

Science d'ingénieurs et Sciences Pour l'Ingénieur : l'exemple du génie chimique

Michel Grossetti, Claude Detrez

▶ **To cite this version:**

Michel Grossetti, Claude Detrez. Science d'ingénieurs et Sciences Pour l'Ingénieur : l'exemple du génie chimique. Sciences de la société : Les cahiers du LERASS, 2000, n°49, pp.63-85. hal-00127990

HAL Id: hal-00127990
https://hal.science/hal-00127990

Submitted on 30 Jan 2007

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.

Michel Grossetti
Centre d'étude des rationalités et des savoirs (Cers)
Universite de Toulouse le Mirail
5, allees Antonio Machado
31058 Toulouse Cedex
tel : 33 (0)5 61 50 36 69
fax : 33 (0)5 61 50 49 61
E-mail : Michel.Grossetti@univ-tlse2.fr

Claude Detrez
Ecole des Mines
Route de Teillet
81013 Albi CT Cedex 09
Tel. : 33 (0)5 63 49 31 64
Fax : 33 (0)5 63 49 30 99
E-mail: detrez@enstimac.fr

Science d'ingénieurs et Sciences Pour l'Ingénieur : l'exemple du génie chimique

Résumé

Construit en grande partie en dehors du cadre académique, le génie chimique est devenu une spécialité scientifique enseignée dans les universités ou écoles d'ingénieurs. L'analyse des processus par lesquels cette spécialité s'est constituée aux Etats-Unis dans les années vingt avant d'être importée en France après guerre par des universitaires permet de mieux comprendre les divers arrangements entre les industriels, les ingénieurs, les universitaires et les pouvoirs publics conduisant à la construction d'un territoire scientifique souvent mal connu, baptisé en France "Sciences Pour l'Ingénieur".

Michel Grossetti
Centre d'étude des rationalités et des savoirs (Cers)
Universite de Toulouse le Mirail
5, allees Antonio Machado
31058 Toulouse Cedex
tel : 33 (0)5 61 50 36 69
fax : 33 (0)5 61 50 49 61
E-mail : Michel.Grossetti@univ-tlse2.fr

Claude Detrez
Ecole des Mines
Route de Teillet
81013 Albi CT Cedex 09
Tel. : 33 (0)5 63 49 31 64
Fax : 33 (0)5 63 49 30 99
E-mail: detrez@enstimac.fr

Science d'ingénieurs et Sciences Pour l'Ingénieur : l'exemple du génie chimique

Lorsque l'on établit une sorte de palmarès des unités du CNRS en fonction des contrats qu'elles ont avec les entreprises, on trouve dans le groupe de tête, pratiquement côte à côte (à la 5e et 6e place respectivement avec plus de 140 contrats signés entre 1987 et 1997) les deux grands laboratoires français de génie chimique, le Laboratoire des sciences du génie chimique (LSGC) de Nancy et le Laboratoire de génie chimique de Toulouse (LGC). Il s'agit donc là d'une spécialité fortement orientée vers les besoins industriels, au moins pour ce qui concerne les dix dernières années. Or, ces laboratoires sont intégrés à la recherche publique, sont financés principalement par le Ministère de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie et sont étroitement associés à des écoles d'ingénieurs universitaires. Le génie chimique, partie majeure de ce qui est rassemblé sous le terme de "génie des procédés" bénéficie en tant que spécialité d'une reconnaissance institutionnelle dans les instances universitaires et celles du CNRS ; il a ses revues et ses sociétés savantes.

Cette forme institutionnelle hybride — une science reconnue sur le plan académique et répondant à certains besoins industriels — est intéressante à interroger pour comprendre comment peuvent se combiner diverses formes de "demande sociale" : celles des industriels, en matière de formation autant que de recherche ; celles des étudiants ; celle des chercheurs et enseignants eux-mêmes ; celle des pouvoirs publics.

D'une façon plus générale, l'exemple du génie chimique permet d'aborder cet ensemble désigné en France par l'expression "Sciences Pour l'Ingénieur", qui correspond actuellement à l'un des sept départements scientifiques du CNRS, et peut se voir comme un équivalent français de la recherche réalisée au sein des départements d'"engineering" des universités américaines. Cet ensemble de disciplines et de spécialités constitue avec la chimie le principal domaine de collaboration entre la recherche publique et l'industrie (Grossetti, 1995). L'implication de la chimie et de l'électricité (dont les ramifications constituent une bonne part des sciences pour l'ingénieur) dans la révolution industrielle de la fin du XIXe siècle explique que les échanges entre la recherche et l'industrie y soient maintenant anciens. L'institutionnalisation des spécialités d'ingénieurs s'est appuyée sur des formes organisationnelles particulières, universités technologiques aux Etats-Unis, écoles

d'ingénieurs — universitaires ou non — en France, Technische Horshulen en Allemagne, etc. Les industriels sont intervenus dans cette institutionnalisation, soit directement (financements de recherche ou de formations), soit par le débouché offert aux formations, soit par la caution qu'ils ont apporté pour justifier des politiques publiques, soit enfin comme demande sociale potentielle brandie par les universitaires face aux politiques pour obtenir des moyens (Paul, 1981 ; Grelon, 1989 ; Grossetti *et alii*, 1996).

Le génie chimique est un bon exemple pour interroger le processus de construction des spécialités d'ingénieurs. Il fait d'ailleurs à ce titre l'objet d'une analyse dans un ouvrage collectif consacré à la "finalisation" de la science (Shäffer, 1983) où Böhme, Van Den Daele et Hohlfeld le décrivent comme un bon exemple de la transformation en science de ce qui n'est au départ qu'une technologie.

Nous voudrions dans cet article utiliser l'histoire du génie chimique comme une sorte d'analyseur des formes d'arrangements ayant existé en France depuis le début du siècle entre les universitaires, le pouvoir politique et les industriels. Comment s'est définie collectivement à différents moments la "demande sociale" à laquelle est censée répondre une science pour ingénieurs ? Nous montrerons que dans ce cas, des universitaires ou des chercheurs du secteur public ont construit après la seconde guerre mondiale une science "académique", financée par l'Etat, qui a supplanté une spécialité plus empirique et plus dominée par les industriels, la chimie industrielle. Nous nous appuierons pour cela sur le dépouillement d'archives de l'Ecole nationale supérieure du génie chimique de Toulouse, sur l'analyse des publications de la Société de Chimie Industrielle de 1917 à 1970, ainsi que sur divers entretiens réalisés auprès d'acteurs du développement de cette spécialité en France. Par ailleurs, comme d'autres sciences pour ingénieurs (l'informatique ou l'automatique par exemple), le génie chimique est en France une discipline d'importation, dont l'origine est aux Etats-Unis. Il sera donc nécessaire de faire un détour par la genèse du génie chimique dans ce pays en nous appuyant sur des travaux d'historiens.

