

Peer review experience in the teaching of chemical reaction engineering at ENSIC Nancy: Presentation and interest of such a methodology?

Eric SCHAER, André LAURENT

Université de Lorraine, CNRS, Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (LRGP), Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques (ENSIC), 1 Rue Grandville, BP 20451, Nancy Cedex.

Abstract: As recommended by various accreditation and evaluation bodies (EFCE, 2020), the contents of process engineering teaching syllabuses aim to build, in the sense of Bloom's educational taxonomy, high levels of skills in analysis, synthesis, evaluation (Bloom et al., 1956). Considering on the one hand that the evaluation of learning outcomes corresponds to the highest levels of skills and on the other hand the existence of many other experiences in the field (Mac Raighne al., 2015, Yu and Su, 2015, Liauw, 2020, Smith et al., 2020), peer review was offered to students at ENSIC Nancy for teaching for teaching chemical reaction engineering of homogeneous and heterogeneous reacting systems engineering of homogeneous and heterogeneous chemical reactions. This method promotes active learning, in a constructive societal approach, allowing learners to identify and formulate their own problems to develop and increase their skills.

Expérience d'évaluation par les pairs dans l'enseignement de génie de la réaction chimique à l'ENSIC Nancy : Présentation et intérêt d'une telle méthodologie ?

Eric SCHAER¹, André LAURENT¹

1 : Université de Lorraine, CNRS, Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (LRGP), Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques (ENSIC), 1 Rue Grandville, BP 20451, Nancy Cedex.

Introduction

Comme le recommandent divers organismes d'accréditation et d'évaluation (EFCE, 2020), les contenus des syllabus d'enseignement de génie des procédés visent à construire, au sens de la taxonomie pédagogique de Bloom, des niveaux de compétences élevés en analyse, synthèse, évaluation (Bloom et al., 1956). Considérant d'une part que l'évaluation des acquis d'apprentissage correspond aux plus hauts niveaux de compétences et suite d'autre part à l'existence de nombreuses autres expériences dans le domaine (Mac Raighne al., 2015, Yu and Su, 2015, Liauw, 2020, Smith et al., 2020), l'évaluation par les pairs a été proposée aux étudiants de l'ENSIC de Nancy pour les enseignements de génie des réactions chimiques homogènes et hétérogènes. Cette méthode favorise un apprentissage actif, dans une approche sociétale constructive, permettant aux apprenants d'identifier et de formuler leurs propres problèmes pour développer et accroître leurs compétences.

1. Contexte et principe de l'expérience pédagogique

L'enseignement de base du programme de génie de la réaction chimique homogène (GRC) et hétérogène (GRH) est réalisé à l'Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques (ENSIC) lors de la première année (niveau L3) de la filière traditionnelle Ingénieur des Industries Chimiques (I2C) qui recrute essentiellement des élèves issus de Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles (CPGE) et classes préparatoires intégrées.

L'enseignement de génie des réactions chimiques homogènes est dispensé au semestre S5, et est constitué de 5 cours magistraux, dispensés à l'ensemble de la promotion (environ 120 apprenants), et de 7 séances de travaux dirigés (TD) au cours desquels la promotion est répartie en quatre groupes (d'environ 30 apprenants). Il porte sur la description de l'évolution d'un mélange réactionnel, la formulation et la résolution des bilans de matière et d'énergie dans les réacteurs idéaux, l'optimisation des conversions, rendements ou sélectivités, ainsi que l'identification des conditions de stabilité des réacteurs exothermiques.

L'enseignement de génie des réactions chimiques hétérogènes est dispensé au semestre S6 à la même promotion, et comporte 4 cours et 7 séances de travaux dirigés. Il porte sur les phénomènes couplés de transport et de réactions observés lors de la mise en œuvre des réactions hétérogènes, et leurs applications aux réactions catalytiques hétérogènes, aux réactions gaz-solide non catalytiques et aux réactions fluide-fluide.

