute son autorité, que si la science appliquée doit en effet prendre toute l'ampleur qu'il désirait, c'est pourtant de la science pure, poursuivie sans préoccupation d'utilité, que jaillissent toujours même les résultats pratiques les plus utiles*» (cité par Eidelmann, 1986, p. 120).

Ensuite, les débats du début du xx<sup>e</sup> siècle sur les problèmes de l'industrialisation en chimie sont intervenus à un «mauvais moment», lorsque les chimistes, longtemps écartés des postes de responsabilité dans l'industrie au profit des ingénieurs des Grandes Écoles, ont pris conscience collectivement de leur

---

<sup>71</sup> *Analyse et schéma de développement des pôles de compétences Français en génie des procédés*, Rapport de mission Gilbert Gaillard, juillet 1990/juin 1991. [Archives du Ministère de la recherche – cote CD, D9988].

---

<sup>72</sup> Séance solennelle à la mémoire d'H. Le Chatelier, 24 avril 1937, grand amphithéâtre de la Sorbonne.

situation<sup>73</sup>. De ce fait, durant la période correspondant à la première guerre mondiale, toute sujétion à une vision technologique et mathématique de la chimie industrielle sera catégoriquement rejetée. Cela aura pour conséquence d'occulter toute réflexion à ce sujet dans la période qui va suivre entre les deux guerres.

Enfin, l'imbrication d'éléments de mathématique, physique et de chimie dans la « construction » du génie chimique - génie des procédés ne pouvait qu'inspirer de la méfiance à la communauté chimique, attachée à une conception beaucoup plus mono disciplinaire du savoir scientifique<sup>74</sup>.

La question qui se pose est de savoir si cette tardive émergence a pu avoir des conséquences négatives sur l'industrie chimique française entre les deux guerres. On peut raisonnablement penser que non. À l'exception des États-Unis où le Chemi-

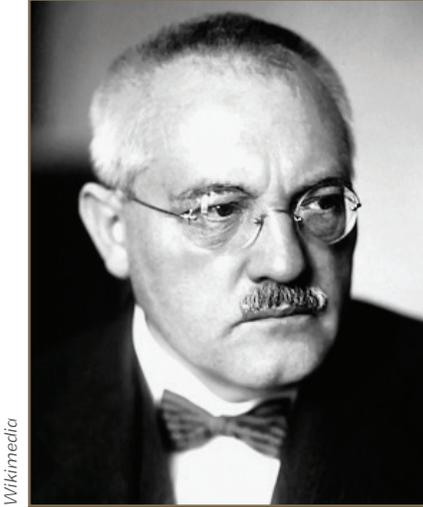
cal Engineering a représenté un avantage indéniable, dans les autres pays développés les différences de savoir technologiques que cela aurait pu induire en matière d'industrialisation, n'étaient probablement pas assez significatives. Aujourd'hui, en raison du développement du génie des procédés dans la deuxième moitié du xx<sup>e</sup> siècle, il est devenu en tout cas une discipline essentielle en matière d'industrialisation.

---

**73** André Grelon, dans une intervention au récent congrès de la Société Française d'Histoire des Sciences et des Techniques, a longuement évoqué le cas de leur situation sociale et collective (« Un éclairage sur les chimistes français dans l'entre-deux-guerres : leur formation, leurs carrières, leurs représentations. Une analyse à partir d'une lecture de *l'Ingénieur Chimiste* (1919-1939) », Congrès SFHST, 28-30 avril 2014).

**74** Ce qui explique peut être - avec la "méfiance" des chimistes - la très laborieuse reconnaissance du GP par le CNRS dans le cadre du département Sciences Physiques pour l'Ingénieur (SPI), ou une section spécifique dédiée au génie des procédés n'apparaîtra qu'en 1982 ! (Entre 1975 et 1982, le génie chimique n'est qu'un des éléments de la sous-section « énergétique » de la section IV.) Voir à ce sujet : Girolamo Ramunni (1995) concernant les circonstances de la création du SPI et l'histoire de ses vingt premières années (1975-1995).

## Carl Bosch (1871-1940), le contre-exemple...



La séparation chère à Duisberg entre chimiste et ingénieur aura des exceptions avec certaines personnalités, par exemple celles ayant la double compétence chimie et ingénierie. C'était le cas de Carl Bosch : il eut un parcours professionnel varié : il avait été embauché comme apprenti dans une usine métallurgique, où il avait pratiqué la mécanique. Il avait ensuite étudié la métallurgie et le génie mécanique à Berlin deux ans, avant de démarrer des études de chimie à Leipzig, comme le relate Max Appl dans « The Haber-Bosch process and the development of chemical engineering » (*in* Furter, 1982, p. 37-38).