Nous commencerons par donner un aperçu de la situation dans première moitié du siècle avec en Europe la chimie industrielle et aux Etats-Unis l'émergence du génie chimique comme discipline universitaire à part entière. L'après-guerre voit la rencontre en France (et plus généralement en Europe) de ces deux conceptions, et le triomphe de la seconde, dans le cadre d'une science essentiellement financée par l'Etat. Enfin, nous conclurons par un rapide aperçu de l'ouverture accrue des laboratoires français de génie chimique aux financements industriels à partir du milieu des années soixante-dix.

1. Chimie industrielle et génie chimique

Depuis la seconde révolution industrielle de la seconde moitié du siècle dernier, la chimie est devenue une science étroitement associée à l'industrie. Il suffit de rappeler les exemples de Liebig, Kuhlmann, Solvay et bien d'autres pour mesurer l'interpénétration des mondes académique et industriel dans ce domaine. Au début de notre siècle, le développement d'une industrie chimique de masse se traduit par une multitude de procédés et de problèmes liés à leur mise en œuvre. Les spécialistes des procédés et de leur industrialisation voient leur domaine défini (par les autres chimistes en particulier) comme "chimie appliquée" ou "chimie industrielle", soit comme une

application à l'industrie de résultats produits en amont par ceux qui sont censés faire de la recherche plus fondamentale. C'est le cas par exemple aux Etats-Unis au sein de l'American Chemical Society.

L'autonomisation relative de cette spécialité "appliquée" et la création d'institutions spécifiques prend des formes différentes aux Etats-Unis et en Europe. Alors qu'en Europe, le chimie industrielle va se doter d'institutions organisant le dialogue entre industriels et universitaires dans l'esprit d'une chimie appliquée, les spécialistes américains vont obtenir le statut de discipline universitaire à part entière, distincte de la chimie, au termes d'une bataille à la fois conceptuelle et institutionnelle. Nous pouvons avoir un aperçu de ces processus différents avec l'exemple de la Société de Chimie Industrielle francophone et celui de la création du "chemical engineering" comme discipline au Massachussetts Institute of Technology.

1.1. La Société de chimie industrielle en France

Dans le numéro de *Chimie et Industrie* de décembre 1953, l'éditorial raconte la fondation en pleine pemière guerre mondiale (la première réunion de la société s'est tenue le 14 Avril 1917) de la revue et de la Société de Chimie Industrielle (SCI) : "*La première guerre mondiale (...) avait brusquement révélé le retard où se trouvait la France dans certains domaines des industries de la chimie. Ce pays qui, au début du siècle précédent, jouissait d'un incomparable prestige, (...) s'était laissé dangereusement distancer par l'Allemagne. (...) L'urgente nécessité de parer aux besoins de la défense du sol national envahi fut un des facteurs décisifs de la réaction française. C'est dans ces circonstances qu'un groupe d'hommes, à la tête desquels il convient de citer Paul Kestner et Jean Gérard, reconnurent la nécessité de créer une Société de Chimie Industrielle, ainsi qu'une revue scientifique, technique et économique, consacrée aux applications de la chimie.* (*Chimie et Industrie*, déc. 1953, p. 1059). Selon l'auteur de cet éditorial (à cette époque Jean Gérard), c'est donc la guerre (on sait le rôle qu'y jouèrent les gaz de combat et les explosifs) qui est le cadre de formation de cette association entre universitaires et industriels de l'Est[1].

La paix revenue, la SCI va constituer pour la chimie le principal lieu de confontation et de diffusion des connaissances à l'interface entre l'industrie et la recherche universitaire. La revue *Chimie et Industrie* commence à paraître tous les mois à partir du 1er Juin 1918. Il s'agit d'une publication sur papier glacé comportant des photographies et une pagination importante. On y trouve des articles de fond présentant une technique ou un aspect théorique, un passage en revue systématique de tous les procédés par secteur industriel (colorants, boulangerie, colles, etc.) ainsi que des articles économiques ou juridiques et un suivi de l'activité des diverses sociétés scientifiques consacrées à la chimie. La SCI a des correspondants dans le monde entier (y compris aux Etats-Unis, en général des membres de l'"American Chemical Society") qui rédigent de brèves notes d'information. La revue rend compte aussi des congrès de la société, dont le premier se tient en 1920 à Paris. Ces congrès sont des manifestations

[1] Albin Haller avait été le fondateur en 1889 de l'Institut de chimie de Nancy ; Jean Gérard, avait étudié à la Faculté des sciences de Nancy en 1907 ; Paul Kestner, président du bureau, né à Mulhouse, y avait fréquenté l'Ecole de chimie avant de diriger les usines Kuhlmann à Lille et un laboratoire à l'Ecole polytechnique de Zurich.

importantes : le congrès de Barcelone en 1929 rassemble des participants de 20 nations autour d'une centaine de conférences ; l'année suivante à Liège on passe à un millier de participants de 22 nations assistant à 130 conférences ; en 1931 à Paris, 160 communications et 25 nations... La SCI bénéficie manifestement de moyens importants. La Maison de la Chimie, ouverte en 1934, lui donne un cadre imposant.

La revue comprend de très nombreuses contributions d'industriels, les universitaires étant plus rares (Detrez et Grossetti, 1998). Toutefois, par deux fois le congrès est organisé en province par des instituts de chimie universitaires : en 1933 à Lille et en 1938 à Nancy. Dans la même période, les instituts de chimie commencent à être présents dans la revue avec les contributions de Joseph Cathala, directeur du laboratoire d'électrochimie de la faculté de Toulouse et d'Alexandre Travers, directeur de l'Ecole Supérieure des Industries Chimiques de Nancy (en 1937 tous les deux). Comme un certain nombre de leurs homologues de l'époque, ces deux instituts de faculté sont financés à la fois par l'Etat et par des industriels (Grelon, 1989). Ainsi à Toulouse, Cathala a réussi la transformation du modeste laboratoire d'électrochimie dont il a pris la direction en véritable "usine chimique d'enseignement" dotée d'une matériel performant grâce à des financements fournis par la Société des Produits Azotés et le Service des Poudres.

La chimie industrielle se développe donc en France à l'interface de plusieurs mondes : l'Etat (qui finance les écoles et instituts de chimie), les écoles d'ingénieurs non universitaires (Ecole de Physique et de Chimie Industrielle de la Ville de Paris par exemple), les instituts de chimie universitaires créés au début du siècle (Grelon, 1989) et l'industrie.

Pendant ce temps, un certain nombre d'ingénieurs et d'universitaires cherchent aux Etats-Unis à construire une nouvelle discipline, contre la chimie appliquée. Comme c'est en général le cas pour l'émergence de nouvelles spécialités (Mullins, 1972), cette entreprise passe à la fois par des batailles institutionnelles et des constructions intellectuelles. Dans le cas du génie chimique, ces batailles font intervenir des acteurs extérieurs au monde universitaire : des ingénieurs consultants d'une part, des groupes industriels d'autre part.