Les séances de TD associées à ces deux enseignements permettant aux étudiants d'appliquer les concepts vus en cours à différents types d'exemples concrets et correspondant à des situations

industrielles diverses. L'examen d'évaluation, organisé en fin de semestre, vise à valider les acquis de l'apprentissage et l'application des compétences à des niveaux supérieurs lors de la résolution de problèmes originaux. Les détails relatifs aux contenus et à l'organisation de ces deux enseignements sont disponibles dans le syllabus de la filière I2C : https://ensic.univ-lorraine.fr/sites/ensic.univ-lorraine.fr/files/users/pdf/formations/syllabus-i2c-2022-2023-fr-v_siteweb.pdf

En plus des cours magistraux et des travaux dirigés, l'originalité de l'expérience pédagogique propose aux élèves ingénieurs deux autres contributions pédagogiques personnelles basés sur des échanges directs entre pairs : D'une part, ils sont invités à rédiger des questions originales portant sur différents points des cours, visant également à l'évaluation des différents concepts enseignés. D'autre part, ils sont également conviés à répondre à d'autres questions développées par d'autres étudiants.

Cette possibilité répond à l'idée d'intégrer le contenu généré par les étudiants dans la pratique de l'enseignement. En effet, la norme sociétale d'acquisition des connaissances a considérablement changé en raison de l'évolution rapide des outils pédagogiques disponibles et de l'évolution récente des conditions de vie et de travail. Cette possibilité de créer des questions engage les étudiants à revisiter les contenus des cours et des travaux dirigés, et les pousse à réfléchir sur les concepts importants examinés.

2. Présentation de la méthode

Le site Web PeerWise (<https://peerwise.cs.auckland.ac.nz>) a été utilisé pour cette activité. Il permet de créer une base de données en ligne de questions à choix multiples développées par les élèves. Il a ainsi été demandé aux élèves de première année de l'ENSIC de développer des questions portant sur les cours de GRC et GRH, et visant des niveaux de compétence élevés, c'est-à-dire ne portant pas sur de simples définitions ou descriptions de concepts vus en classe, mais plutôt sur la compréhension et l'application des notions vues en cours ou TD à des exemples originaux. Le fait de développer des questions originales pousse les élèves à réfléchir aux concepts qu'ils visent à évaluer, aux idées fausses que leurs camarades de classe peuvent avoir sur la question. Réfléchir au sujet évalué, et élaborer des questions permettant de s'assurer de l'acquisition de compétences et à ce qui rend une question efficace, permet également de mobiliser des compétences cognitives de haut niveau. Cette approche favorise ainsi l'acquisition des connaissances et le développement de compétences sur les sujets enseignés.

Pour favoriser les échanges, les élèves étaient également invités à répondre aux questions posées par leurs pairs, et pouvaient y apporter des commentaires et évaluer la difficulté de la question.

Pour cadrer l'expérimentation, le responsable pédagogique de l'enseignement concerné a initié le contenu de la banque de données PeerWise en générant, à titre d'exemples, quelques questions à l'aide d'étudiants fictifs associés à la cohorte effective des étudiants concernés

Ces activités n'étaient pas obligatoires, mais ont été proposées comme activités supplémentaires pour permettre aux élèves de compléter et de consolider leurs connaissances et compétences. Cependant, pour encourager l'implication des élèves, des points supplémentaires ont été attribués à ceux qui ont répondu à (au moins) 30 questions et rédigé (au moins) 3 questions originales. Six points (maximum) étaient ainsi distribués, et ajoutés à la note de l'examen final.

L'évaluation finale des questions élaborées par les élèves ingénieurs, a été réalisée par l'équipe pédagogique selon une grille basée sur la cohérence, la clarté, les explications, le nombre de réponses proposées et le niveau de taxonomie. Chaque question est ainsi évaluée sur 12 critères détaillés ci-

après dans le tableau 1, et une règle de trois permet de ramener la note relative sur 1 point. Les élèves qui développent 3 questions (ou plus) peuvent ainsi obtenir jusqu'à trois points au maximum sur la note finale de l'examen.

