

Un ingénieur Cnam en génie des procédés, c'est possible ? même à distance ?

Is it possible to train process engineer in Cnam? even by distance learning?

DEBACQ Marie^{a*}, GUIGA Wafa^b et STAINMESSE Serge^a

Conservatoire National des Arts et Métiers,
département "Chimie, Alimentation, Santé, Environnement, Risque" (Caser),
2 rue Conté, 75003 PARIS

^aéquipe pédagogique GPCP "Génie des procédés chimiques et pharmaceutiques", case courrier 302

^béquipe pédagogique ABC "Agro-alimentaire, Biotechnologies, Chimie", case courrier 306

Résumé

Le diplôme phare du Conservatoire National des Arts et Métiers (Cnam) dans les disciplines scientifiques est le diplôme d'ingénieur. Avec la récente restructuration du Cnam et la disparition des chaires, apparaît l'opportunité de définir un diplôme d'ingénieur Cnam en génie des procédés à part entière, et non plus comme simple option du diplôme d'ingénieur chimiste. Ainsi une nouvelle génération d'ingénieurs Cnam trouverait sa place dans les industries chimiques de toutes natures, mais aussi dans l'industrie pharmaceutique, voire à terme l'industrie agro-alimentaire, avec des profils résolument tournés vers les procédés. Depuis 2004, la formation à distance s'est développée au sein de l'ex-chaire de chimie industrielle - génie des procédés. Aujourd'hui de plus en plus de diplômés de cette filière "historique" du futur diplôme d'ingénieur Cnam en génie des procédés se sont formés exclusivement à distance, ne suivant en présentiel que les travaux pratiques. De surcroît, pratiquement chaque diplômé de ce niveau a désormais suivi, pour des raisons variées, au moins une unité d'enseignement à distance.

Mots-clés : formation tout au long de la vie, formation à distance, ingénieur, cursus, syllabus

Abstract

In scientific fields, the main Cnam qualification is engineering degree. Cnam was recently restructured and the end of professorships reveals the opportunity to define process engineering as a full engineering degree, not only as a simple option of the chemist engineering degree. Thus a new generation of Cnam engineers would find its place in all kinds of the chemical industries, but also in drug industry and even in food industries, with profiles strongly oriented to processes.

Since 2004, distance learning has developed in the ex-professorship *Chemical industry - process engineering*. At present, more and more graduates of this historical field formed exclusively through distance learning, only following tutorials in-class. Moreover, nearly every graduate at this level followed, for different reasons, at least one teaching unit by distance learning.

Key-words: training throughout life, distance learning, engineer, curriculum, syllabus

1. Introduction

Le Conservatoire National des Arts et Métiers a pour vocation d'offrir à ses auditeurs une formation ouverte à tous, partout et tout au long de la vie (*omnes docet ubique*¹). Dans le domaine du génie des procédés, cette formation s'effectue aujourd'hui par le biais d'unités d'enseignement (UE) capitalisables qui, associées à de l'expérience professionnelle, permettent d'obtenir un diplôme ou titre. Dans le cadre de cette communication, nous nous intéresserons uniquement au diplôme d'ingénieur. Des diplômes ou titres de technicien supérieur, licence professionnelle ou responsable de production (niveau bac+4) sont

* Auteur à qui la correspondance devrait être adressée : marie.debacq@cnam.fr

¹ "Il enseigne à tous et partout."

également proposés. Dans le cas du diplôme d'ingénieur, la réalisation d'un mémoire sur un projet d'au moins neuf mois à temps plein est également nécessaire, ainsi que le succès à un examen oral autrefois connu sous le nom de "probatoire". Les cours, enseignements dirigés et travaux pratiques ont pour la plupart lieu les soirs et les samedis.