Dans le cas du développement industriel du procédé de synthèse de l'ammoniac de Haber, Carl Bosch sera nommé par BASF project leader à 35 ans. Appl écrit : « *It was significant that the management nominated a project leader in the person of Carl Bosch, although he held a chemical degree, could be considered by training and career just as much as a chemical engineer.* » Bosch organisa très vite une task force de collaborateurs compétents, caractéristique d'un « fonctionnement par projet » tel qu'on l'entend aujourd'hui, et lança un programme de recherches comprenant trois objectifs majeurs :

1. définir le catalyseur (Alwin Mittasch),
2. développer les équipements haute-pression nécessaires (Franz Lappe et lui-même),
3. définir les méthodes permettant de produire  $H_2$  et  $N_2$  au coût le plus bas possible.

Et dans la réalité du projet, ses deux aspects marquants, le choix des conditions opératoires et la définition des matériaux permettant de résister à la pression, seront une autre preuve de cette approche « procédés ». En ce qui concerne le premier point, c'est une démarche de Chemical reaction engineering (prise en compte de la cinétique et de l'ensemble des contraintes hydrodynamiques, dont celles de transferts thermiques) qui a permis de définir les conditions opératoires optimums. Au lieu de viser des conversions élevées à basse température et des temps de passage longs dans la zone de réaction, ce sont des conversions faibles à hautes températures et des temps de passage courts qui ont été choisis, avec recyclage partiel des gaz. Ce type de compromis est fréquemment fait aujourd'hui.

## Eugène Pecllet (1793-1857) et Ernest Sorel (1850-1904) : deux pionniers du génie des procédés en France...

Wikimedia



Pécllet, Ancien élève de l'École Normale, revient à Paris en 1827 après avoir été Professeur de physique à Marseille depuis 1818. Il participe alors à la fondation de l'École Centrale de Paris, où il assurera l'enseignement de la physique générale depuis la fondation de l'École en 1829 jusqu'en 1836, puis la physique industrielle jusqu'à sa mort en 1857. Il publie un ouvrage important en 1828, le *Traité de la chaleur considérée dans ses applications*, qui n'aura pas moins de quatre éditions. On trouve tant dans l'organisation de l'ouvrage que dans le contenu des thèmes traités beaucoup d'analogies avec l'approche des « opérations unitaires ».

Autorisation aimable de la famille



Sorel, ancien élève de l'École Polytechnique, fera toute sa carrière dans le monde industriel (Malétra, Saint-Gobain, appareils de la Maison Savalle...). Après s'être intéressé aux procédés de l'industrie minérale (Acide sulfurique notamment), il travaillera dans le domaine de la distillation où il publiera plusieurs ouvrages de référence dans les années 1890 (Breyse, 2011). On le considère comme un des tout premiers à avoir établi les bases de calcul des colonnes à distiller (mise en œuvre systématique de bilans matières et thermique, décomposition de la colonne en étages virtuels ou l'on suppose les phases en équilibre thermodynamique).

## Bibliographie

Aftalion, F. (1988). *Histoire de la chimie*. Paris: Masson.

Aubry, J. (1987). «Institut chimique de Nancy et l'École supérieure des industries chimiques de 1887 à 1946», *Centenaire ICN-ENSIC (1887-1987)*. Vandoeuvre: Institut national polytechnique de Lorraine.

Blondel, A. (1916). «Considérations générales sur les techniciens et sur l'enseignement technique». *Revue scientifique*, n° 15, 29 juillet-5 août 1916, pp. 449-456.

Breyse, J. (2011). «Ernest Sorel, un pionnier méconnu de la distillation et du génie des procédés». *Bulletin SABIX*, n° 48, pp. 63-70.

Cambon, V. (1901). *L'Allemagne au travail*. Paris: P. Roger (10<sup>e</sup> éd.: 1917).

Caron, F. (1985). *Le résistant déclin des sociétés industrielles*. Paris: Librairie académique Perrin.

Cathala, J. (1951). «Le génie chimique: Historique de son développement – son objet et ses méthodes – programme de notre revue». *Chemical Engineering Science*, n° 1, pp. 1-7.

Chastrette, M. (2009). «La découverte de la fuchsine». *L'actualité Chimique*, n° 333, pp. 48-53.

Chezeau, J.-M. (2014). «Les chimistes, leurs institutions et leurs sociétés savantes entre les deux guerres: V - L'École de chimie de Mulhouse». *L'actualité Chimique*, n° 385, pp. 41-47.

Couret, F. (2003). «'Ingénieur-chimiste'... ou 'ingénieur chimiste' ? ». *L'actualité Chimique*, n° 265, pp. 30-36.

