

ÉTUDE COMPARATIVE DES PERFORMANCES ACADÉMIQUES D'ÉTUDIANTS EXPOSÉS À UNE CLASSE INVERSÉE OU TRADITIONNELLE : PARTIE 2 – RÉSULTATS

COMPARATIVE STUDY OF THE ACADEMIC PERFORMANCE OF STUDENTS EXPOSED TO A FLIPPED OR TRADITIONAL CLASSROOM: PART 2 - RESULTS

Patrick Terriault¹, Anastassis Kozanitis², and Patrice Farand³

¹ École de technologie supérieure, ² Université du Québec à Montréal, ³ Polytechnique Montréal
patrick.terriault@etsmtl.ca, kozanitis.anastassis@uqam.ca, p.farand@polymtl.ca

Résumé – La classe inversée gagne sans cesse en popularité depuis quelques années. La littérature scientifique semble montrer que les étudiants obtiennent généralement de meilleurs résultats académiques lorsqu'ils sont exposés à une classe inversée comparativement à une classe traditionnelle, mais la méthodologie employée dans plusieurs études soulève des doutes en ce qui a trait à la validité des résultats obtenus. Le but de cette publication est d'alimenter la littérature scientifique de données probantes en effectuant une étude comparative entre un groupe témoin (classe traditionnelle) et un groupe expérimental (classe inversée). Les résultats obtenus ne montrent aucune différence significative entre les performances académiques des étudiants des deux groupes. Enfin, les résultats d'un sondage semblent indiquer que les étudiants se sont sentis plus compétents suite à une séance de cours magistral en classe traditionnelle, mais ceux de la classe inversée affirment avoir développé de liens sociaux plus forts.

Abstract – The flipped classroom has been gaining in popularity in recent years. Scientific literature seems to show that students generally achieve better academic results when exposed to a flipped classroom compared to a traditional classroom, but the methodology employed in many studies raises doubts about the validity of the results obtained. The aim of this publication is to add evidence to the scientific literature by conducting a comparative study between a control group (traditional classroom) and an experimental group (flipped classroom). The results obtained show no significant difference between the academic performance of students in the two groups. Finally, survey results suggest that students felt more

competent following a lecture session in the traditional classroom, but those in the flipped classroom claimed to have developed stronger social bonds.

Mots clés : Classe inversée, performances académiques, théorie de la charge cognitive, théorie de l'autodétermination.

1. INTRODUCTION

La majorité des cours offerts dans les facultés et écoles d'ingénierie au Canada repose sur la classe traditionnelle, cette stratégie pédagogique où l'enseignant utilise l'exposé magistral pour transmettre ses connaissances aux étudiants. Selon Nelson et Brennan [12], en 2018, environ 95% des cours en ingénierie au Canada reposent sur cette stratégie pédagogique. Les étudiants adoptent donc une posture qui est plutôt passive. Depuis quelques années, les méthodes d'apprentissage actif gagnent en popularité et la classe inversée ne fait pas exception. À preuve, Karabulut-Ilgu et coll. [8] ont effectué une recension des écrits afin de dénombrer le nombre de publications qui relatent des expériences de classe inversée dans des cours d'ingénierie. Les auteurs notent un accroissement exponentiel depuis 2012 en ce qui a trait au nombre de publications traitant de l'utilisation de la classe inversée dans l'enseignement du génie. Suite à une analyse bibliométrique, Al Mamun et coll. [2] constatent également que le nombre de publications traitant de la classe inversée dans l'enseignement du génie augmente de manière exponentielle depuis quelques années bien que le nombre de citations demeure relativement faible, ce qui est caractéristique d'un domaine de recherche relativement nouveau.

Néanmoins, la littérature scientifique commence à être suffisamment abondante pour que certaines publications soient des articles de synthèse ou des méta-analyses qui cherchent à dégager des tendances globales. La méta-analyse de Lo et Hew [10] concerne exclusivement des expériences relatives à l'éducation en ingénierie. Les auteurs concluent que les performances académiques des étudiants en ingénierie exposés à la classe inversée sont significativement supérieures à celles de ceux exposés à la classe traditionnelle, même si quelques expériences ont observé le contraire. Cependant, comme le soulignent Brewer et Movahedazarhouli [4], plusieurs étudiants se plaignent que la charge de travail dans une classe inversée est supérieure à celle exigée par une classe traditionnelle. Lorsque Cho et coll. [6] ont demandé à des étudiants d'identifier les principaux enjeux liés à l'apprentissage dans une classe inversée, le temps trop élevé consacré aux études s'est avéré être l'élément le plus souvent rapporté. Dans ce contexte, Chao et coll. [5] évoquent la possibilité que les meilleures performances des étudiants exposés à la classe inversée soient possiblement liées au surplus de temps consacré aux études, et non à la stratégie pédagogique proprement dite. Intuitivement, il est permis de croire que plus un étudiant consacre de temps à ses études, meilleurs seront ses résultats académiques. Ceci a d'ailleurs été validé par Nyamapfene [13] qui a montré que le nombre d'heures de présence en classe est un bon prédicteur de la réussite académique. Dans ces circonstances, Lo et Hew [10] ainsi que Morin et coll. [11] recommandent de prendre en considération le temps consacré aux études afin de mieux évaluer la véritable efficacité de la classe inversée.