Le contexte de formation est très différent de celui d'une école d'ingénieurs en formation initiale : tout d'abord nos auditeurs sont généralement en activité, et certains ont déjà leur propre famille, leur disponibilité pour la formation est donc souvent limitée et quoi qu'il en soit variable ; ensuite le temps passé devant un enseignant est en moyenne trois fois plus court qu'en formation initiale, cette différence est en partie compensée par l'expérience professionnelle, mais le travail personnel est également accru, d'autant que le niveau initial des auditeurs est extrêmement hétérogène, et qu'il est généralement faible en mathématiques ; enfin un temps de réadaptation aux études est souvent nécessaire au début de la formation. Le rythme d'apprentissage doit donc pouvoir s'adapter à chaque situation. En ce sens le système par UE capitalisables est parfaitement adapté. Il est en outre important que les UE soient le plus possible indépendantes les unes des autres et puissent être suivies dans un ordre variable afin d'une part de ne pas pénaliser les auditeurs dans l'avancement de leur formation pour des questions de calendrier, et d'autre part de faciliter la validation des études supérieures (VES). Finalement certains auditeurs réalisent leur formation d'ingénieur en trois ans, pour d'autres il en faudra sept à huit, la moyenne se situant autour de quatre à cinq ans.

2. Vers un diplôme d'ingénieur Cnam en génie des procédés

2.1 Structure du diplôme avant 2005

Au fil du temps et au gré des successions de professeurs titulaires de la chaire de chimie industrielle, le syllabus du diplôme d'ingénieur correspondant avait progressivement évolué jusqu'à la structure de l'ancien diplôme d'ingénieur "chimiste" option "chimie industrielle - génie des procédés" :

- une unité de valeur (UV \equiv 120 h) de travaux pratiques (TP) de niveau II² "**Génie des procédés et contrôle de produits industriels**" dont le contenu allait de la recherche bibliographique à l'automatisation et la robotique, en passant par les moyens de caractérisation (chromatographies etc.) et des opérations unitaires (extraction, rectification et pompe à chaleur) ;
- une UV de niveau II "**Génie des procédés, chimie industrielle minérale**" qui traitait des unités, des bilans de matière et d'énergie, des méthodes de calcul des propriétés des gaz et des liquides, des réacteurs et des différentes filières de l'industrie chimique non organique (eau ; air ; filières de l'azote, du soufre et du chlore ; industrie des sels alcalins et des engrais ; et enfin combustibles) ;
- une UV de niveau II "**Génie des procédés, chimie industrielle organique**" qui reprenait les unités et les bilans, puis concernait quelques opérations unitaires (agitation, décantation, filtration, distillation, extraction liquide/liquide) et enfin les différentes filières de l'industrie chimique organique (raffinage et craquage ; gaz de synthèse ; vapocraquage ; filières du méthanol, de l'éthylène, du propène et du benzène) ;
- une demi-UV (60 h) optionnelle de niveau II "**Automatisation et optimisation dans l'industrie chimique**" avec une première partie contrôle-régulation-automatisme-robotique et une seconde partie sur l'optimisation par méthodes directes ;
- diverses autres demi-UV de niveau II optionnelles "**Prévention du risque chimique**", "**Technologies de valorisation et d'élimination des déchets**", ainsi que quatre demi-unités de valeur concernant la production d'eau potable et le traitement des eaux usées ;
- une UV de cours et TP de niveau I² "**Génie chimique - opérations unitaires - réacteurs**" dont le programme regroupait : la programmation, l'hydraulique, les échanges et échangeurs de chaleur, l'absorption, l'adsorption, la filtration, l'extraction liquide/liquide, la rectification, le séchage et le calcul de réacteurs ;
- une demi-UV de cours et TP de niveau C "**Génie chimique - automatisation - optimisation - évaluation économique**" qui reprenait l'automatisme, la supervision et la régulation à un niveau plus élevé ; puis traitait des plans d'expériences et de l'évaluation économique des procédés industriels.

² Le niveau II correspond à bac+3/bac+4 ; le niveau I correspond à bac+5.

2.2 Structure du diplôme de 2005 à 2011

À l'occasion de la mise en place de la semestrialisation en 2005 au Cnam, toutes les unités d'enseignement (UE) furent calées sur un format commun de soixante heures et les contenus des anciennes unités de valeur furent en partie réformés et réorganisés selon la structure du nouveau diplôme d'ingénieur "chimiste" option "chimie industrielle - génie des procédés" ci-dessous :