Critère	Cotation	Détails du critère
Clarté de la question	0	Pas claire
	1	Claire
Nombre de réponses vraisemblables proposées	0	Moins de deux
	1	Deux
	2	Plus de deux, toutes vraisemblables
Explications	0	Faibles ou absentes
	1	Réponses correctes détaillées
	2	Explications additionnelles sur toutes les réponse, correctes et incorrectes
Cohérence de la thématique	0	Incorrect
	1	Correct
Appréciation dans la taxonomie de Bloom	1	Retenir
	2	Comprendre
	3	Appliquer
	4	Analyser
	5	Evaluer
	6	Créer

Tableau 1 : Détail des critères pour les évaluations des questions développées par les élèves

Les réponses aux questions posées par les autres élèves peuvent également apporter des points aux élèves, trois au maximum lorsqu'ils ont répondu à 30 questions, et la qualité des réponses n'est pas prise en compte dans cette dernière évaluation.

3. Bilan de l'expérience pédagogique

Cette activité a ainsi été proposée en fin d'année universitaire 2020-2021 aux élèves ingénieurs de première année de l'ENSIC, pour le cours de semestre S6 de GRH, et a été reconduite lors de l'année universitaire 2021-2022 pour les cours de GRC et GRH. Une enquête individuelle finale sur l'intérêt d'une telle méthodologie a été proposée après l'examen.

3.1. Analyse de l'expérience au cours de l'année 2020-2021. Cours de GRH

Les résultats montrent que la première année, moins de 50% des élèves ingénieurs ont réalisé cette activité complémentaire. La principale raison invoquée par ceux qui n'ont pas participé est le manque de temps. Les autres apprenants ont tous trouvé cette activité utile et ont souligné que le fait de poser des questions et de répondre à d'autres questions les aidait, d'une part à mieux comprendre les concepts et que, d'autre part, les réponses ou les commentaires des autres auteurs leur permettaient de progresser dans leur compréhension. Ils ont également souligné que cela leur a pris du temps (plus de 3h pour certains) et que les questions qu'ils ont élaborées étaient plus faciles que celles de l'examen final. Certains élèves regrettaient la présence de questions trop faciles, c'est-à-dire correspondant à des niveaux bas de taxonomie, et d'autres ont proposé l'extension de l'expérience à d'autres matières.

D'un point de vue quantitatif, parmi les étudiants qui ont participé à l'activité, la moitié a simplement répondu à d'autres questions (et a ainsi pu obtenir jusqu'à 3 points supplémentaires), et l'autre moitié

(donc seulement 25% de la cohorte) a développé ses propres questions originales. Certaines étaient très élaborées, demandant réflexion et calcul, tandis que d'autres restaient relativement simples...

Un exemple de question développée par un étudiant est présenté ci-dessous.

La réaction catalytique, d'ordre, 1 A = P est mise en œuvre à une température de 600 K et à la pression atmosphérique dans un réacteur piston continu isotherme (réacteur à lit fixe). Le catalyseur est composé de particules sphériques de 4 mm de diamètre et la diffusivité effective du réactif dans le catalyseur D_{eff} est de $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. La constante de vitesse de la réaction est de $3 \text{ mol/m}^3 \text{ cata/seconde}$

Calculer le temps de passage V_{cata}/Q pour obtenir un taux de conversion de 95 % :

- A. $\tau_{cata} = 1 \text{ seconde}$
- B. $\tau_{cata} = 1,62 \text{ secondes}$
- C. $\tau_{cata} = 10,25 \text{ seconde}$

Explications : Il faut commencer par un bilan de matière en A sur un élément de volume dV_{cata} du réacteur piston catalytique à lit fixe : $F_A - \bar{r}dV = F_A + dF_A$

Soit, en tenant compte du facteur d'efficacité : $\eta k C_{A0}(1 - X_A)dV_{cata} = Q C_{A0}dX_A$

Le facteur d'efficacité s'exprime par : $\eta = \frac{3\phi_s \coth(3\phi_s) - 1}{3\phi_s^2}$

et le critère de Thiele par : $\phi_s = \left(\frac{r_s L^2}{D_{eff} C_{AS}} \right)^{0,5} = \left(\frac{k L^2}{D_{eff}} \right)^{0,5}$

Le critère de Thiele est donc constant dans le réacteur à lit fixe, et égal à 1,15. On trouve un facteur d'efficacité de 0,618.