1.2. Le génie chimique aux Etats-Unis : de l'industrie à l'université[2]

En anglais, le terme "chemical engineering" désigne au début les connaissances relatives aux procédés et applications de la chimie et peut être considéré comme fortement synonyme de "applied chemistry" ou "industrial chemistry". La création en 1908 d'un "American Institute of Chemical Engineers" (AIChE), distinct de l'American Chemical Society (ACS) correspond surtout à la volonté de certains chimistes orientés vers les applications industrielles de sortir de la dépendance des départements de chimie pour se créer un espace dans les départements d'engineering. Il s'agit donc d'abord d'un projet institutionnel et professionnel : les spécialistes de chimie appliquée veulent en particulier disposer dans les universités d'un département aux côtés des autres branches

[2] Ce paragraphe est construit sur des informations tirées de travaux d'historiens (Ndiaye, 1996 ; Lecuyer, 1992) et d'articles de présentations du chemical engineering parus dans *Chimie et Industrie* au cours des années cinquante et rédigés par des universitaires américains (Piret, 1951 ; Dodge, 1951).

de l'"engineering" (mécanique, électricité, etc.), au lieu de rester dépendants des enseignants de chimie fondamentale au sein des départements de chimie.

Toutefois, ce projet va pouvoir s'appuyer sur une conceptualisation nouvelle de l'activité du "chemical engineer", qui consiste à décomposer les multiples procédés chimiques en un certain nombre d'opérations élémentaires ("unit operations"), indépendantes dans leur principe du produit final et mettant en jeu un même type de propriétés physiques ou chimiques. La filtration, la sédimentation, le broyage, la distillation ou l'electrolyse font partie de ces opérations. Un procédé est alors l'enchaînement de plusieurs de ces opérations. Plutôt que d'étudier chaque procédé séparément, il apparaît plus intéressant aux tenants du génie chimique de développer et enseigner ces éléments de base directement dans l'objectif d'une extrapolation à l'échelle industrielle.

La rationnalisation de ces pratiques et la conceptualisation des opérations unitaires s'est constuite probablement progressivement, sans toujours être formalisée, peut-être d'abord en Angleterre à Manchester, où un ingénieur consultant nommé Georges E. Davis publie en 1901 un *Handbook of Chemical engineering*, comportant selon certains (Dodge, 1951) "le germe du concept d'unit operation", probablement un peu plus tard aux Etats-Unis. Il est certain que les concepts de base de ce qui deviendra le génie chimique sont formalisés aux Etats-Unis en 1915 dans un rapport sur l'enseignement du chemical engineering fait par un ingénieur consultant, A.D. Little, pour le président du Massachussetts Institute of Technology (MIT). Comme Davis, Little est un ingénieur consultant et c'est en tant que tel qu'il est conseiller du département de chimie du MIT. Autrement dit les idées de base de ce qui deviendra le génie chimique ne naissent pas dans la recherche universitaire mais dans ce corps particulier des consultants, qui ne sont pas des industriels, mais des ingénieurs expérimentés vendant leurs conseils aux industriels.

Le rapport de Little intervient dans une période de débats internes et de réformes au sein de cette université particulière, créée en 1861 par des réformateurs engagés dans le mouvement abolitionniste qui souhaitaient promouvoir "les sciences pratiques" par contraste avec les universités "traditionnelles" comme Harvard ou Yale. Le MIT formait au départ des techniciens pour l'industrie locale sans pour autant disposer de laboratoires de recherche. Cela ne l'empêchait pas d'innover puisque le premier cours de "chemical engineering" y fut organisé en 1888. Au début du XXe siècle, la concurrence d'universités technologiques plus récentes comportant des activités de recherche comme John Hopkins ainsi que l'émergence de laboratoires de recherche industrielle commence à poser des problèmes financiers. Que faire ? Selon Lécuyer (1992), trois positions s'affrontent au sein du corps enseignant : ceux qui ne veulent pas changer l'organisation de l'institut et vont voir leur nombre rapidement décroître ; ceux qui veulent engager l'institut vers la recherche fondamentale (en particulier le créateur en 1906 du laboratoire de recherche en chimie physique, Noyes) ; ceux qui veulent former des ingénieurs managers au service de l'industrie selon le modèle incarné par Taylor.

Au sein de ce troisième groupe, on trouve des spécialistes du génie électrique et de la chimie appliquée (notamment Walker, ancien consultant associé de Little, créateur du laboratoire de chimie appliquée). Le succès de ce dernier laboratoire auprès des étudiants et les importants financements industriels (en particulier de la part de Du Pont

de Nemours et de Kodak) dont il bénéficie placent Walker en position favorable. C'est donc Walker qui fait commander par le MIT un rapport à Little, son ancien associé. Le rapport de Little peut être vu comme une arme supplémentaire pour Walker dans son conflit avec Noyes. Le départ de Noyes en 1919 pour le Californian Institute of Technology consacre la victoire de Walker et celle du génie chimique au MIT : entre 1905 et 1909, le MIT a formé 82 "bachelors" en chimie et 65 en "chemical engineering" alors qu'entre 1930 et 1940, les chiffres respectifs sont de 71 et 240 (Ndiaye, 1996, p.109). Cette victoire se concrétisera aussi par la publication du premier ouvrage de référence de l'AICheE, *Principles of Chemical Engineering,* paru en 1923 et signé par trois enseignants du MIT, Walker, Lewis et Mac Adams, après qu'un an auparavant, Little ait remis à l'AIChE un rapport recommandant l'enseignement des opérations unitaires dans les universités.

A partir de ce moment, le "chemical engineering" va l'emporter aux Etats-Unis sur la chimie industrielle considérée comme simple application de la chimie. Les effectifs de diplômés en chemical engineering et de l'AIChE progressent à un rythme soutenu (Piret, 1951). Une nouvelle discipline d'ingénieurs est née. Projet de consultants au départ, spécialité d'enseignement et de recherche ensuite, elle se développe aussi dans l'industrie, en particulier au sein des grands groupes qui en en financent largement la croissance au MIT, Du Pont de Nemours en particulier, dont les ingénieurs (souvent des anciens du MIT) mettront en pratique les conceptions du chemical engineering avec semble-t-il un certain succès, conduisant entre autres à une large diversification de produits à partir de certaines opérations unitaires bien maîtrisées par l'entreprise (Ndiaye, 1996).

Le contexte d'émergence de cette discipline est donc une interaction entre trois mondes professionnels — les consultants, les universitaires et les ingénieurs de l'industrie — de nombreux passages se faisant entre ces trois mondes, des consultants devenant universitaires (Walker), des ingénieurs devenant consultants, des universitaires faisant de la consultance en parallèle à leurs activités d'enseignement. Le gouvernement intervient peu dans cette période, situation qui changera fortement avec la guerre et les commandes militaires. Au départ savoir d'ingénieurs consultants, le chemical engineering est devenu une discipline universitaire et c'est en tant que telle qu'elle va être importée en Europe et en particulier en France.

