Développement d'une Activité Scientifique Métier autour du Scale-up de Procédés Batch pour des Elèves Ingénieurs en Génie Chimique

Odile DECHY-CABARET[1,5], Carole COUFORT-SAUDEJAUD[2,5], Mallorie TOURBIN[2,5], Audrey DEVATINE[2,5], Laurie BARTHE[2,5], Hugues VERGNES[2,5], Laurent PRAT[2,5], Joël ALBET[3,5], Pascale DE CARO[3,5], David GROSSIN[4,5], Naila EVEN[5], Cédric BRANDAM[2,5]

1 : Laboratoire de Chimie de Coordination (LCC), Université de Toulouse, CNRS, Toulouse INP, UPS, Toulouse, France.

2 : Laboratoire de Génie Chimique (LGC), Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, Toulouse, France.

3 : Laboratoire de Chimie Agro-industrielle (LCA), Université de Toulouse, INRAe, Toulouse INP, France

4 : CIRIMAT, Université de Toulouse, CNRS, INP-ENSIACET, Toulouse, France

5 : Toulouse INP-ENSIACET 4 allée Emile Monso - BP44362, 31030 Toulouse cedex 4 - France

Contexte et Objectifs

La description des formations Ingénieurs en blocs de Compétences a été initiée depuis plusieurs années par diverses institutions (France compétences 2019, CTI 2022). Cette démarche répond à un besoin des recruteurs (Lawler 1994) et des étudiants (i) d'avoir une vision plus claire de ce qu'ils sont capables de faire, (ii) de donner du sens à leurs apprentissages en reliant les enseignements aux métiers vers lesquels ils se dirigent et (iii) de développer leur capacité d'analyse, de réflexion et d'innovation pour répondre aux défis sociétaux. A Toulouse INP-ENSIACET, nos formations ingénieurs adresse tous les métiers de la chaîne de transformation de la matière et de l'énergie, de la chimie au génie industriel. La démarche compétences, déployée dès 2017 dans le cadre du projet TempA7, a conduit notamment au développement d'exercices pédagogiques nouveaux nommés en interne Activités Scientifiques Métiers (ASM). Les ASM répondent à l'objectif de « mise en situation » illustrant les activités des métiers-cibles de nos formations ; elles durent 1 ou 2 semaines où les élèves sont mobilisés à 100% sur la mission qu'ils ont à effectuer de façon à s'y consacrer pleinement. Le mode pédagogique est libre mais il doit tendre vers une autonomie et un investissement plus importants de la part des élèves et une mobilisation enseignante plus faible que les séquences pédagogiques classiques (Cours-TD-TP).
Dans ce contexte, nous présentons ici la conception et la mise en œuvre d'une ASM autour du Scale-up ou changement d'échelle d'un procédé batch dans la formation Ingénieur en Génie Chimique. Comme le montre une analyse d'offres d'emploi Ingénieur et/ou de profils LinkedIn d'ingénieurs, cette activité de Scale-up représente une composante essentielle des métiers-cibles autour du « Développement » qui peut prendre différentes dénominations : Développement Chimique, Développement de Procédés, Optimisation de Procédés, Scale-up, Montée en échelle, Transposition industrielle, Industrialisation…
La démarche générale s'articule autour de deux composantes essentielles des formations ingénieurs : l'interdisciplinarité et le lien entre l'échelle laboratoire et l'échelle industrielle (Konieczny 2003).

Résultats et discussion

L'activité se déroule sur 4.5 jours au premier semestre de la deuxième année (niveau M1) pour les 50 étudiants du département Génie Chimique de l'ENSIACET. La semaine commence par des témoignages d'ingénieurs (si possible diplômés de l'ENSIACET en Génie Chimique) qui pratiquent cette activité au quotidien dans leur métier pour des secteurs d'activités variés tels que l'industrie chimique, pharmaceutique, cosmétique ou encore le traitement et la revalorisation des déchets. La

méthodologie générale du changement d'échelle et les outils de simulation disponibles (feuille Excel et logiciel Batch Reactor® de Prosim SA utilisé dans l'industrie) sont ensuite présentés. Les élèves sont alors répartis en groupes de 5 avec pour mission de proposer un équipement et des conditions opératoires permettant la production à grande échelle d'un composé organique ou inorganique dont la synthèse est décrite à l'échelle du laboratoire. L'objectif est de questionner cette « recette labo » pour mettre en évidence les points d'attention à prendre en compte dans le changement d'échelle. Les données cinétiques, physico-chimiques et thermiques sont fournies soit via des expériences réalisées par d'autres étudiants en amont, soit via des publications. Lorsque les données ne sont pas disponibles, les élèves sont amenés à les estimer en mettant en œuvre différentes méthodes prédictives et en justifiant leurs hypothèses. Des points quotidiens sont organisés avec des enseignants tuteurs du projet (un spécialiste « chimie » et un spécialiste « procédés »). Les livrables attendus sont un fichier Excel correctement structuré et ergonomique permettant de simuler les profils des concentrations des réactifs et produits au cours du temps (en prenant en compte les débits de coulée, la thermicité des réactions, la technologie du réacteur utilisé et les conditions hydrodynamiques appliquées) ainsi que les rapports de simulations Batch Reactor permettant de choisir le réacteur et technologies adaptés et les scénarios optimisés. Pour certains sujets, des calculs de dimensionnement du système d'agitation et du module de filtration permettant la récupération du produit formé sont également demandés. La semaine se termine par une présentation orale des résultats devant la moitié de la promotion et une démarche d'évaluation par les pairs (avec grille critériée fournie) est mise en place lors de ces soutenances. Un bilan à chaud est proposé aux étudiants en fin de semaine pour les initier à la réflexivité et à l'analyse des compétences acquises dans ce genre d'expérience pédagogique ; ils sont pour cela accompagnés par une ingénieure pédagogique.

La première édition de l'ASM Scale-up a eu lieu en novembre 2020 en mode tout distanciel en raison de la crise sanitaire et la deuxième édition en novembre 2021 en présentiel. Une analyse du dispositif a été entreprise et nous présenterons dans cette communication les résultats obtenus et les points d'améliorations identifiés pour les futures éditions.

Conclusion

Concevoir des activités pédagogiques qui illustrent de manière plausible des activités métiers permet aux étudiants de mieux s'approprier la démarche compétences déployée dans leur formation et ainsi de mieux appréhender la construction de leur projet professionnel. La conception et la mise en œuvre des ASM donnent aussi l'opportunité à des enseignants de disciplines et de laboratoires différents de travailler en équipe interdisciplinaire et de mieux contextualiser leurs enseignements en identifiant les savoirs et savoir-faire à mobiliser pour la résolution de problèmes complexes authentiques. Cette démarche a été mise en œuvre dans tous les départements de l'ENSIACET. Elle ouvre la voie également à des propositions ciblées de formations répondant aux besoins des entreprises dans le cadre de la formation tout au long de la vie (FTLV).

Références bibliographiques

CTI Référence et orientations de la Commission des titres d'ingénieur, Version 2022.

France compétences, Note relative au bloc de compétences 24 Septembre 2019.

Konieczny, M. T.; Zanka, A., Process Development as a curriculum Component in Organic Chemistry Courses: points of view from Academia and Industry, *J. Chem. Educ.*, 2003, 80, 248-250.

Lawler III, E. E., From job-based to competency-based organizations. *Journal of organizational behavior*, 1994, 15(1), 3-15.