- une UE de niveau II "**Chimie industrielle minérale : Les grandes filières industrielles - Schémas et bilans**" traitant des unités, des bilans de matière et d'énergie et des différentes filières de l'industrie chimique non organique ;
- une UE de niveau II "**Chimie industrielle organique : Les grandes filières organiques - Schémas et bilans**" traitant des unités, des bilans de matière et d'énergie et des différentes filières de l'industrie chimique organique ;
- une UE de niveau II "**Génie des procédés : Thermodynamique et Calcul des Constantes**" traitant de thermodynamique et de méthodes de calcul des propriétés des gaz et des liquides ;
- une UE de niveau II "**Génie des procédés : Opérations Unitaires Fondamentales**" traitant des opérations unitaires purement mécaniques (hydraulique ; caractérisation et traitement des poudres ; décantations, centrifugations et filtrations ; fluidisation et agitation) ; des phénomènes de transferts de matière et thermiques ; et des opérations unitaires de transfert sans couplage (échangeurs thermiques et procédés d'extraction)
- une UE de TP de niveau II "**TP Génie des procédés : Opérations unitaires fondamentales**" avec les mêmes thèmes que l'UE précédente sous forme de travaux pratiques, plus une initiation à la recherche bibliographique ;
- une UE de cours et TP de niveau II "**Automatisation et optimisation dans l'industrie chimique**" rendue obligatoire et traitant dans une première partie d'automatisation et régulation, et dans une seconde partie d'optimisation par méthodes directes ;
- une UE de TP de niveau II "**Contrôle & automatisation de procédés chimiques industriels**" devenue optionnelle et traitant de l'automatisation et des moyens de caractérisation ;
- une UE de cours et TP de niveau I "**Génie chimique : Automatisation - Optimisation - Évaluation économique**" reprenant l'automatisme, la supervision et la régulation à un niveau I ; puis traitant des plans d'expériences et de l'évaluation économique des procédés industriels ;
- une UE de cours et TP de niveau I "**Génie chimique : Réacteurs et Informatique**" traitant parallèlement de programmation et simulation (Fortran & ProSim) et de Génie de la Réaction Chimique ;
- une UE de cours et TP de niveau I "**Génie chimique : Opérations unitaires de transferts couplés**" traitant des opérations telles que l'absorption, l'adsorption, l'évaporation, les rectifications et le séchage ;
- les diverses autres UE optionnelles de niveau II n'ayant pas changé : "Prévention du risque chimique", "Technologies de valorisation et d'élimination des déchets", ainsi que les quatre unités d'enseignement concernant la production d'eau potable et le traitement des eaux usées.

2.3 Nouvelle structure du diplôme à partir de la rentrée 2012

Les nouveaux statuts (décret n°2009-1421 du 19 novembre 2009) et règlement intérieur (conseil d'administration du 17 mars 2010) du Cnam ont conduit, courant 2010, à la disparition des chaires et à la mise en place des départements, de taille et donc de périmètre plus large. Cette restructuration fut l'occasion d'une réflexion animée sur la place du génie des procédés au Cnam et une équipe pédagogique "Génie des procédés chimiques et pharmaceutiques" fut finalement créée au sein du département "Chimie, Alimentation, Santé, Environnement, Risque". Dans la continuité de cette création, un diplôme d'ingénieur résolument affiché en génie des procédés (et non comme simple option du diplôme d'ingénieur "chimiste") a été construit et sera mis en place à partir de la rentrée 2012. Les contenus des UE ont été modernisés, certains ont été "re-ventilés" afin d'obtenir des ensembles plus cohérents, enfin certains procédés seront traités plus en détails afin de mieux correspondre aux besoins des différentes industries concernées par le génie des procédés. Ce nouveau diplôme comportera dans premier temps deux parcours : un parcours orienté vers l'industrie chimique et un second vers l'industrie pharmaceutique ; à terme d'autres parcours pourraient être affichés, sachant qu'en attendant il est toujours possible -grâce aux unités d'enseignement optionnelles et éventuellement à la substitution d'unités

d'enseignement (après validation par le jury de la spécialité)- de permettre aux auditeurs qui le souhaitent, de donner à leur diplôme une coloration orientée vers un autre type d'industrie.

Notons qu'avant même la mise en place d'un tronc commun entre les diplômes orientés vers l'industrie chimique et l'industrie pharmaceutique, la majorité des auditeurs de l'ex-option "pharmacotechnie" du diplôme d'ingénieur "chimiste" suivaient les UE concernant les opérations unitaires fondamentales, souvent d'ailleurs avec des résultats aux examens largement supérieurs à la moyenne.