2. La construction en France d'une "science pour l'ingénieur"

Après cinq ans de guerre et d'occupation, la recherche française se reconstruit à la fin des années quarante sur de nouvelles bases, beaucoup plus centralistes qu'auparavant. Le CNRS, l'homogénéisation des instituts techniques des facultés des sciences transformés en Ecoles nationales supérieures d'ingénieurs (ENSI) recrutant sur concours commun, la mise en place de la Direction générale à la recherche scientifique et technique (DGRST) contribuent à définir une science d'Etat, un système scientifique national. Dans ce contexte, nous allons voir comment peut se développer une nouvelle spécialité aux frontières de la science et de l'industrie comme le génie chimique.

2.1. Les français découvrent l'existence du "chemical engineering"

On ne trouve aucune trace de la notion de génie chimique dans *Chimie et Industrie* jusqu'au numéro d'Août 1951, dans lequel figure un article important d'Edgar L. Piret, Professeur à l'Université du Minnesota et "Visiting professor" à l'Ecole nationale Supérieure des Industries Chimiques (ENSIC) et à l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris. L'article, intitulé "Qu'est-ce que le génie chimique ?", est précédé d'une courte préface de Maurice Letort, directeur de l'ENSIC qui indique que "*Le professeur Edgar L. Piret, (...) a passé, durant l'hiver 1950-1951, plusieurs mois à l'Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques (...) pour aider au développement de la nouvelle discipline d'inspiration américaine qu'on dénomme le "Génie Chimique".*" (p.189). Dans une section consacrée à l'importance et à la tendance actuelle du génie chimique, Piret montre l'importance de la discipline aux Etats-Unis en termes d'effectifs d'enseignants et d'étudiants et aborde la situation dans les autres pays et en particulier en France : "*cette branche du génie s'est développée surtout aux Etats-Unis (...). En Angleterre et récemment en Belgique, certains efforts ont été entrepris pour développer des programmes similaires. En France, les efforts ont été jusqu'à présent presqu'uniquement ceux de Mr Cathala, pionnier français dans ce domaine, dont la persévérance a réussi à créer une première installation à Toulouse. (...) l'Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques de Nancy s'est intéressée au domaine du Génie Chimique, et elle amorce maintenant un développement beaucoup plus considérable qui, s'il est vigoureusement poursuivi et soutenu, sera une contribution importante et essentielle à l'avenir économique de la France*". Au moment de la publication de cet article il y a donc en France un centre constitué (Toulouse) et un centre émergent (Nancy), tous deux en province.

A partir ce ce moment, le Génie Chimique devient une préoccupation importante pour la SCI et sa revue. Plusieurs éditoriaux lui sont consacrés (octobre 51, décembre 51, mai 52, etc.), ainsi que d'autres articles, en particulier en Novembre 1951 celui de Barnett J. Dodge, Professeur de Chemical Engineering à Yale, "La profession d'ingénieur du génie Chimique. Sa conception aux Etats-Unis", transcription d'une conférence faite pour la SCI le 25 mai 1951. Comme Piret, Dodge signale les efforts faits à Toulouse puis à Nancy. La SCI organise des conférences sur le Génie Chimique lors du premier Salon de la Chimie et de son XXIVe congrès. Ces conférences constituent la première session du Génie Chimique organisée par le Centre de Perfectionnement Technique, du 22 au 24 Novembre 1951. Les conférenciers viennent pour une bonne part de l'Institut du Génie Chimique de Toulouse. Une seconde session est organisée lors du deuxième salon en Juin 1953 avec à nouveau une forte présence des toulousains. Le génie chimique prenant de plus en plus d'importance dans la revue, celle-ci se dote d'un supplément intitulé *Génie Chimique* en 1955, puis prend le nom de *Chimie et Industrie - Génie Chimique* en 1966.

En quinze ans, la chimie industrielle a donc du accepter et intégrer la nouvelle spécialité. Deux écoles d'ingénieurs universitaires et provinciales sont à l'origine de ce changement. Il faut donc à présent examiner de plus près ce qui s'y est passé.

2.2. L'importation d'une discipline

Le 8 février 1947, quelques jours après la parution du décret créant les Ecoles Nationales Supérieures d'Ingénieurs (ENSI), Joseph Cathala, directeur du laboratoire d'électrochimie de Toulouse propose à la direction de l'enseignement supérieur la

création d'une école nationale supérieure de génie chimique : c'est là le point de départ de l'introduction de la nouvelle discipline en France. Pour comprendre ce qui peut amener le directeur d'un modeste laboratoire provincial d'électrochimie à se lancer dans un tel projet, il est nécessaire de revenir un peu sur sa carrière antérieure.

Joseph Cathala a fait ses études à la Faculté des sciences de Toulouse, notamment auprès de Paul Sabatier (prix Nobel 1912), qui lui obtient en février 1914 un poste de préparateur auprès de Camille Matignon, titulaire de la chaire de chimie minérale du Collège de France. En 1927, après sa thèse, il part au Québec, à l'Université Laval, pour y enseigner la chimie minérale et analytique. Il racontera après guerre que c'est lors de ce séjour qu'il a l'occasion de « *voir les énormes progrès, presque insoupçonnés encore en Europe, de l'industrie chimique aux Etats-Unis et au Canada* »[3]. Il dira aussi avoir eu également des « *contacts étroits avec l'expérience pédagogique si intéressante que poursuit la puissante "American Chemical Society" depuis la guerre dans les pays de langue anglaise* », en prônant l'enseignement en chimie de l'atomisme et de la statique chimique[4]. Rentré en France en 1930, il succède à Sabatier dans la chaire de chimie générale de la faculté et prend en 1932 la direction du laboratoire d'électrochimie de l'université. Il entreprend alors une transformation importante de ce laboratoire au départ modeste en véritable "usine chimique d'enseignement" dotée d'une matériel performant qu'il présente fièrement lors d'une communication au XVIIe congrès de chimie industrielle à Paris, en 1937. Il s'agit d'une tentative d'imiter les méthodes d'enseignement vues outre-Atlantique, mais il n'est guère question alors de la notion de génie chimique.

Son intérêt pour la nouvelle discipline provient d'un second contact avec la recherche anglo-saxonne. En effet, en 1940, au moment de la débacle, il part à Londres et se voit affecté aux Poudreries Royales (ROF), avec pour mission le développement d'ateliers de production d'acide nitrique et d'oxygène. Il noue à cette occasion des contacts avec des spécialistes du chemical engineering au Royal Technical College de Glasgow et surtout à l'Imperial College of Technology de Londres (Pr D.N. Newitt), ce qui l'amènera à adhérer en 1946 à l'« Institution of Chemical Engineers » (IChemE). Cet organisme britannique professionnel de qualification des « chemical engineers », dont il sera par la suite vice-président en 1959, reconnaîtra, pour la première fois hors du Commonwealth, l'Institut de Génie Chimique comme un organisme apte à former des « graduate » en « chemical engineering ». Revenu en France en 1946, Cathala entreprend donc la création d'une école de génie chimique.

Ainsi donc un universitaire de province, que son parcours professionnel a mis en contact avec les conceptions anglo-saxonnes du chemical engineering, entreprend de créer une institution d'enseignement supérieur et de recherche dans ce domaine en s'adressant à l'Etat. Comment argumente-t-il sa demande et que nous dit cette argumentation sur la rhétorique des usages sociaux d'une telle discipline ?