On peut alors aisément intégrer le bilan de matière sur A :

$$\tau_{cata} = \int_e^s \frac{dV_{cata}}{Q} = \frac{1}{\eta k} \int_e^s \frac{dX_A}{1 - X_A} = -\frac{\ln(1 - X_A)}{\eta k}$$

L'application numérique conduit à un temps de passage de 1,617 seconde.

Si on ne tient pas compte du facteur d'efficacité, on trouve un temps de passage de 1 seconde. Les 10 secondes correspondent au temps de passage d'un RPAC catalytique.

En ce qui concerne les notes finales, il est toujours délicat de tirer des conclusions générales, mais les notes brutes des résultats des élèves à l'examen final en fonction de leur score obtenu suite à leurs activités sur Peerwise sont présentées figure 1 ci-après. Les points sur l'axe des ordonnées correspondent aux résultats bruts des élèves qui n'ont pas participé à l'expérience, et la droite correspondant à l'abscisse 3 correspond aux élèves qui se sont contentés de répondre aux 30 questions développées par leurs pairs. La dernière partie droite du graphique correspond aux élèves qui ont répondu à des questions, et en ont développé d'autres.

Une courbe de tendance montre une légère corrélation (les points sont très dispersés) entre les notes obtenues à l'examen et les points obtenus suite aux activités réalisées sur Peerwise, signe de l'intérêt de la méthode. Cette tendance est certainement aussi simplement liée au temps passé par les élèves sur les notions vues en cours et en TD...

On peut aussi remarquer que cette expérience pourrait conduire à des élèves obtenant une note finale à l'examen (égale à la somme des points obtenus à l'examen et de ceux obtenus sur Peerwise) supérieure à 20/20. Mais il n'en a rien été, toutes les notes ont malheureusement été plafonnées à 20.

Toutefois, suite à ces premiers résultats et aux retours positifs faits par les élèves lors l'enquête spécifique réalisée, mais suite aussi aux questionnaires d'évaluation des enseignements réalisés de façon systématique à l'ENSIC (comme dans de nombreuses autres écoles, l'expérience a été poursuivie lors de l'année universitaire suivante.