Le parcours "industries chimiques" est désormais constitué comme suit :

- une UE de niveau II "**Chimie industrielle : les grandes filières, schémas & bilans**" qui rassemble désormais toute la chimie industrielle sur un format de soixante heures ;
- une UE de cours et TP de niveau II "**Génie des procédés : Thermodynamique & cinétique**" qui reprend le contenu de l'ancienne UE du même nom, modernisé et adapté, avec une ouverture sur la simulation des procédés qui sera traitée au niveau I ;
- deux UE de niveau II "**Hydrodynamique & opérations unitaires mécaniques**" et "**Transferts de matière et de chaleur & opérations unitaires de base associées**" qui développent le contenu de l'ancienne UE "opérations unitaires fondamentales", en approfondissant d'étude des opérations unitaires et en complétant par certaines opérations utiles pour les industries pharmaceutique et agroalimentaire ;
- une UE de TP de niveau II "**TP Génie des procédés : opérations unitaires fondamentales**" qui évolue légèrement pour suivre les évolutions des UE de cours associées ;
- une UE de cours et TP de niveau II "**Automatisation et optimisation des procédés**" qui reprend le contenu de l'ancienne UE du même nom, complété par les TP d'automatisation anciennement présents dans une UE optionnelle et par la partie d'enseignement sur les plans d'expériences anciennement présente en niveau I ; chaque partie étant allégée pour former un tout cohérent de soixante heures ;
- une UE de cours et TP de niveau I "**Opérations unitaires avancées**" qui a été allégée de quelques opérations unitaires désormais dans le tronc commun au niveau II pour répondre aux besoins des industries pharmaceutique et agroalimentaire ; elle est complétée par une sensibilisation à l'intensification des procédés et une introduction à la sécurité des procédés (ce dernier aspect important pouvant être approfondi par les auditeurs qui le souhaitent grâce à l'UE optionnelle correspondante) ;
- une UE de cours et TP de niveau I "**Génie de la réaction chimique & Évaluation économique des procédés**" qui associe deux thématiques précédemment dans deux UE distinctes ;
- une UE de cours et TP de niveau I "**Informatique et procédés**" qui remanie profondément les enseignements liés à la modélisation/simulation afin de correspondre à la réalité des procédés aujourd'hui, y compris le contrôle-commande avancé ;

Le nouveau parcours "industries pharmaceutiques" a la structure suivante :

- deux UE de niveau II "**Galénique : formes solides**" et "**Galénique : autres formes thérapeutiques**" qui donnent un aperçu de l'industrie pharmaceutique et présente les outils et méthodes pour la formulation et l'optimisation des opérations de production des formes galéniques solides, semi-solides et liquides ;
- les UE de niveau II "Hydrodynamique & opérations unitaires mécaniques", "Transferts de matière et de chaleur & opérations unitaires de base associées", "TP Génie des procédés : opérations unitaires fondamentales" et "Automatisation et optimisation des procédés" sont identiques au parcours "procédés chimiques" ;
- une UE de cours et TP de niveau II "**Médicament : réglementation, assurance-qualité**" qui présente la législation, les instances réglementaires, les procédures de mise sur le marché, les génériques et l'assurance-qualité ; les TP permettent de mettre en application la démarche d'assurance-qualité pharmaceutique à travers le développement et la production de formes sèches ;
- une UE de cours et TP de niveau II "**Médicament : efficacité-sécurité, voies d'administration**" qui présente l'évolution des médicaments dans le corps, les essais pharmacotechniques et études précliniques ; les TP permettent de mettre en application des méthodes d'évaluation de l'efficacité et de la sécurité des médicaments ;
- deux UE de cours, études de cas et TP de niveau I "**Pharmacotechnie**" qui permettent d'aller plus loin dans la connaissance des procédés de fabrication spécifiques aux médicaments et des contraintes particulières de cette industrie très réglementée.