Bidwell [3] affirme que la classe inversée procure des effets bénéfiques plus marqués auprès des étudiants ayant les moyennes académiques les plus faibles d'un groupe, mais le nombre de travaux traitant de cette question demeure marginal à ce jour. De plus, il serait intéressant de déterminer si les effets de la stratégie pédagogique sont influencés par le niveau des processus cognitifs mobilisés lorsque les étudiants participent à des activités pédagogiques et à des évaluations. Par exemple, est-ce que la différence entre les performances des étudiants d'une classe inversée et celles des étudiants d'une classe traditionnelle est similaire lorsqu'ils doivent simplement mémoriser des informations (processus cognitif de faible niveau) ou concevoir des nouveaux produits (processus cognitif de haut niveau). La présente étude vise à enrichir la littérature scientifique de données probantes sur ces aspects ainsi qu'à atteindre trois objectifs : i) comparer l'efficacité des étudiants exposés à une classe inversée ou traditionnelle en fonction de leurs performances académiques, ii) comparer les performances académiques des étudiants exposés à une classe inversée ou traditionnelle en fonction du niveau des processus cognitifs mobilisés et iii) identifier les facteurs qui pourraient

expliquer les différences entre les deux stratégies pédagogiques.

2. CADRE THÉORIQUE

Le cadre théorique de cette publication repose sur les éléments suivants qui ont été antérieurement présentés de manière plus détaillée par Terriault et coll. [16] :

- **Taxonomie révisée de Bloom** [9] : classification en six niveaux des processus cognitifs allant du plus simple au plus complexe (1. Mémoriser, 2. Comprendre, 3. Appliquer, 4. Analyser, 5. Évaluer et 6. Créer).
- **Classe traditionnelle** : stratégie pédagogique où l'enseignant utilise l'exposé magistral pour transmettre des connaissances aux étudiants.
- **Classe inversée** : stratégie pédagogique qui, selon Abeysekera et Dawson [1] i) déplace à l'extérieur de la salle de classe toute activité transmissive d'information, ii) utilise le temps en classe pour des activités d'apprentissage actives et sociales et iii) exige que l'apprenant réalise préalablement des tâches à la maison pour bénéficier pleinement du travail en classe.
- **Théorie de la charge cognitive** de Sweller [15] : théorie qui stipule que les apprentissages ne sont pas réalisés si les étudiants se trouvent dans un état de surcharge cognitive résultant d'une saturation de leur mémoire de travail, situation susceptible de survenir lors de longs exposés magistraux. De plus, l'effet des exemples résolu stipule qu'une personne novice dans un domaine fera de meilleurs apprentissages si un expert lui montre des exemples. Enfin, l'effet de la mémoire de travail collective stipule que la mise en commun des capacités cognitives de plusieurs étudiants augmente la capacité du groupe à exécuter des tâches complexes.
- **Théorie de l'autodétermination** de Deci et Ryan [7] : théorie de la motivation qui stipule que les étudiants sont davantage motivés, et conséquemment plus susceptibles de réussir, s'ils satisfont trois besoins psychologiques fondamentaux que sont le besoin d'autonomie (l'étudiant contrôle ses apprentissages), le besoin de compétence (l'étudiant vit des réussites en réalisant des tâches valorisantes qui ne sont ni trop simples ni trop compliquées) et le besoin de relations sociales (l'étudiant développe de fortes relations avec son enseignant et ses pairs).
- **Indice d'efficacité** : valeur numérique qui prend en considération les résultats académiques et le temps consacré aux études d'un étudiant et qui compare ces données à celles de l'ensemble des étudiants participant à l'étude. En utilisant l'équation définie dans Terriault et coll. [16] inspirée des travaux de Paas et van

Merrienboer [14], une valeur positive indique que l'étudiant est efficace dans le sens où il a obtenu une meilleure note que celle que les autres étudiants ayant consacré un temps aux études similaire. L'indice d'efficacité peut aussi être négatif, ce qui indique que l'étudiant aurait dû obtenir de meilleures notes considérant le temps qu'il a consacré à ses études.

Le cadre théorique a permis de dégager cinq facteurs pouvant expliquer les bienfaits potentiels de la classe inversée par rapport à la classe traditionnelle. Dans un premier temps, puisque les étudiants établissent un premier contact avec la nouvelle matière alors qu'ils sont seuls à la maison en utilisant du matériel pédagogique (notes de cours et vidéos) spécialement adapté,

- 1) ils évitent de se retrouver dans un état de surcharge cognitive en apprenant à leur propre rythme,
- 2) ils font des apprentissages par eux-mêmes, ce qui satisfait le besoin psychologique fondamental d'autonomie,
- 3) ils prennent confiance en eux en constatant qu'ils possèdent les habiletés requises pour réaliser facilement des apprentissages, ce qui satisfait le besoin psychologique fondamental de compétence.

Dans un second temps, à cause du travail d'équipe durant les séances de cours,

- 4) ils sont en mesure d'interagir avec leurs camarades de classe et l'enseignant, ce qui satisfait le besoin psychologique fondamentale de relations sociales,
- 5) ils exploitent l'effet de mémoire de travail collective afin de traiter des problèmes complexes tout en évitant un état de surcharge cognitive.

3. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie de cette étude est décrite de manière relativement détaillée dans la publication de Terriault et coll. [16]. Les principaux éléments de celle-ci sont résumés dans les paragraphes qui suivent.

Un cours obligatoire d'un programme de génie mécanique a été offert à la session d'automne 2021 à deux groupes différents d'étudiants en classe inversée pour un groupe et en classe traditionnelle pour l'autre. Ce cours traite de la méthode des éléments finis appliquée à l'analyse des corps déformables supportant des charges mécaniques et thermiques. Au moment de l'inscription, les étudiants n'étaient pas au courant de la stratégie pédagogique retenue pour leur groupe, ce qui contribue à distribuer aléatoirement les participants entre les deux groupes.