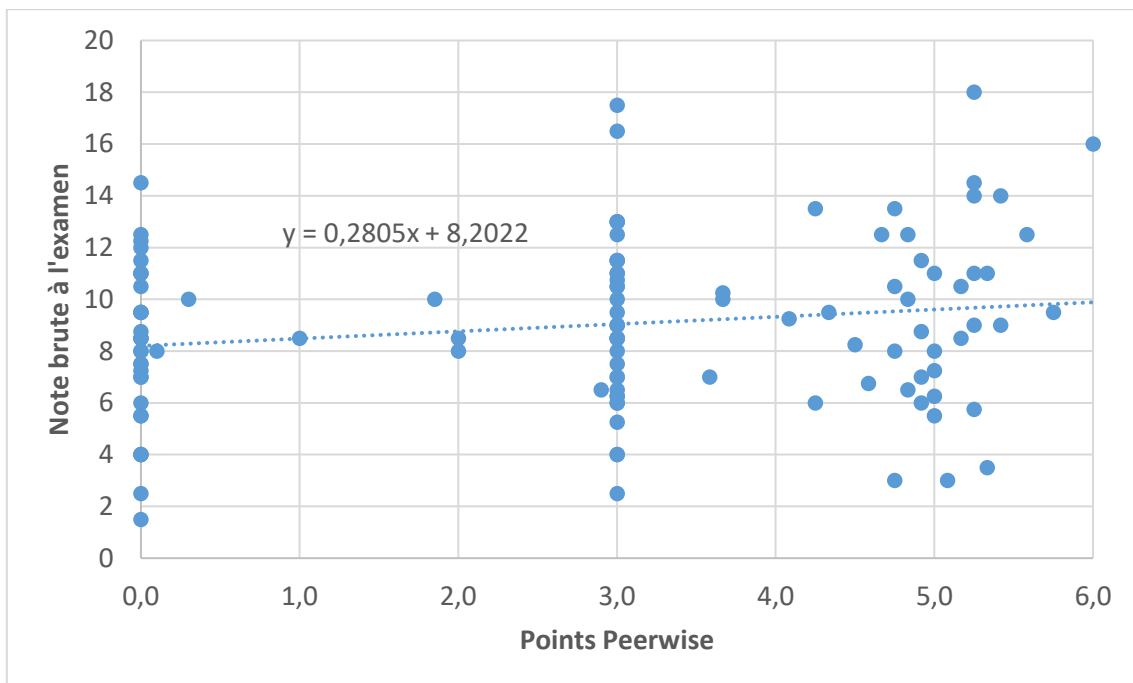


Figure 1 : Notes brutes obtenues à l'examen de GRH en fonction des points obtenus sur Peerwise en juin 2021.

3.2. Analyse de l'expérience au cours de l'année 2021-2022. Cours de GRC

Pour l'examen de GRC du semestre S5 réalisée en janvier 2022, les notes brutes des résultats des élèves à l'examen en fonction de leur score obtenu suite à leurs activités sur Peerwise sont présentées figure 2. On observe les mêmes groupes : ceux qui n'ont pas participé aux activités sur Peerwise, environ 50% des élèves de nouveau, ou ceux qui se sont contentés de répondre aux questions développées par leurs pairs.

On remarque aussi Figure 2 que les points Peerwise semblent moins élevés que ceux obtenus lors de la précédente session, et présentés Figure 1 ci-dessus. Il ne faut pas y voir une lassitude des correcteurs, mais plutôt un manque de maturité des élèves (de première année), dont beaucoup se sont contentés de développer des questions très simples, relatives à la définition d'une notion ou d'un

simple concept vu en cours, correspondant à un niveau bas de taxonomie et logiquement notées sévèrement.

La tendance reste la même, les activités sur Peerwise semblent légèrement corrélées aux résultats de l'examen, mais peuvent de nouveau simplement refléter un temps supérieur consacré à la révision des notions vues en cours et en TD.