La construction d'un parcours IAA est actuellement en discussion avec les enseignants en Biochimie Industrielle et Agroalimentaire du Cnam. Il pourrait avoir la structure suivante :

- une UE de niveau II "**Macro-constituants des matières premières des agro-industries**" à suivre pour les auditeurs n'ayant pas de formation initiale en Biochimie ;
- deux UE de niveau II "**Filières de l'Agro-Industrie et Technologies Associées**" et "**Conservation des produits de l'agro-industrie**" qui concernent la biochimie et la technologie des transformations dans les agro-industries permettant d'expliquer les modes de production et de conservation des agro-produits (utilisations alimentaire et non alimentaire) ;
- une UE de niveau II "**Nutrition et sécurité alimentaire**" traitant de la biochimie et la technologie des composants des aliments permettant d'expliquer leurs propriétés nutritionnelles, fonctionnelles et organoleptiques ;
- une UE de TP de niveau II "**Biochimie Agro-Alimentaire**" qui familiarise les auditeurs à l'utilisation de techniques chimiques, physiques et microbiologiques pour la caractérisation de la qualité des aliments ;
- les UE de niveau II "Génie des procédés : Thermodynamique & cinétique", "Hydrodynamique & opérations unitaires mécaniques", "Transferts de matière et de chaleur & opérations unitaires de base associées", "TP Génie des procédés : opérations unitaires fondamentales" et "Automatisation et optimisation des procédés" sont identiques au parcours "procédés chimiques" ;
- deux UE de cours et TP de niveau I "**Biochimie et technologies approfondies des IAA**" qui permettent d'approfondir les connaissances en biochimie et technologie des industries agro-alimentaires et de montrer les liaisons avec des bioindustries connexes, notamment celles se préoccupant de l'environnement et de la valorisation non alimentaire des productions agricoles.

Les diverses autres unités d'enseignement optionnelles déjà citées sont toujours proposée, ainsi qu'une UE "Modélisation mathématique et numérique pour les sciences de l'ingénieur" composée d'un tronc commun avec les spécialités "énergétique" et "acoustique" enseigné par un enseignant de calcul scientifique, et d'une option spécifique aux auditeurs de génie des procédés.

On voit donc que le syllabus du diplôme d'ingénieur a évolué vers des contenus clairement affichés en génie des procédés. Ils suivent les dernières recommandations de l'EFCE³ ; toutefois la construction des UE est plutôt basée sur le modèle anglo-saxon, associant les opérations unitaires avec les connaissances de base nécessaires à leur compréhension (hydrodynamique, phénomènes de transfert, etc.) ; ceci nous a semblé préférable compte tenu du profil des auditeurs évoqué en introduction.

Chaque réforme d'un diplôme du Cnam donne lieu à la mise en place de "mesures transitoires" car les auditeurs n'avancent pas tous au même rythme et nombre d'entre eux ayant commencé leur cursus "version 2005" le finiront "version 2012" (il en est même quelques uns qui auront connu les deux dernières réformes). Par souci de simplicité du côté de l'administration, nous avons choisi pour cette dernière réforme de conserver les numéros d'UE, même si le contenu de certaines sera largement modifié. Nous prévoyons un conseil individuel à nos auditeurs pour leur permettre tout à la fois de satisfaire aux exigences de validation des UE définissant le diplôme, et à la constitution d'un parcours de formation cohérent.

3. Formation à distance en génie des procédés

Le Cnam n'est pas seulement un établissement parisien, c'est un réseau de centres régionaux, répartis sur toute la France métropolitaine et d'outre-mer, mais aussi à l'étranger. Ceci est cependant encore insuffisant pour répondre pleinement à la mission de formation ouverte à tous et partout. Le Cnam s'est donc très naturellement lancé dans la formation ouverte à distance (Foad) depuis plusieurs années. Le besoin dans la spécialité "génie des procédés" est d'autant plus pressant que notre cursus est rarement offert dans les centres régionaux. De surcroît les missions à l'étranger (par exemple pour le démarrage de nouvelles unités) sont courantes dans les industries qui nous concernent. Enfin les horaires de nombre de nos auditeurs (travail de nuit ou le samedi, astreintes) sont incompatibles, même avec une formation hors