Le matériel pédagogique (notes de cours écrites et capsules vidéo) ainsi que les évaluations (trois examens théoriques de deux heures, un examen final pratique de

deux heures, dix quiz hebdomadaires et un projet de conception) ont été identiques pour les deux groupes. Il est important de mentionner que les étudiants des deux groupes ont réalisé simultanément tous les examens. De plus, un professeur expérimenté avec les deux stratégies pédagogiques a pris en charge les deux groupes.

Plusieurs données ont été collectées durant le déroulement de l'étude. La moyenne académique sur 4,3 de tous les participants a d'abord été extraite de leur dossier institutionnel. Ensuite, lors d'une visite hebdomadaire en classe, une assistante de recherche a distribué et récupéré un document sur lequel les étudiants devaient préciser le nombre d'heures consacré aux études durant la semaine précédente. Les notes aux différentes évaluations ont été collectées à partir d'une série d'évaluations mobilisant des processus cognitifs de niveaux différents selon la taxonomie révisée de Bloom :

- **Niveaux 1 et 2 :** Dix quiz hebdomadaires, totalisant 10 points, devaient être répondus par les étudiants de la classe inversée à l'intérieur des trois jours précédant la séance de cours, et à l'intérieur de trois jours suivant la séance de cours pour les étudiants de la classe traditionnelle. Ces quiz comprenaient deux questions aléatoirement tirées d'une banque de questions à choix multiples préalablement construite dans l'environnement numérique d'apprentissage (Moodle). Les étudiants disposaient de trois minutes pour répondre aux deux questions.
- **Niveaux 3 et 4 :** Trois examens théoriques de deux heures chacun, évalués sur 55 points, ont été proposés aux étudiants concernant le contenu traité durant les séances de cours. Lors de ces examens, les étudiants devaient résoudre des problèmes en appliquant de manière procédurale la méthode des éléments finis. Certaines questions d'examen étaient davantage axées vers l'analyse de données fournies afin, par exemple, d'identifier des anomalies ou des aberrations.
- **Niveaux 5 et 6 :** Les étudiants devaient réaliser un projet de conception d'un corps déformable soumis à des charges mécaniques et thermiques en utilisant un logiciel commercial d'analyse par éléments finis afin d'en optimiser les performances (minimiser la masse, maximiser la rigidité, etc.). Disposant d'environ quatre semaines, les étudiants devaient appliquer le processus de conception (analyse du problème, proposition de différents alternatives, choix et justification d'une alternative prometteuse, évaluation des performances, optimisation de la forme, etc.) et rédiger un rapport. Le projet a été réalisé individuellement à l'extérieur des heures de cours et a été évalué sur 15 points.

Les dernières données collectées dans le cadre de cette étude concernent un sondage afin d'identifier des pistes qui pourraient expliquer les différences observées entre les deux groupes. Pour évaluer dans quelle mesure chacun des cinq facteurs identifiés précédemment est en cause, les

étudiants ont été sondés lors de la dernière séance de cours. Le questionnaire aborde les mêmes thèmes, mais en formulant certaines questions de manière légèrement différente afin de s'adapter aux particularités de chaque stratégie pédagogique. La première question du questionnaire permet l'identification des étudiants qui ont été exposés aux deux stratégies pédagogiques en ayant assisté à des séances de cours dans les deux groupes. Une réponse positive à cette question a entraîné automatiquement l'exclusion de ce participant à l'étude. Les cinq questions suivantes (questions 2 à 6 inclusivement) sont en direct adéquation avec les cinq facteurs énumérés précédemment :

- Question 2 : État de surcharge cognitive
- Question 3 : Besoin fondamental d'autonomie
- Question 4 : Besoin fondamental de compétence
- Question 5 : Besoin fondamental de relations sociales
- Question 6 : Effet de mémoire de travail collective

La septième et dernière question du sondage relève davantage d'une curiosité que d'une donnée à être traitée dans le cadre de ce projet. Cette question supplémentaire demande aux étudiants dans quelle mesure ils ont été satisfaits de l'ensemble du cours.

La table 1 présente la formulation exacte des questions tout en permettant d'identifier rapidement les questions qui sont identiques pour les deux classes (1, 4b, 5, 6a, 6b et 7) et celles qui sont différentes (2, 3 et 4a).

4. RÉSULTATS

4.1. Résumé des résultats déjà publiés

Après avoir exclu certains étudiants en fonction de critères préétablis, l'étude compte 20 étudiants ayant suivi le cours en classe traditionnelle et 21 étudiants en classe inversée. Les résultats préliminaires publiés par Terriault et coll. [16] montrent qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative ($t(39) = ,390$; $p = ,698$) entre la moyenne cumulative des étudiants de la classe inversée ($N = 21$; $M = 3,21$; $ET = ,528$) et celle des étudiants de la classe traditionnelle ($N = 20$; $M = 3,14$; $ET = ,472$). Autrement dit, on retrouve des étudiants dont la moyenne cumulative est faible, intermédiaire et forte aléatoirement répartis dans les deux groupes. D'autres résultats préliminaires ont aussi montré qu'il existe une corrélation statistiquement significative entre la moyenne cumulative et la note obtenue pour l'ensemble des évaluations du cours, et cela pour les deux classes. Ainsi, plus la moyenne cumulative d'un étudiant est élevée, meilleure a été sa note totale globale dans le cours. Pour ce qui est du temps consacré aux études, aucune des deux classes n'affiche une tendance statistiquement significative, ce qui indique que le temps total consacré aux études n'est aucunement lié à la moyenne académique de l'étudiant ni à la stratégie pédagogique à laquelle il a été exposé.

Table 1 : Questions du sondage.