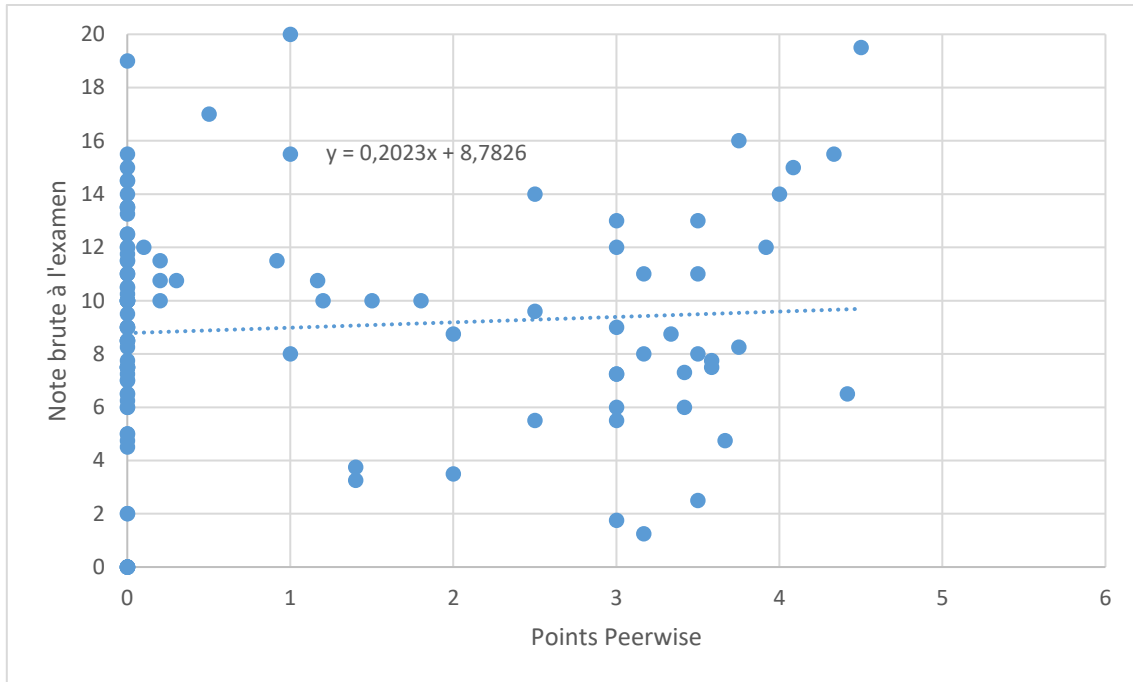


Figure 2 : Notes brutes obtenues à l'examen de GRC en fonction des points obtenus sur Peerwise en janvier 2022.

L'enquête en ligne réalisée suite à l'examen a conduit aux mêmes types de commentaires que ceux obtenus lors de la session précédente et n'a pas fait émerger de nouvelles notions.

3.3. Analyse de l'expérience au cours de l'année 2021-2022. Cours de GRH

Enfin, l'expérience a été reconduite durant le cours de GRH réalisé au semestre S6 de l'année 2021-2022 et évalué en juin 2022. Les participations des étudiants sont restées du même ordre de grandeur, avec toujours environ 50% d'étudiants prenant part aux activités supplémentaires sur Peerwise, et les variations des notes obtenues à l'examen en fonction des points acquis sur Peerwise sont présentées Figure 3. La tendance est ici beaucoup moins nette : il ne semble pas y avoir d'effet des activités réalisées entre pairs sur les notes de l'examen. La tendance est tout juste positive, et le seul intérêt pour les étudiants semblerait d'obtenir des points supplémentaires lors de la note finale du cours, ce qui ne reste toutefois pas négligeable. Il nous semble délicat de comparer ces résultats à ceux illustrés dans les figures précédentes, car ils ne concernent pas la même cohorte d'étudiants ou le même examen.