Dans un document accompagnant la demande de création de la nouvelle école, on trouve trois textes qui fournissent l'argumentation de cette proposition. Le premier,

---

[3] Note biographique concernant le Professeur J. Cathala, archives IGC, anonyme, rédigée postérieurement à 1959

[4] Cours inaugural de Monsieur le Professeur J. Cathala, Bulletin de l'Association des Ingénieurs et Elèves de l'Institut de Chimie de Toulouse, n°11, juin 1932

intitulé "Le génie chimique et son enseignement" présente la spécialité telle qu'elle est pratiquée et enseignée aux Etats-Unis et en Grande Bretagne selon Cathala. Le second, "Début d'un laboratoire d'électrochimie à l'université de Toulouse" présente l'organisation et l'instrumentation du laboratoire d'électrochimie considéré comme la base d'un laboratoire de génie chimique. Le troisième, "Création à Toulouse d'une école nationale supérieure du génie chimique" est la demande proprement dite.

Le premier texte commence par l'évocation des deux bombes atomiques lâchées sur le Japon. Pour Cathala il s'agit d'une véritable prouesse industrielle : si les américains ont réussi c'est qu'ils disposent de méthodes de travail et de cadres capables de mettre ainsi rapidement au point un procédé à l'échelle industrielle. Il souligne (non métaphoriquement) alors : "*Le succès de nos alliés est incontestablement dû au fait que depuis plus de 30 ans il s'est créé chez eux une nouvelle discipline chimique, le "Chemical Engineering"*." On retrouve ici le classique argument de la science comme élément de supériorité militaire par l'intermédiaire de la supériorité industrielle, déjà présent dans les revendications des partisans de la création des universités, dans les projets de développement de la chimie à la fin du siècle précédent, ou encore dans l'acte de création de la Société de chimie industrielle.

Suit une définition du "Chemical engineering ou génie chimique", présenté comme une discipline nouvelle : "*Le Génie chimique constitue réellement une véritable discipline scientifique puisqu'il possède des méthodes originales pour la solution de problèmes qu'il envisage d'un point de vue particulier, bien que certains de ces problèmes puissent appartenir en propre à certains domaines de la physique appliquée.*" Nous verrons plus loin que la question de la traduction de "chemical engineering" est importante. En proposant "génie chimique", Cathala cherche à imposer un nouveau terme correspondant à une science nouvelle et non la simple reformulation de la chimie industrielle, chasse gardée des nancéens au sein du système français des écoles d'ingénieurs.

Le texte débouche alors sur la présentation du concept d'"Unit process" traduit dans ce texte par Cathala en "opération fondamentale" (et par la suite plutôt par "opération unitaire"), puis attaque la question de la formation avec une partie consacrée à l'enseignement du génie chimique aux Etats-Unis et en Grande Bretagne. Premier point, le génie chimique exige des installations à grande échelle, et coûte donc cher : "*c'est grâce à leurs ressources financières extrêmement importantes que les Universités américaines ont pu envisager sans méfiance la perspective d'installer des laboratoires de Génie Chimique où l'on puisse travailler à l'échelle semi-industrielle*". L'insistance sur les installations et leur coût prépare l'argument que l'on trouvera dans les textes suivants : à Toulouse il y a déjà tout ce qu'il faut, cela coûtera donc moins cher : "*Absolument unique en France, notre organisation constitue pour l'industrie chimique une véritable plateforme d'essais pour l'industrialisation d'une réaction chimique quelconque. Cette industrialisation est, par définition, l'objet même du Génie Chimique*.".

Résumons : 1. le génie chimique est d'une importance capitale pour l'industrie (exemple du développement de la production d'uranium). 2. Il faut le développer en France. 3. Cela coûte cher, mais 4. à Toulouse le matériel du laboratoire d'électrochimie et l'expérience de son directeur permettront d'y parvenir dans de bonnes conditions, pourvu que l'administration veuille bien prêter son concours au projet.

La commission des Ecoles Nationales Supérieures[5] refusera la proposition de Cathala pour la création d'une école, mais acceptera la transformation du diplôme d'ingénieur électrochimiste de l'Université de Toulouse en diplôme d'ingénieur du génie chimique (la demande est faite le 26.03.47 et l'arrêté ministériel est paru le 17.03.48). Ne baissant pas les bras, les toulousains demandent à deux reprises (25 juin 1948 et 28 janvier 1949) la création d'un Institut de génie chimique de l'Université de Toulouse (statut équivalent à celui de l'institut de chimie, donc au coût infiniment plus faible pour l'Etat qu'une école nationale), ce qui est décidé par le nouveau directeur de l'enseignement supérieur, Pierre Donzelot, le 11 avril 1949. L'institut sera assimilé aux ENSI en 1953 et deviendra en 1975 l'ENSIGC. Le projet de Cathala a donc fini par aboutir et assurer au pôle toulousain une place importante dans la carte du génie chimique en France.

Le directeur de l'enseignement supérieur Donzelot accorde son soutien à Cathala, mais il est probable aussi qu'il contribue à alerter ses amis nancéens sur ses projets[6]. En effet, Pierre Donzelot, formé à Nancy a été à partir de 1937 professeur de chimie physique à l'Ecole Supérieure des Industries Chimiques de Nancy, dont il a pris la direction en 1942[7]. L'ENSIC, la plus ancienne des écoles de chimie universitaires, la première à avoir recruté sur concours, une des places forte de la chimie industrielle que vient concurrencer le génie chimique, ne peut que réagir à l'initiative de Cathala.

Probablement alerté par Donzelot sur les projets de Cathala, Maurice Letort, directeur de l'ENSIC, fait inviter celui-ci à Nancy dès 1948 pour trois conférences, puis, profitant d'un congrès international en septembre de la même année, va passer plusieurs semaines aux États-Unis (du 28 août au 25 octobre) pour visiter les principaux départements de « chemical engineering », dont celui du MIT. C'est à l'occasion de ce voyage qu'il rencontrera E.L. Piret, à Minneapolis. Il y retournera en 1951 et en 1953 avant de se tourner vers l'Europe avec Londres en 1953, Birmingham, Delft, Zürich, notamment. Un de ses collaborateurs, P. Le Goff ira pour sa part passer 3 mois aux Etats-Unis et au Canada durant l'hiver 1955-56 afin de développer ensuite à Nancy l'enseignement de génie chimique que R. Gibert aura d'abord initié[8]. À la suite des voyages de Letort aux USA, plusieurs enseignants américains viendront faire des cours à l'ENSIC de Nancy mais aussi dans d'autres écoles[9].

L'interaction entre nancéeiens et toulousains se transformera un moment en conflit sur la nature du génie chimique, nouvelle forme d'application de la chimie pour les premiers, nouvelle discipline pour les seconds, avant que la seconde conception l'emporte à l'issue d'une "guerre des mots" acharnée (Detrez et Grossetti, 1998). Les deux centres finiront par partager jusqu'à nos jours l'hégémonie sur la nouvelle spécialité au sein dus sytème scientifique français.