Question	Classe inversée	Classe traditionnelle
1	Avez-vous assisté à des séances de cours dans l'autre groupe ?	
2	J'étais en mesure d'assimiler toute la nouvelle matière en lisant les notes de cours et en visionnant les vidéos avant les cours.	J'étais en mesure d'assimiler toute la nouvelle matière en assistant aux exposés magistraux du professeur.
3	J'avais l'impression d'avoir une certaine autonomie sur le déroulement de mes apprentissages lors de la lecture des notes de cours et du visionnement des vidéos avant les cours.	J'avais l'impression d'avoir une certaine autonomie sur le déroulement de mes apprentissages lors des exposés magistraux du professeur.
4a	Je me sentais compétent(e) pour réussir les examens après avoir lu les notes de cours et visionné les vidéos.	Je me sentais compétent(e) pour réussir les examens après avoir assisté aux exposés magistraux du professeur.
4b	Je me sentais compétent(e) pour réussir les examens après avoir résolu les exercices.	
5	Les liens sociaux développés avec mes collègues de classe et mon professeur durant les séances de cours ont facilité mon apprentissage.	
6a	Il était facile pour moi de résoudre les exercices à l'extérieur des heures de cours et de TP.	
6b	Il était facile pour moi de résoudre les exercices durant les séances de cours ou de TP.	
7	Je suis satisfait(e) du cours dans son ensemble.	

Enfin, en ce qui concerne l'indice d'efficacité qui prend en considération les résultats académiques et le temps consacré aux études, on observe une corrélation positive entre l'indice d'efficacité et la moyenne académique dans les deux classes. Un étudiant ayant une moyenne cumulative élevée doit donc consacrer moins de temps à ses études pour obtenir la même note qu'un étudiant ayant une moyenne cumulative faible. Enfin, même si 14 des 21 participants de la classe inversée ont un indice d'efficacité positif, comparativement à 7 des 20 participants de la classe traditionnelle, la différence entre les deux classes n'est pas statistiquement significative. Il n'est donc pas

possible de conclure qu'une stratégie pédagogique rend les étudiants plus efficaces que l'autre, du moins pas le cours et l'enseignant impliqués dans cette étude.

4.2. Notes aux différentes évaluations

Les résultats sont maintenant analysés plus en profondeur, notamment en prenant en considération le niveau des processus cognitifs selon la taxonomie révisée de Bloom mobilisés par les étudiants lors des évaluations. Pour les quiz hebdomadaires (niveaux 1 et 2), la figure 1 montre des notes supérieures pour les étudiants de la classe inversée ($N = 21$; $M = 6,7$; $ET = 1,6$) comparativement à ceux de la classe traditionnelle ($N = 20$; $M = 5,7$; $ET = 2,1$). Il serait invitant de conclure que la classe inversée permet aux étudiants de mieux mémoriser et comprendre les concepts fondamentaux du cours, mais un test t révèle cependant que la différence entre les deux groupes n'est pas statistiquement significative ($t(39) = 1,693$; $p = ,098$). En ce qui a trait à la relation entre la moyenne cumulative et la note obtenue aux quiz hebdomadaires, une corrélation positive est obtenue pour les deux groupes, mais celle de la classe traditionnelle n'est statistiquement pas significative ($r = ,252$; $p = ,285$), contrairement à celle de la classe inversée ($r = ,566$; $p = ,007$). Pour la classe inversée, ces résultats indiquent que plus la moyenne académique des étudiants est élevée, meilleure semble être leur compréhension des concepts fondamentaux présentés dans les notes de cours qui doivent être lues et assimilées avant de se présenter en classe. Pour la classe traditionnelle, les exposés magistraux du professeur semblent avoir uniformisé le niveau de compréhension des concepts de base à l'ensemble des étudiants.

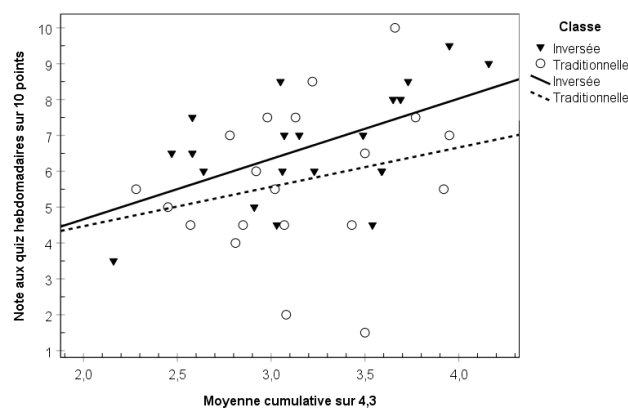


Fig. 1. Diagramme de dispersion de la note obtenue aux quiz hebdomadaires (niveaux 1 et 2) en fonction de la moyenne cumulative.

Pour les examens théoriques (niveaux 3 et 4), la note sur 55 points obtenue par les étudiants est rapportée à la figure 2 en fonction de leur moyenne cumulative. Les étudiants de la classe inversée ($N = 21$; $M = 45,8$; $ET = 5,2$) ont obtenu des notes très légèrement supérieures à celles des étudiants de la classe traditionnelle ($N = 20$; $M = 44,8$;

$ET = 5,3$), mais cette différence n'est pas statistiquement significative selon un test t ($t(39) = ,845$; $p = ,403$). La corrélation entre la moyenne cumulative et la note obtenue aux examens est significative et positive autant pour la classe inversée ($r = ,757$; $p < ,001$) que pour la classe traditionnelle ($r = ,833$; $p < ,001$). Il faut donc conclure que la stratégie pédagogique n'a pénalisé ni favorisé aucun étudiant. Les apprentissages réalisés dans les deux classes semblent donc être équivalents pour résoudre des problèmes en appliquant la méthode des éléments finis et pour analyser des données.