Collectif (2001). *Terre d'innovations. 1944-2000. Histoire de l'IFP des origines... à nos jours*, Rivet Presse Éditions.

Collectif (1994). «La chimie et l'Alsace, 1850-1920» (Actes de colloque). *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, n° 833/2, 1994.

Collectif (1905). «L'enquête sur les industries chimiques françaises». *Revue Scientifique*, n° 4/T. 3, pp. 97-128.

Daviet, J.-P. (1991). «L'industrie chimique française au tournant de la seconde industrialisation (1860-1939)». *Culture technique*, n° 23, pp. 53-67.

Davis, G. E. (1901). *Handbook of Chemical Engineering*, Manchester: Davis Bros.

Detrez, C. (1998). «L'évolution de l'école nationale supérieure des industries chimiques de Nancy». In Grelon, A. et Birck F. (dir.), *Des ingénieurs pour la Lorraine, XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles*. Metz: Éditions Serpenoise, pp. 237-250.

Detrez, C. et Grossetti, M. (1998) «*Le génie chimique en France: la difficile genèse d'une science appliquée*», Paper for EASST'98 General Conference, Oct. 1-4 (version française).

Dodge, B. J. (1951). «La profession d'ingénieur du génie chimique. Sa conception aux États-Unis». *Chimie et industrie*, 66/5, pp. 703-709 et 66/6, pp. 867-874.

Duisberg, C. (1931). «The Education of Chemists». *J. Soc. Chem. Ind. Jubilee Number*, July 1931, pp. 171-175.

Eidemann, J. (1986). «Science industrielle contre science pure: la professionnalisation de la recherche dans les années trente». In Grelon, A. (dir.), *Les Ingénieurs de la crise*, Paris: EHESS.

Emptoz, G. (2010). «Ingénieurs et techniciens pour les industries de la chimie au XIX<sup>e</sup> siècle: un aperçu des formations», in Lamard P. et Stoskop. S. (dir.), *L'industrie chimique en question*. Paris: Éd. Picard, pp. 15-27.

Fell, U. (2001). «Quelle liaison entre la science et l'industrie? La société de chimie industrielle entre les deux guerres». In Fell U. (dir.), *Chimie et industrie en Europe*, Paris, EAC pp. 69-95.

Fauque, D. (2013). «Les chimistes, leurs institutions et leurs sociétés savantes entre les deux guerres. I - Les congrès de chimie industrielle dans l'entre-deux-guerres: vitrine des relations entre l'industrie, la science et la politique». *L'actualité chimique*, n° 380, pp. 39-44.

Fonteneau, V. (2010), «D'un enseignement de chimie pratique et industrielle à une formation d'Ingénieur-chimiste. Les débuts de l'Institut de chimie de Paris (1896-1948)», in Lamard P. et Stoskopf, S. (dir.). *L'industrie chimique en question*. Paris : Ed. Picard., pp. 53-65.

Fleurent, E. (1915). *La Guerre. Les industries chimiques en France et en Allemagne*. Paris/Nancy : Berger-Levrault.

Furter W. F. (éd.) (1980). *History of Chemical Engineering*, Advances in Chemistry (series 190). Washington, D.C: American Chemical Society.

Furter W. F. (éd.) (1982). *A Century of Chemical Engineering*. New-York: Plenum Press.

Goertz, G. (1990). *L'industrie chimique dans le monde en 1910*. Genève: Centre d'histoire économique international.

Grandmougin, E. (1917). *L'essor des industries chimiques en France*. Paris: Dunod et Pinat.

Grelon, A. (1989). «Les universités et la formation des Ingénieurs en France (1870-1914)». Formation et Emploi, n° 27 et 28 pp. 65-88.

Grossetti, M. et Detrez, C. (2000). «Science d'ingénieurs et sciences pour ingénieurs. L'exemple du génie chimique». *Sciences de la société*, n° 49, pp. 63-83.

Grossetti M. *et al.* (1996). «Programme 'Villes et institutions scientifiques' Rapport final», Programme interdisciplinaire de Recherche sur les Villes (PIR – Villes – CNRS, Région Midi-Pyrénées). En ligne sur le site du LISST, Université de Toulouse 2 [URL : <http://w3.lisst.univ-tlse2.fr/cv/publis/MG4.pdf>].

Guillet, L. (1900). «Notre industrie et nos chimistes». *Revue scientifique*, n° 11, pp. 321-327.

Hitchcock, L. F. et Robinson, C. S. (1923). *Differential Equations in Applied Chemistry*. New York : John Wiley and Sons.

Hougen, O. A. (1977). «Seven Decades of Chemical Engineering». *Chemical Engineering Progress*, 73 (1), pp. 89-104.