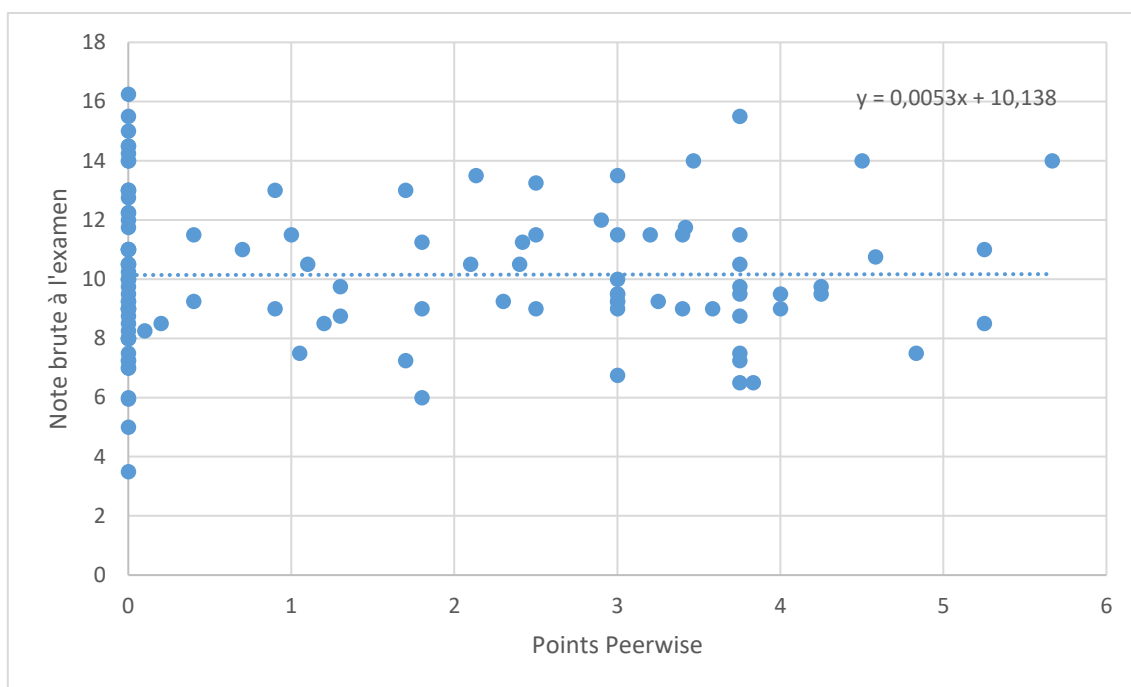


Figure 3 : Notes brutes obtenues à l'examen de GRH en fonction des points obtenus sur Peerwise en juin 2022.

4. Conclusion et perspectives

Une expérimentation visant la collaboration entre étudiants pour le développement et l'analyse de questions complémentaires a ainsi été développée et mise en place à l'ENSIC. Elle a été appliquée aux cours de génie des réactions chimiques, homogènes et hétérogènes de première année, en utilisant le site Peerwise. Les élèves étaient amenés à développer des questions originales relatives au cours, et à répondre à d'autres questions posées par leurs pairs.

Les résultats montrent que sur 3 sessions d'enseignement, le taux de participation est resté identique, égal à environ 50% d'une promotion de 120 élèves. Les retours d'enquêtes ont montré que les étudiants (qui ont participé !) ont apprécié l'expérience, et que le fait de poser ou de répondre à des questions et d'échanger avec leurs pairs les a aidés dans le développement de leurs connaissances et compétences. Ce seul constat justifie déjà l'intérêt de la mise en place d'une telle approche.

D'un point de vue quantitatif, certaines questions étaient de niveau très élevé, nécessitant analyses et réflexions, correspondant à des niveaux de taxonomie élevés. D'autres sont restées malheureusement plus basiques. La présence d'un modérateur pourrait peut-être permettre de s'assurer de la pertinence des questions développées, mais notre choix a été de ne pas intervenir dans ces échanges entre pairs. Les variations des notes obtenues aux examens en fonction des points acquis sur Peerwise montrent également l'intérêt de ces échanges et de ces temps de réflexion sur les compétences développées par les étudiants lors des évaluations.

Il ne faut pas éluder les limites de cette première expérience préliminaire limitée à deux cohortes d'élèves ingénieurs. Néanmoins cette méthodologie d'évaluation par les pairs sera poursuivie dans ces enseignements de génie des réactions chimiques homogène et hétérogène à l'ENSIC, puisque les commentaires des étudiants (et leurs notes finales, y compris les points supplémentaires) montrent qu'elle répond à une attente, permettant une meilleure collaboration entre pairs tout en proposant

une méthodologie d'apprentissage plus active, basée sur leurs interactions. Elle pourrait également être proposée à d'autres matières principales, suite aux demandes des étudiants...

Références bibliographiques

Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., Krathwohl, D. R., 1956, Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain. New York: McKay

EFCE, 2020, European Federation Chemical Engineering (EFCE), 2020. Recommendations for Chemical Engineering Education in a Bologna Three Cycle Degree System, 3rd edition, https://efce.info/Scientific+groups/Education/Publications/_/EFCE_Bologna_Recommendations_2020.pdf

Liau, M. 2020, Student-generated exams with added constraints, EFCE Spotlight Talks, Chemical engineering education in Covid-19 era, <https://youtu.be/9M1rCLEyoR0>

Mac Raighne, A. Casey, M., Howard, R. Ryan, B., 2015, Student Attitudes to an Online, Peer-instruction, Revision Aid in Science Education, Journal of Perspectives in Applied Academic Practice, 3, 1, pp. 49-60

Smith C, Dai A, Kenwright D, Grainger R, 2020, PeerWise and Pathology: Discontinuing a teaching innovation that did not achieve its potential, MedEdPublish 2020, 9, 27.

Yu, F.-Y., and Su, C.-L., 2015, A student-constructed test learning system: The design, development and evaluation of its pedagogical potential, Australasian Journal of Educational Technology, 31, 6.