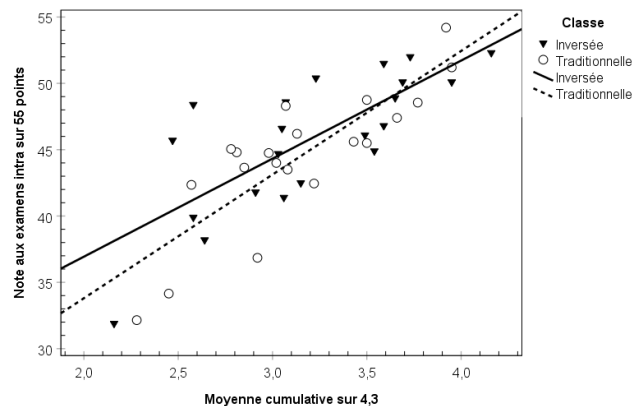


Fig. 2. Diagramme de dispersion de la note obtenue aux examens intra (niveaux 3 et 4) en fonction de la moyenne cumulative.

La figure 3 montre les notes obtenues pour le projet de conception (niveaux 5 et 6). Une fois de plus, un test t ($t(39) = ,158$; $p = ,875$) révèle qu'aucune différence significative n'est observée entre la moyenne des notes des étudiants de la classe inversée ($N = 21$; $M = 12,4$; $ET = 1,3$) et de la classe traditionnelle ($N = 20$; $M = 12,5$; $ET = 2,0$). La corrélation entre la note obtenue dans le projet et la moyenne cumulative n'est pas significative pour la classe inversée ($r = ,292$; $p = ,199$), mais elle est près de l'être pour la classe traditionnelle ($r = ,413$; $p = ,070$). Cependant, si on enlève la donnée aberrante qui correspond à l'étudiant de la classe traditionnelle ayant obtenu moins de 5 points sur 15, la corrélation s'éloigne de manière importante du seuil de la significativité statistique établi ici à $\alpha = ,05$. Compte tenu de ces résultats, il est hasardeux de conclure que les activités cognitives de niveaux élevés permettent aux étudiants les plus faibles de performer aussi bien que les étudiants intermédiaires ou forts. Nous croyons que ce nivelage est plutôt lié aux aspects logistiques sous-jacents aux évaluations. En effet, les étudiants devaient faire les examens et les quiz à l'intérieur d'une durée prédéterminée, ce qui n'est pas le cas pour le projet. Si des activités de hauts niveaux cognitifs avaient été proposées aux étudiants durant un examen à durée déterminée, une corrélation significative entre la note obtenue et la moyenne cumulative aurait fort probablement été

observée, comme pour les autres évaluations mobilisant des processus cognitifs de niveaux inférieurs.

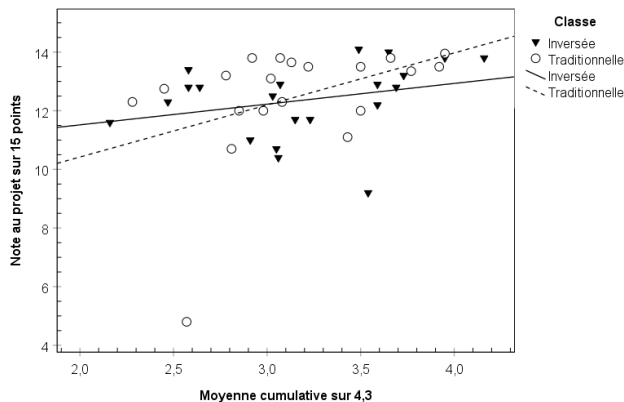


Fig. 3. Diagramme de dispersion de la note obtenue au projet de conception (niveaux 5 et 6) en fonction de la moyenne cumulative.

4.3. Facteur de différenciation

Pour chaque question du sondage, les étudiants ont précisé leur degré d'accord ou de désaccord face à une série d'affirmations en choisissant un chiffre entre 1 et 9, 1 indiquant être fortement en désaccord et 9 fortement en accord. Pour simplifier le traitement des résultats, les réponses ont été regroupées en trois catégories : « Désaccord » regroupant les réponses 1, 2 et 3, « Neutre » regroupant les réponses 4, 5 et 6 et « Accord » regroupant les réponses 7, 8 et 9. La figure 4 présente le dénombrement de chaque catégorie aux différentes questions pour les classes inversée et traditionnelle. Des graphiques de type « pyramide des âges » sont employés pour faciliter la comparaison visuelle des données. De plus, la table 2 fournit les résultats du test statistique du khi-carré employé pour évaluer si la distribution des réponses dans chaque catégorie est similaire dans les deux classes. Évidemment, une distribution jugée statistiquement similaire ($p > ,05$) laisse sous-entendre que les différences observées relèvent du hasard. Puisque les données traitées dans les sections précédentes montrent peu de différences entre les classes, il est attendu que peu de différences soient révélées par ce sondage.

Table 2 : Test du khi-carré pour les questions du sondage.

Question	Statistique χ^2	Valeur p
2	,976	,614
3	,782	,676
4a	3,54	,170
4b	,287	,592
5	4,88	,087
6a	2,24	,325
6b	4,08	,815
7	2,00	,157

Une analyse globale et visuelle de la figure 4 montre que les réponses obtenues pour les questions 2, 3, 4b, 6a, 6b et 7 forment une distribution similaire dans les deux classes et qu'il y a forte majorité des réponses dans la catégorie « Accord ». Pour ces questions, la valeur p du test statistique du khi-carré est très élevée, voir même souvent supérieure à ,5. Ceci indique que la perception des étudiants est semblable dans chaque classe et qu'ils sont majoritairement en accord avec l'énoncé de ces questions. Pour ce qui est des questions 4a et 5, les distributions sont qualitativement différentes et leur valeur p est passablement plus faible que celle des autres questions, sans cependant atteindre le seuil statistiquement significatif pour affirmer qu'il existe une différence entre les deux classes. Les prochains paragraphes fournissent une brève analyse des résultats de chaque question.