³ http://www.efce.info/efce_media/Downloads/2010_EFCE_Bologna_Recommendations_final.pdf

temps de travail. L'ex-chaire de chimie industrielle - génie des procédés avait donc décidé en 2003 d'ouvrir progressivement toutes ses UE en formation à distance (sauf les travaux pratiques expérimentaux). La première UE en Foad s'est donc ouverte en 2004 (Debacq *et al*, 2005). Cette première expérience, si elle s'était avérée positive pour ce qui est de la réussite et la satisfaction des auditeurs, ce qui avait motivé les enseignants à poursuivre, avait également montré qu'il fallait consacrer un temps considérable à la "mise en Foad". Or, si pour ce premier projet des heures avaient été attribuées aux enseignants pour ce travail supplémentaire, nous avons ensuite dû poursuivre l'ouverture des UE en Foad à moyens constants. Nous avons donc dû imaginer des procédures plus efficaces pour la production de Foad, quitte à ce que la forme et la présentation ne soient pas aussi perfectionnées. Une analyse de différentes pratiques au sein du Cnam (Debacq *et al*, 2006) nous avait permis d'identifier des alternatives, mais aussi de relativiser le niveau d'exigence en TICE des auditeurs. Nous en étions ainsi arrivé à mettre en place une offre complète de formation à distance pour l'ancien diplôme "chimiste" option "chimie industrielle - génie des procédés" (Debacq *et al*, 2007).

Depuis 2007, 27% des diplômés ingénieurs de la filière "historique" du futur diplôme d'ingénieur Cnam en génie des procédés, ont suivi leur formation à distance, ne se déplaçant que pour les TP expérimentaux. Nous avons d'ailleurs remarqué que ces auditeurs, peut-être particulièrement motivés par l'absence de formation près de chez eux, et surtout consacrant davantage de temps chaque semaine à leur formation, réussissaient mieux que les auditeurs inscrits en présentiel, et ce avec une durée globale de formation équivalente. Nous notons de surcroît que 87% des diplômés ingénieurs en "chimie industrielle - génie des procédés" depuis 2007 ont suivi au moins une UE en Foad, soit pour des raisons d'alternance d'ouverture des UE, soit par contrainte personnelle. On peut ainsi considérer que la Foad est un type de formation désormais naturel pour la spécialité génie des procédés, et d'ailleurs très demandé même par les auditeurs parisiens.

Le passage en Foad des formations spécifiques aux industries pharmaceutique et alimentaire est plus délicat dans la mesure où ces UE font intervenir nombre d'intervenants extérieurs. C'est aussi bien sûr le cas dans le parcours "procédés chimiques", et la solution simple qui a été adoptée a consisté à simplement enregistrer, avec leur autorisation, leurs interventions en studio de cours (Debacq *et al*, 2007), et éventuellement diffuser sous format PDF leurs supports. Pour les intervenants des industries pharmaceutique et alimentaire, des questions de confidentialité risquent de ralentir le passage complètement en Foad des UE concernées. Une solution intermédiaire pourrait consister en un passage en Foad de ces UE avec quelques heures en regroupement obligatoire.

4. Conclusion

L'enseignement du génie des procédés au sein du Cnam était jusque là réalisé par petites touches dans différents diplômes d'ingénieur selon l'industrie d'application, et les fondamentaux du génie des procédés étaient enseignés au sein d'une option d'un diplôme intitulé "ingénieur chimiste". La restructuration du Cnam est finalement l'occasion de donner une cohérence à ces différentes formations en mettant au centre l'enseignement du génie des procédés, comme socle commun, complété par des enseignements spécifiques aux différentes industries d'application. Les parcours "industries chimiques" et "industries pharmaceutiques" sont donc mis en place. La construction d'un parcours "industries agro-alimentaires" permettrait d'avoir un diplôme d'ingénieur Cnam en génie des procédés qui touche les principaux secteurs industriels.

La formation ouverte à tous, partout et tout au long de la vie étant la devise du Cnam, la mise en place et le développement de la Foad permettent finalement une affirmation du diplôme phare du Cnam et son adaptation aux contraintes des auditeurs.

Références

- Debacq, M., C. Porte, R. Schmitt-Soukhal, V. Dalmeyda et F. Delastre, 2005, Récents Progrès en Génie des Procédés, n°92, article P-1
- Debacq, M., M. Clausse, V. Dalmeyda, J.P. Domblides, C. Ferroud, G. Villoutreix, 2006, actes du colloque TICE 2006 (ISBN 2-9527275-0-3 ; ISBN 978-2-9527275-0-1)
- Debacq, M., 2007, Récents Progrès en Génie des Procédés, n°96, article 514