Hougen, O. A., et Watson, K.M. (1931). *Industrial Chemical Calculations*. New York: John Wiley and Sons.

Kirkpatrick, S. D. (éd.) (1933). *Twenty-five Years of Chemical Engineering Progress*, New York : D. Van Nostrand and Co Inc.

Kuhn, T. S. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Flammarion/Champ. Sciences.

Langlinay, É. (2014). «Les chimistes, leurs institutions et leurs sociétés savantes entre les deux guerres. IV - Albin Haller et la formation des chimistes français (1915-1925): projets et réalisations». *L'actualité chimique*, n° 384, pp. 46-50.

Lauth, C. (1900). *Rapport général sur l'histoire et le fonctionnement de l'École Municipale de physique et chimie industriels*. Paris: Lahure.

Lécuyer, C. (1995). «MIT. Progressive Reform and Industrial Service, 1890-1920». *Historical studies in the physical sciences*, 26/1, pp. 1-54.

Letort, M. (1961). «Génie chimique». *Génie chimique*, 86/3 (supplément «Chimie et industrie»), pp. 53-63.

- Letort, M. (1952). «La formation technique de l'ingénieur chimiste moderne». *Revue générale des sciences pures et appliquées*, tome LIX, pp. 94-113.
- Meinel, C. (2001). «Sceller l'alliance entre la science et l'industrie: le triple fondement de la chimie en Allemagne à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle». In Fell U. (dir), *Chimie et industrie en Europe*, Paris: EAC pp. 149-165.
- Ndiaye, P. (2001). *Du nylon et des bombes*. Paris: Belin, pp. 83-90.
- Noailles, P. (1984). *L'École centrale de Paris*. Paris: Ellipses.
- Onken, U. (1997). «The Development of Chemical Engineering in German Industry and Universities». *Chemical Engineering and Technology*, 20, pp. 71-75.
- Alwin Parnicke (traduction de E.M. Campagne), *L'appareillage mécanique des industries chimiques*, Paris: Dunod et Pinat, 1906.
- Peppas, N. A. (éd.) (1989). *One Hundred Years of Chemical Engineering*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Perry, J. H. (1934). *Chemical Engineer's handbook*, McGraw-Hill.
- Piganiol, P. (1958). Éditorial de la Revue *Génie chimique/chimie et industrie*, 80/5, pp. 123-124.
- Piret, É. L. (1951). «Qu'est-ce que le génie chimique?». *Chimie et industrie*, 66/2, p. 189.
- Ramunni, G. (1995). *Les sciences pour l'ingénieur. Histoire du rendez-vous des sciences et de la société*. Éd. du CNRS.
- Reynolds, T. S. (1983). *75 Years of Progress. An History of the American Institute of Chemical Engineers 1908-1983*, New York: AIChE.
- Rollet, L. (2007). «L'École Nationale supérieure des industries Chimiques de Nancy et ses partenaires industriels (1920-1960)». In Rollet, L. et Choffel-Mailfert, M.-A., *Aux origines d'un pôle scientifique. Faculté des sciences et Écoles d'ingénieurs à Nancy du second Empire aux années 1960*. P.U. Nancy, pp. 205-281.
- Sakudo, J. (2011). *Les entreprises de la chimie en France de 1860 à 1932*, Bruxelles: Peter Lang.
- Scriven, L.E. S. (1991). «On the Emergence and Evolution of Chemical Engineering». *Advances in Chemical Engineering*, vol. 16, pp. 3-40.
- Sordes, R. (1928). *Histoire de l'enseignement de la chimie en France*. Paris: Éd. Chimie et industrie.
- Vigreux, P. (2011). «La naissance en France de l'enseignement du génie des procédés alimentaires». *Documents pour l'histoire des techniques*, n° 20, 2011/2, pp. 135-145.
- Villiermaux, J., David, R., Houzelot, J.-L. et Schweich, D. (1983). «Vous avez dit génie des procédés?». *L'actualité chimique*, mai 1983, pp. 19-27.
- Villiermaux, J. (1993). «Le génie des procédés: une science clé pour l'ingénieur». In Storck, A. et Grevillot G. (dir.), *Génie des procédés*. Paris: Tech et Doc, pp. 1-21.
- Villiermaux, J. (1982). *Génie de la réaction chimique. Conception et fonctionnement des réacteurs*. Paris: Tech et Doc.
- Wahl, H. (1962). «L'enseignement du génie chimique en France». *Chimie et industrie*, 87/4 bis, pp. 47-52.
- Walker, W. H, Lewis, W. K, et McAdams, W. H. (1923). *Principles of Chemical Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Wei, J. (1985). «The Rejuvenation of Chemical Engineering». *Chemtech*, pp. 655-657.