Pour la question 2, il semble que la classe traditionnelle reposant sur des exposés magistraux n'a pas mené davantage les étudiants vers un état de surcharge cognitive par rapport aux étudiants de la classe inversée pour qui l'assimilation de la nouvelle matière repose essentiellement sur de la lecture personnelle et du visionnement de capsules vidéo. Ceci est encourageant, car cela semble indiquer qu'autant les notes de cours que les exposés magistraux permettent aux étudiants d'assimiler sans trop de difficulté la nouvelle matière. Il n'est donc pas possible d'affirmer que l'une ou l'autre des stratégies pédagogiques employées dans le cours plonge les étudiants dans un état de surcharge cognitive.

Pour la question 3, les étudiants affirment avoir autant d'autonomie dans la classe inversée que dans la classe traditionnelle. Ce résultat peut paraître étonnant de prime abord, car dans la classe traditionnelle, la nouvelle matière est présentée par le professeur lors d'exposés magistraux qui incluent des exemples résolus dont le déroulement est entièrement contrôlé par le professeur. Le sentiment d'autonomie de l'étudiant provient possiblement du fait que le professeur pose constamment des questions aux étudiants pour s'assurer que les notions importantes sont bien assimilées et, au besoin, n'hésite pas à revenir en arrière pour reprendre des explications.

Pour la question 4a, bien qu'elle soit statistiquement non significative, il semble y avoir une certaine différence entre les deux distributions. Les étudiants se sont sentis plus compétents après avoir assisté à une séance de cours de la classe traditionnelle, et cela comparativement aux étudiants de la classe inversée après avoir lu les notes de cours et visionné les vidéos traitant du même contenu théorique. Le fait d'assister à des exemples résolus par le professeur lors des exposés magistraux semble être un élément qui rassure les étudiants et développe leur sentiment de compétence. Le professeur s'efforce alors d'établir un dialogue avec les étudiants afin de faire des liens avec les éléments théoriques.

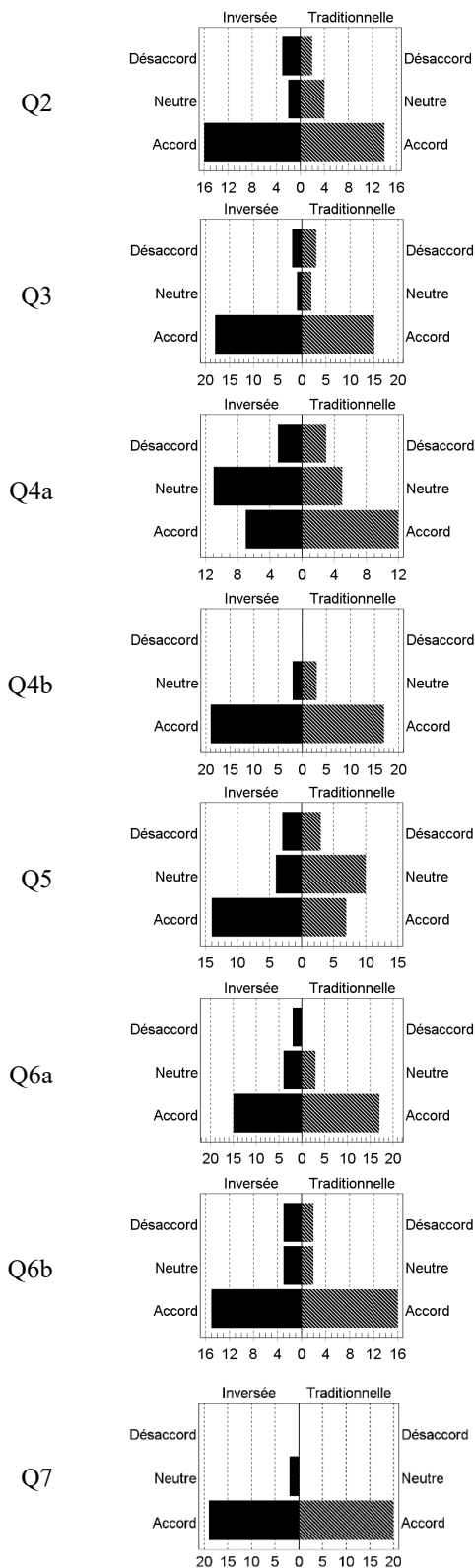


Fig. 4. Distribution des réponses aux questions du sondage.

Les mêmes exemples sont couverts par les étudiants de la classe inversée lorsqu'ils lisent les notes de cours, mais l'absence de toute intervention synchrone du professeur semble réduire leur sentiment de compétence. Par contre, comme le montrent les distributions de la question 4b, cette différence entre les deux classes s'évapore une fois les exercices complétés par les étudiants. En effet, tous les étudiants, au final, ont résolu les mêmes exercices, ce qui se traduit par un sentiment de compétence qui est comparable entre les deux classes.