---

[5] Présidée par A. Landucci, ancien élève de l'Ecole de Chimie de Paris et membre du Conseil d'administration de l'Ecole Supérieure des Industries Chimiques de Nancy.

[6] Ne serait-ce que parce qu'il fait expertiser le rapport rédigé par Cathala sur le bilan de l'IGC naissant (24/8/1949) par Maurice Letort, directeur de l'ENSIC.

[7] Maurice Letort, "Eloge du recteur Pierre Donzelot", Hommage à Pierre Donzelot, ENSIC, Nancy, 7.05.66.

[8] M. Letort, "rapport moral sur le fonctionnement de l'ENSIC", Archives ENSIC, 1946-1956, 6/3/1956

[9] C'est d'abord comme nous l'avons vu E.L. Piret (Minnesota University), d'octobre 1950 à avril 1951 , puis B.J. Dodge (Yale University, New Haven) en 1951, puis C.O. Bennett (Purdue University) et Mason, élève de E.L. Piret en 1952/53, A. Rose (Washington University, Saint-Louis) en 1953 et 1954.

Ainsi, en France, le développement de l'enseignement du génie chimique ne doit rien aux industriels. Formalisée comme science par les universitaires américains, tant au niveau de l'enseignement que de la recherche, elle est importée par les universitaires français les plus proches structurellement des département d'engineering américains, soit les enseignants des écoles de chimie dépendant des universités. Les seul industriels intervenant vraiment dans l'affaire sont André Landucci (qui préside la commision des ENSI et fait partie du Conseil d'Administration de l'ENSIC) et Maurice Brulfer, représentant des industries chimiques dans la commission Marshall et interlocuteur habituel du Ministère. Président de l'association des anciens élèves de l'ESIC de Nancy, Brulfer donnera sa caution aux entreprises de développement de l'enseignement du génie chimique.

3. De la recherche d'Etat à la science pour l'industrie

Jusqu'au milieu des années soixante-dix, le génie chimique se développe dans le cadre de la recherche publique. Les liens avec l'industrie sont limités au placement des diplômés issus des deux écoles et aux échanges organisés par la SCI. Mais le financement de la recherche et des enseignements est entièrement pris en charge par le ministère, au travers du CNRS en particulier.

Ainsi, lorsque les toulousains s'engagent dès le début des années cinquante dans un projet d'équipement de très grande envergure, c'est l'Etat qui fournit toutes les ressources[10], ce qui constitue un changement important par rapport à la période d'entre-deux-guerres durant laquelle nous avons vu que les industriels avaient financé l'équipement du laboratoire d'électrochimie. L'« entreprise » IGC comportera alors toute une série de bâtiments : une école d'ingénieurs, une école de techniciens, un atelier de constructions mécaniques, un atelier d'essais semi-industriels, des laboratoires de recherche, une « *usine chimique d'enseignement dans laquelle (les) étudiants appliqueront réellement le proverbe "c'est en forgeant qu'on devient forgeron"* » (texte de J. Cathala présentant l'école dans les années soixante), un bâtiment administratif, une cité universitaire pour le personnel (enseignants inclus) et les étudiants. Ce projet se veut au service des industriels puisqu'il s'agit de former des ingénieurs plus efficaces parce que travaillant dans des conditions proches de celles de l'industrie, mais les industriels en sont totalement absents, à l'exception de l'industrie d'Etat que constitue la poudrerie de Toulouse. Le processus est le même à Nancy qui bénéficiera de financements d'Etat importants pour la réalisation d'un hall de génie chimique.

Ce système, dans lequel l'Etat finance une science pour ingénieurs qui justifie son existence par les profits que l'industrie est censée en tirer, va se maintenir une vingtaine d'années, durant lesquelles les écoles de Nancy et Toulouse connaissent une certaine prospérité sans toutefois faire d'émules. Il semble en effet que l'industrie chimique française ne connaisse pas le même engouement pour le génie chimique que son homologue américaine et continue de recruter des chimistes qu'elle associe à des spécialistes de mécanique ou de physique pour concevoir ses installations. Il y a là un contraste avec d'autres disciplines d'ingénieurs comme l'informatique où les centres

[10] Plus d'un milliard de francs entre 1957 et 1961 pour l'aménagement de la nouvelle école et de ses installations de recherche.

précurseurs ont commencé à essaimer au bout d'une douzaine d'années dans les différentes universités (Grossetti et Mounier-Kuhn, 1995).

Au milieu des années soixante-dix, la DGRST commence à financer des projets associant obligatoirement une équipe de recherche et une entreprise. Les laboratoires de génie chimique de Toulouse et Nancy ont à ce moment-là acquis maturité, notoriété, ainsi que des résultats qu'ils jugent utilisables. C'est l'époque où les universitaires enseignant dans les écoles cherchent des partenaires industriels, souvent en s'appuyant sur les anciens élèves[11]. Petit à petit, au cours des années quatre-vingt en particulier, les relations encouragées ou initiées par l'Etat à travers la DGRST s'autonomisent et les laboratoires commencent à trouver régulièrement des financements par le biais des contrats industriels.

Actuellement, comme nous l'avons vu au début de cet article, les laboratoires de génie chimique de Nancy et Toulouse figurent parmi les unités CNRS qui ont le plus contrats avec l'industrie. Pour autant la boucle n'est pas bouclée et nous ne sommes pas revenus au temps de la chimie industrielle. Ces laboratoires sont majoritairement financés par l'Etat (la masse salariale surpassant à elle seule de très loin les moyens de fonctionnement obtenus grâce aux contrats avec les entreprises). Le génie chimique est intégré à une section du CNRS dédiée au génie des procédés. Les enseignants ont leur section au Comité National des Universités. Il existe un Groupe Français du Génie des Procédés (une fédération européenne existe depuis 1953). Bref, on se trouve dans la situation d'une science hybride, à la fois académique et industrielle.