Pour la question 5, on observe plus d'étudiants favorables avec l'énoncé de cette question dans la classe inversée que dans la classe traditionnelle, bien que la différence ne soit pas statistiquement significative ($p = ,087$). En favorisant la résolution d'exercices en équipe dans la classe inversée, les étudiants semblent avoir été en mesure de développer des liens sociaux plus forts comparativement aux étudiants de la classe traditionnelle. Ce constat était attendu, mais nous croyons que le contexte pandémique et les restrictions sous-jacentes, dont le port obligatoire du masque et la distanciation physique, ont possiblement contribué à minimiser les bienfaits potentiels des relations sociales. De plus, plusieurs étudiants de la classe inversée ont préféré quitter la salle et ne pas résoudre les exercices en équipe. Certains étudiants ont affirmé avoir des craintes liées à la transmission de la Covid 19 pendant le travail en équipe. Dans ces circonstances, il est permis de croire que le travail en équipe en classe dans un contexte normal (absence de distanciation physique sans risque de contracter le virus) pourrait favoriser de manière plus marquée le développement de liens sociaux entre les étudiants et le professeur tout en augmentant la motivation chez les étudiants. Par contre, il n'y a aucune évidence que cette augmentation de motivation se concrétiserait par de meilleures performances académiques de la part des étudiants de la classe inversée, du moins pas dans le cours concerné par cette étude.

Les questions 6a et 6b doivent être analysées simultanément afin de déterminer si les étudiants de la classe inversée semblent avoir eu plus de facilité à réaliser les exercices en équipe durant les séances de cours comparativement au moment où ils les réalisent seuls à la maison. Pour les étudiants de la classe traditionnelle, c'est sans surprise que les deux distributions sont pratiquement identiques, puisqu'aucun travail en équipe n'est prévu pour eux. Par contre, si l'effet de mémoire de travail collective s'était manifesté dans la classe inversée, un nombre plus élevé de réponses « Accord » aurait été observé à la question 6a comparativement à la question 6b. La grande similitude des distributions des réponses aux questions 6a et 6b pour la classe inversée semble donc indiquer que l'effet de mémoire de travail collective ne s'est pas manifesté lors de ce projet de recherche. Il est possible que les exercices que les étudiants doivent résoudre dans le cours n'aient pas une ampleur suffisante pour que leur résolution sature la mémoire de travail d'un seul individu.

La septième et dernière question du sondage permet de mesurer le degré de satisfaction globale des étudiants envers le cours. Dans les deux classes, la moyenne de la satisfaction globale est très élevée, soit 8,10 sur 9 avec un écart type de 1,41 pour la classe inversée et 8,50 sur 9 avec un écart type de ,76 pour la classe traditionnelle. Un test t indique que la différence n'est statistiquement pas significative ($t(39) = 1,135; p = ,263$). Malgré une valeur de satisfaction globale légèrement supérieure envers la classe traditionnelle, il n'est pas possible d'affirmer que les étudiants ont préféré une classe plus que l'autre.

5. CONCLUSION

Le but de cette étude est d'identifier laquelle parmi deux stratégies pédagogiques, classe inversée ou traditionnelle, s'avère être la plus efficace pour les étudiants dans un cours obligatoire d'un programme universitaire en génie mécanique. L'efficacité fait référence ici à la maximisation des apprentissages des étudiants par rapport aux temps qu'ils consacrent à leurs études. Cette étude est réalisée dans le contexte où la littérature scientifique est pratiquement muette sur cette question. Durant la session d'automne 2021, un premier groupe d'étudiants a suivi un cours sur la méthode des éléments finis appliquée à la mécanique des solides dans une classe inversée (groupe expérimental), alors qu'un autre groupe a suivi le même cours dans une classe traditionnelle (groupe témoin). Une méthodologie rigoureuse a été appliquée pour faire ressortir le plus possible l'effet de la stratégie pédagogique en maximisant les éléments communs entre les deux classes, notamment le personnel enseignant, le matériel pédagogique et les éléments d'évaluation. Durant la session, des données ont été collectées afin d'associer à chaque étudiant une note obtenue aux différentes évaluations ainsi qu'un temps autodéclaré consacré aux études. À partir de ces données, un indice d'efficacité a été calculé et celui-ci permet de quantifier à quel point un étudiant a bien performé considérant le temps qu'il a consacré à ses études. Enfin, à la toute fin de la session, un court sondage a été administré aux étudiants afin de vérifier si certains aspects tirés de la théorie de la charge cognitive et de la théorie de l'autodétermination permettent d'expliquer les différences entre les deux classes.

Les résultats obtenus ont permis de faire ressortir une corrélation fortement positive entre la moyenne cumulative des étudiants et leur note obtenue aux différentes évaluations. Sans surprise, les étudiants les plus forts se sont avérés être ceux qui ont généralement obtenu les meilleures notes. L'ensemble des similitudes observées entre les deux classes fait en sorte qu'il s'avère impossible de conclure qu'une stratégie pédagogique s'avère être supérieure à l'autre. Cette dernière affirmation doit cependant être nuancée étant donné le contexte particulier dans lequel ce projet de recherche a été réalisé. La session d'automne 2021 coïncide avec le retour de l'enseignement

en présentiel après environ deux ans de pandémie lors desquels l'enseignement à distance fut imposé. Les bienfaits potentiels de la classe inversée qui reposent notamment sur des liens sociaux prononcés durant les séances de cours théoriques n'ont pu être pleinement exploités à cause de l'imposition de mesures de distanciation physique et du port obligatoire du masque. En ce qui a trait à la classe traditionnelle, les séances de cours ont été montées pour que les étudiants ne soient pas confrontés exclusivement à des exposés magistraux détaillant des développements théoriques. En effet, une part importante de ces séances comprenait des exemples résolus par le professeur, ce qui s'avère être, selon la théorie de la charge cognitive, un effet empiriquement vérifié pour améliorer significativement l'apprentissage des étudiants. Il semble donc que ce projet de recherche a comparé une version optimale de la classe traditionnelle avec une version sous-optimale de la classe inversée. Ceci dit, il n'y a aucun garanti qu'une classe inversée déployée dans des conditions optimales aurait produit des résultats différents que ceux obtenus dans la présente étude.

Deux limitations de cette étude peuvent être énoncées. La première d'entre elles concerne la puissance limitée des tests statistiques causée par un nombre de participants relativement faible, ce qui fait en sorte qu'une différence entre les deux classes qui aurait pu exister dans les faits n'a possiblement pas pu être détectée. Une des façons d'augmenter la puissance statistique serait de reconduire des études similaires à plus grande échelle en faisant intervenir plusieurs enseignants qui donnent différents cours du même programme. Malheureusement, une telle possibilité est extrêmement difficile à mettre en œuvre, car rares sont les enseignants qui accepteraient d'offrir de deux manières différentes le même cours à une session donnée. La seconde limitation concerne la profondeur de l'analyse en ce qui a trait à la perception des étudiants envers les deux stratégies pédagogiques. Dans le présent projet, un court sondage a été administré aux étudiants à la fin de la session dans lequel différents aspects liés aux théories de la charge cognitive et de l'autodétermination ont été sommairement mesurés. Si cette étude devait être reprise dans le futur, il serait approprié d'opter pour un devis de recherche mixte afin que les étudiants puissent approfondir leur perception. En effet, en plus de collecter des données quantitatives, il serait souhaitable d'enrichir le projet par des données qualitatives obtenues suite à des entretiens individuels ou de groupe. Nous croyons qu'il a été néanmoins approprié d'opter pour une recherche exclusivement quantitative puisqu'il y avait une absence de données existantes liées à la clientèle de l'École de technologie supérieure exposée à la classe inversée. Il était donc important de collecter des données préliminaires afin de mieux guider le déploiement des projets de plus grande envergure dans le futur.

En terminant, si un enseignant se demande quelle stratégie pédagogique entre la classe inversée ou la classe

traditionnelle maximise les apprentissages des étudiants, une réponse précise ne peut malheureusement pas être formulée sur la base des résultats présentés dans cette étude. En effet, aucune des deux stratégies pédagogiques ne s'est avérée significativement supérieure à l'autre. La recommandation serait donc de choisir celle avec laquelle cet enseignant se sent le plus confortable et engagé, puisque la motivation et le dynamisme de l'enseignant auront probablement plus d'impact sur l'apprentissage des étudiants que la formule pédagogique proprement dite.

Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement les étudiants qui ont accepté de participer à cette étude. Ils remercient également l'assistante de recherche Julienne Bissou Billong pour son professionnalisme dans le processus de collecte des données. Enfin, ils expriment leur gratitude envers l'École de technologie supérieure pour l'aide financière qui a permis l'embauche de l'assistante de recherche.

Cette étude a été approuvée par les comités d'éthique en recherche de l'École de technologie supérieure (référence H20210410) et de l'Université du Québec à Montréal (certificat 4938).

Références

- [1] Abeysekera, L., Dawson, P. (2015). Motivation and cognitive load in the flipped classroom: definition, rationale and a call for research. *Higher Education Research & Development*, 34(1), 1-14.
- [2] Al Mamun, M. A., Azad, M. A. K., Boyle, M. (2021). Review of flipped learning in engineering education: Scientific mapping and research horizon. *Education and Information Technologies*, 1-26.
- [3] Bidwell, A. (2014). Flipped classroom may help weaker STEM students. *US News and World Report*.
- [4] Brewer, R., Movahedazarhouli, S. (2018). Successful stories and conflicts: A literature review on the effectiveness of flipped learning in higher education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34(4), 409-416.
- [5] Chao, C. Y., Chen, Y. T., et Chuang, K. Y. (2015). Exploring students' learning attitude and achievement in flipped learning supported computer aided design curriculum: A study in high school engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, 23(4), 514-526.
- [6] Cho, H. J., Zhao, K., Lee, C. R., Runshe, D., Krousgrill, C. (2021). Active learning through flipped classroom in mechanical engineering: improving students' perception of learning and performance. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 1-13.
- [7] Deci, E. L., Ryan, R. M. (2015). Self-Determination Theory *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition* (pp. 486-491).
- [8] Karabulut-Ilgü, A., Jaramillo Chérrez, N., Jahren, C. T. (2018). A systematic review of research on the flipped learning method in engineering education. *British Journal of Educational Technology*, 49(3), 398-411.
- [9] Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into practice*, 41(4), 212-218.
- [10] Lo, C. K., Hew, K. F. (2019). The impact of flipped classrooms on student achievement in engineering education: A meta-analysis of 10 years of research. *Journal of Engineering Education*, 108(4), 523-546.
- [11] Morin, M. B., Kecskemety, K. M., Harper, K. A., & Clingan, P. A. (2013). The inverted classroom in a first-year engineering course. *age*, 23, 1.
- [12] Nelson, N., Brennan, R. (2018). A snapshot of engineering education in Canada. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEAA)*.
- [13] Nyamapfene, A. (2010). Does class attendance still matter? *engineering education*, 5(1), 64-74.
- [14] Paas, F. G., Van Merriënboer, J. J. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human factors*, 35(4), 737-743.
- [15] Sweller, J., van Merriënboer, J. J., Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 1-32.
- [16] Terriault, P., Kozanitis, A., Farand, P. (2022). Étude comparative des performances académiques d'étudiants exposés à une classe inversée ou traditionnelle: Méthodologie et résultats préliminaires. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEAA)*.