Conclusion

L'histoire du génie chimique nous permet de percevoir les limites des diverses thèses portant sur les rapports entre science et société. La thèse du "mode 2" (Gibbons *et alii*, 1994) oppose un mode académique d'organisation de la recherche supposé dominant dans le passé et un mode nouveau, défini par la demande sociale. L'exemple du génie chimique, qui supplante une spécialité totalement dédiée aux applications, la chimie industrielle, contribue à montrer que le mode 1 est largement un mythe qui correspond à peu près à la période 1945 - 1975, lorsque dans tous les pays industrialisés, l'Etat a pris en charge l'essentiel du développement scientifique, y compris lorsqu'il s'agissait de disciplines orientées vers l'industrie. Le cas français, sur lequel nous nous sommes appuyés pour cette période, radicalise peut-être un peu cette tendance, mais elle est générale (Etzkowiz *et alii*, 1998). Dans sa formulation initiale, la thèse de la "finalisation" (Shäfer *et alii*, 1983) suppose quant à elle qu'une spécialité se développe d'abord dans le cadre académique afin d'atteindre une maturité suffisante pour faire l'objet d'un pilotage par la société. Or, ici, nous avons un corps de savoirs d'abord forgé hors du monde académique par des consultants, puis devenant une discipline universitaire pour ingénieurs. Lorsque Böhme, Van Den Daele et Hohlfeld (1983) l'évoquent dans une reformulation de leur approche centrée sur le processus de

[11] Dans le cadre d'une enquête en cours conduite par Marie-Pierre Bès et Michel Grossetti sur les relations entre les laboratoire des Sciences Pour l'Ingénieur du CNRS et les entreprises, un chercheur d'un laboratoire de génie chimique ayant débuté sa carrière à cette époque nous décrivait une demi-douzaine de collaborations industrielles ayant émaillé sa carrière. Une seule n'était pas passé par d'anciens élèves ou collègues passés dans l'industrie.

scientifisation de la technique, il ne reste de la thèse initiale qu'une interpénétration croissante de la technique et de la science académique sur le long terme qui en affaiblit nettement la portée.

La thèse de la "triple hélice", plus prudente, semble mieux convenir à cet exemple, puisque nous avons vu aux prises dans des arrangements variables selon les époques et les pays les trois composantes de base de l'"hélice" (universités, industrie, gouvernement). Elle ne dit pas grand chose toutefois des acteurs hybrides entre les trois sphères (ici les consultants ou les écoles d'ingénieurs), ni des conditions dans lesquelles un savoir technique peut se transformer en spécialité universitaire et réciproquement. Elle n'est pas non plus très avancée sur les dimensions nationales ou régionales des interactions entre les trois composantes et sur les phénomènes de diffusion des savoirs, que nous avons ici perçus à travers l'importation d'une spécialité.

Pour nous, l'exemple du génie chimique renforce le modèle de développement des spécialités désignées comme des "sciences pour l'ingénieur", que nous avons développé dans des travaux antérieurs (Grossetti, 1995, Grossetti *et alii*, 1996) et brièvement présenté en introduction. Dans ce modèle, ces spécialités, qui concrétisent sous une forme instituée les échanges entre la recherche universitaire et l'industrie, ont trouvé des contextes favorables de développement dans des universités particulières qui associent la recherche et la formation des ingénieurs : le MIT ou Stanford aux Etats-Unis, les universités scientifiques et écoles qui en sont issues à Grenoble, Toulouse, Nancy en France.

Cet exemple montre enfin que les chercheurs dont les travaux sont les plus orientés vers l'industrie peuvent chercher à se regrouper, à faire reconnaître institutionnellement leurs compétences, à bénéficier comme les autres de l'indépendance relative conférée par les organisations scientifiques académiques (universités, écoles), à former de nouvelles générations dans les universités, à organiser le dialogue avec d'autres spécialités. De leur côté, les industriels peuvent accepter de financer des enseignements et des recherches académiques non directement utilisables (ce fut la politique des grands groupes américains au début du génie chimique, Cf. Ndiaye, 1996), en espérant bénéficier d'un retour sur investissement à plus long terme. Si le génie chimique a pu se développer c'est aussi parce qu'il a pu s'installer dans la durée, se constituer en discipline.

Entre les mythes du mode 1 et du mode 2, il existe dans la pratique diverses formes d'arrangements négociés entre professionnels ingénieurs ou chercheurs, entreprises, organisations scientifiques, gouvernements et citoyens. Les départements d'engineering aux Etats-Unis et l'ensemble constitué en France par les écoles d'ingénieurs d'origine universitaire et les "Sciences pour l'ingénieur" constituent des arrangements de ce type. Certains peuvent vouloir les mettre en cause, pour réduire les dépenses des gouvernements ou pour satisfaire à plus court terme les besoins industriels. Ils se trouveront probablement confrontés aux réactions de ceux parmi les principaux protagonistes (chercheurs, enseignants, étudiants) qui considèreront que l'arrangement proposé ne les satisfait pas.

Bibliographie

Aubry Jacques, "L'Institut chimique de Nancy et l'Ecole supérieure des industries chimiques de 1887 à 1946", in *Centenaire de l'Icn - Ensic 1887 - 1987*, Institut national polytechnique de Lorraine, Vandoeuvre, 1987.

Ben-David John, *Essays on the social organization and ethos of science*, éditée et préfacée par Gal Freudenthal, University or California Press, 1991

Birck F., 1998, "Des instituts annexes des facultés aux écoles supérieures d'ingénieurs, à propos de trois écoles nancéiennes", in A. Grelon et F. Birck, *Des ingénieurs pour la Lorraine. XIXe - XXe siècles*, ed. Serpenoise, Metz

Böhme, Van Den Daele et Hohlfeld, 1983, "Scientification of technology", in Schäffer W. (ed), *Finalization in science. The social orientation of scientific progress*, Dordrechet, Reidel

Cathala J., "L'Institut du Génie Chimique de Toulouse", *Achema-Jahrbuch,* 1959/1961

Cathala J., "Le génie chimique", *Chemical Engineering Science*, n° 1, octobre 1951.

Cathala J., "Le Laboratoire d'électrochimie de l'Université de Toulouse", *Science et Industrie*, numéro hors-série : l'Energie Electrique en France, 1935.

Cathala J., 1957, "L'Ingénieur du Génie Chimique et les besoins de l'Industrie", *Belgische Chemische Industrie*, t. XXII, n°6

Cohen W.; Florida R.; Goe R., 1994, "University-laboratory research centers in United States", Conference "University Goals, Institutional Mechanisms and the Industrial Transferability of Research", Stanford University, 18-24 March.

Detrez C. et Grossetti M., 1998, "How to import a science : the beginning of chemical engineering in France" communication pour EASST'98 general conference, Oct. 1-4, 1998

Detrez C., 1998, "L'évolution de l'ecole nationale supérieure de chimie de Nancy vers le génie chimique", in A. Grelon et F. Birck, *Des ingénieurs pour la Lorraine. XIXe - XXe siècles*, ed. Serpenoise, Metz

Dodge B.J., 1951, "La profession d'ingénieur du génie Chimique. Sa conception aux Etats-Unis", *Chimie et Industrie*, vol 66., n°5

Etzkowitz H. et Leydesdorff L. (eds), 1997, *Universities and the Global Knowledge Economy. A Triple Helix of University-Industry-Governement Relations*, Pinter, London and Washington

Etzkowitz Henry, Webster Andrew et Healey Peter (eds), "Capitalizing knowledge. New intersections of industry and academia", SUNY, 1998.

Fuchs O., 1952, "L'appareillage chimique en Allemagne", *Chimie et Industrie*, vol. 68, N°1

Gibbons M., Limoges C., Nowotny H., Schwartzman S., Scott P. et Trow M.,, 1994, *The new production of knowledge, The dynamics of science and research in contemporary societies*, Sage, Londres

Gingras Y., 1991, "L'institutionnalisation de la science en milieu universitaire et ses effets", *Sociologie et société*, vol 23, pp.41-54

Godin B., 1998, "Writing Performative History : is This the *New Atlantis* ?", Social Studies of Science 28(3)

Grelon André, "Les écoles d'ingénieurs et la recherche industrielle", *Culture technique*, n° 18, 1988, pp. 232-238.

Grelon André, "Les universités et la formation des ingénieurs en France (1870-1914)", *Formation et Emploi*, n°27-28, 1989.

Grelon André. (dir.), *Les ingénieurs de la crise*, EHESS, 1986.

Grelon A. et Birck F., *Des ingénieurs pour la Lorraine. XIXe - XXe siècles*, ed. Serpenoise, Metz

Grossetti Michel (dir.), *Université et territoire, un système local d'enseignement supérieur, Toulouse et Midi-Pyrénées*, Presses Universitaires du Mirail, Coll. "Villes et territoires", 1994.

Grossetti M., 1995, *Science, industrie et territoire*, Presses Universitaires du Mirail, Toulouse

Grossetti M., 1993, "Les débuts de l'informatique et de l'automatique dans les universités de Grenoble, Toulouse et Nancy", Communication pour le 3e Colloque d'Histoire de l'Informatique, Sophia-Antipolis, 13-15 Octobre 1993

Grossetti M. et Mounier-Kuhn Pierre, 1995, "Les débuts de l'informatique dans les universités - Un moment de la différenciation des pôles scientifiques français", *Revue Française de Sociologie,* XXXVI, n°2

Grossetti M., Grelon A., Birck F., Déré A.-C., Detrez C., Emptoz G., Idrac M., Laurens J.-P., Mounier-Kuhn P.-E., Milard E., Canévet J.-C., Marseille C., Spiesser M.,"Villes et Institutions Scientifiques", rapport pour le PIR-VILLES, CNRS, Juin 1996

Hanus A., 1952, "Conception actuelle de la formation des ingénieurs chimistes en Belgique", *Chimie et Industrie*, vol. 68, n°2.

Jaffé A., 1989, "Real effects of academic research", *American Economic review*, 79
Landucci A., "La formation de l'ingénieur-chimiste", Conseil d'Administration de l'UIC, 12/2/1948, *Bulletin des Anciens Elèves ICN-ENSIC*, avril 1948.
Lecuyer C., 1992, "The making of a science-based technological university : Karl Compton, James Kilian and the reform of M.I.T., 1930-1957", Historical studies in physical sciences", n°23, 1.
Letort M., "Formation de l'ingénieur-chimiste", Congrès National des Ingénieurs de France, Toulouse, 4 juin 1949.
Letort M., 1961, "Le génie chimique", *Chimie et Industrie*, vol 86, n°3, pp.53-63
Mansfield, 1995, "Academic research underlying industrial innovations : sources, characteristics and financing", *Review of economics and statistics*, 77
Marle, 1952, "Une enquête britannique sur le Génie Chimique", *Chimie et Industrie*, Vol.68, n°1
Mounier-Kuhn P.-E., 1987 "Le Comité national et l'émergence de nouvelles disciplines au CNRS : le cas de l'informatique 1946-1976", Mémoire de DEA, Centre Science, Technologie et Société, CNAM, Paris.
Mounier-Kuhn P.-E., 1996, "Un programme national : la mécanique des fluides", in Grossetti et alii, "Villes et Institutions Scientifiques", rapport pour le PIR-VILLES, CNRS, Juin 1996
Mullins N.C., 1972, "The dévelopment of a Scientific Spéciality : the Phage Group an the Origins of Molecular Biology", *Minerva*, vol.19, pp.52-82
Ndiaye P., 1996, "Du nylon et des bombes. Du Pont de Nemours, le marché et l'Etat, 1910-1960", Thèse d'Histoire, EHESS.
OECE, "Le rôle et la formation des ingénieurs du génie chimique", projet AEP n°27, Londres, 21-23/3/1955.
Pestre D., 1997, "La production des savoirs entre académies et marché. Une relecture historique du livre "The new production of knowledge" édité par M. Gibbons", Revue d'économie industrielle, n°79, pp.163-174.
Piret E.L., 1951, "Qu'est-ce que le génie chimique ?", *Chimie et Industrie*, vol 66, n°2
Schäffer W. (ed), 1983, *Finalization in science. The social orientation of scientific progress*, Dordrecht, Reidel
Steinmueller E., 1995, "Basics research and industrial innovation", in Dodgson et Rothwell, *The handbook of Industrial innovation*, Edward Elgar
Weingart P., 1997, "From "finalization" to "mode 2" : old wine in new bottles ?", Social science information, Sage, Londres, 36(4), pp.591-613

Sources

Archives de l'école de chimie de Nancy, courrier d'A. Mauduit.
Archives de l'ENSIC, courrier de M. Letort du 29/11/48 adressé à P. Donzelot, Dr. Ens. Sup.
Archives ENSIC, courrier de M. Letort du 29/11/1948 en réponse à une demande de P. Donzelot du 25/1/1948
Archives ENSIC, courrier du 26/1/1953 de M. Letort adressé au doyen
Archives ESIC, courrier adressé à A. Landucci, 5/9/47
Archives ESIC, courrier de Ch. Courtot au doyen, 26/10/41
Archives ESIC, courrier M. Brulfer du 2/10/1944 adressé à P. Donzelot
Archives ESIC, note interne non signée du 12/8/1942
Archives ESIC, Rapport sur le fonctionnement de l'école en 1942-1943, daté du 20/10/1943
archives IChemE, Rugby, GB, 1946
Archives ICN, divers courriers de la SPCC à A. Travers, datant des années 1934-35-36 portant sur des commandes de produits chimiques pour l'ICN
Chimie et Industrie, 1920 à 1966
Conférence à la Société de Chimie Industrielle, 25 mai 1951, Chimie et Industrie, vol 66, n°5, novembre 1951
Conférence Inaugurale du Cycle de Perfectionnement en Génie Chimique, M. Letort, 6/3/1961
Cours inaugural de Monsieur le Professeur J. Cathala, *Bulletin de l'Association des Ingénieurs et Elèves de l'Institut de Chimie de Toulouse*, n°11, juin 1932
Hommage à P. Donzelot, discours de M. Letort, le 7 mai 1966, à l'occasion du 75e anniversaire de la fondation de l'ICN
J. Cathala, "Laboratoire d'Electrochimie", arch. Faculté des Sciences/IGC, tiré à part postérieur à février 1935, p 2
J. Cathala, Publication n° 54 du Laboratoire d'Electrochimie,

J. Cathala, Publication n°52 du laboratoire d'Electrochimie, 1948,
J. Cathala, Rapports des 15/7/1948 et 31/7/1949 sur le fonctionnement des 2 premières années du nouveau diplôme, , transmis le 24/8/1949 à P. Donzelot, Directeur des Enseignements Supérieurs
M. Letort, "rapport moral sur le fonctionnement de l'ENSIC", Archives ENSIC, 1946-1956, 6/3/1956