

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ DE LA CLASSE INVERSÉE PAR RAPPORT À LA CLASSE
TRADITIONNELLE DANS UN COURS UNIVERSITAIRE EN INGÉNIEURIE

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

MAÎTRISE EN ÉDUCATION (DIDACTIQUE)

PAR

PATRICK TERRIAULT

JUILLET 2023

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.04-2020). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

J'aimerais d'abord remercier l'administration de l'École de technologie supérieure qui m'a inconditionnellement appuyé dans la réalisation de ce projet de recherche en éducation, sujet qui ne cadre pourtant pas avec la recherche en technologie et en ingénierie qui y est généralement menée. Il a certes eu un appui financier de la part de l'institution pour embaucher une assistante de recherche, mais ce qui m'a été le plus cher fut l'appui moral offert par diverses entités administratives, notamment la direction générale, le décanat des études et le décanat de la recherche.

Mes remerciements s'appliquent également aux étudiants du cours MEC423 qui ont accepté de participer volontairement à cette étude. J'ai été touché par l'enthousiasme qu'ils ont manifesté tout au long du projet et ainsi que par leur rigueur dans le processus de collecte des données. Ceci démontre à quel point les étudiants montrent de l'intérêt envers toute initiative qui vise à améliorer la qualité des cours qui leur sont offerts.

J'aimerais remercier la petite équipe qui s'est formée autour de moi pour conduire ce projet. Je souligne la contribution de mes directeurs de recherche Anastassis Kozanitis et Patrice Farand pour leurs précieux commentaires tout au long du projet ainsi que celle de l'assistante de recherche Julienne Bissou Billong pour tout le support logistique sous-jacent à la collecte et au traitement préliminaire des données.

Enfin, je dois souligner l'appui indéfectible offert par ma conjointe Nadine et mes enfants Élodie et Jacob. Je me sens choyé de les avoir dans ma vie. Ils m'ont constamment encouragé et ils ont toujours fait preuve d'une grande compréhension, car au cours des dernières années, ma décision de me lancer dans un projet de maîtrise a inévitablement réduit le temps que je pouvais consacrer à notre vie familiale.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	ii
Table des matières	iii
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vii
Liste des abréviations, des sigles et des acronymes	viii
Résumé	ix
Abstract	xi
Introduction	1
CHAPITRE 1 – Problématique	5
1.1 Importance de l'ingénieur mécanique dans la société	5
1.2 Financement gouvernemental	7
1.3 Charge de travail nécessaire pour inverser un cours	8
1.4 Émergence de la classe inversée	8
1.5 Perception et résultats académiques	9
1.6 Temps consacré aux études	11
1.7 Force académique des étudiants	11
1.8 Motivation des étudiants	12
1.9 Question de recherche	13
CHAPITRE 2 - Cadre conceptuel et théorique	14
2.1 Présentation des stratégies pédagogiques	14
2.1.1 Taxonomie révisée de Bloom	14
2.1.2 Classe traditionnelle	15
2.1.3 Classe inversée	17
2.2 Assises théoriques de la classe inversée	20
2.2.1 Théorie de la charge cognitive	20
2.2.2 Théorie de l'autodétermination	24
2.3 Bienfaits potentiels de la classe inversée	26
2.4 Concept d'efficacité	29
2.5 Objectifs spécifiques de recherche	31
2.6 Synthèse	32

CHAPITRE 3 - Méthodologie	34
3.1 Approche de recherche.....	34
3.2 Présentation du cours retenu pour l'expérimentation	35
3.3 Répartition des participants entre les groupes.....	38
3.4 Recrutement des participants.....	39
3.5 Description des données collectées.....	40
3.5.1 Données démographiques	41
3.5.2 Données liées à la performance académique	42
3.5.3 Données liées au temps consacré aux études.....	44
3.5.4 Données visant à identifier les facteurs de différenciation	44
3.6 Considérations éthiques.....	47
3.7 Synthèse	49
CHAPITRE 4 - Présentation et analyse des résultats	50
4.1 Uniformité des étudiants dans les deux groupes.....	51
4.2 Performance académique	52
4.2.1 Analyse globale des éléments d'évaluation	52
4.2.2 Analyse des éléments d'évaluation selon le niveau cognitif de Bloom	54
4.3 Temps consacré aux études	60
4.4 Indice d'efficacité	62
4.5 Facteurs de différenciation	66
4.6 Synthèse	70
CHAPITRE 5 - Discussion	72
5.1 Retour sur la question de recherche.....	72
5.2 Retour sur les objectifs de recherche	74
Conclusion	77
Annexe A - Copie des certificats d'approbation éthique	81
Annexe B - Formulaire d'information et de consentement	85
Annexe C – Feuilles de temps.....	91
Annexe D – Sondages	94
Références.....	97

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Synthèse d'une méta-analyse mesurant les performances d'étudiants exposés à une classe traditionnelle ou inversée, tirée de Lo et Hew (2019).....	10
Figure 2.1	Les six niveaux cognitifs de la taxonomie révisée de Bloom	15
Figure 2.2	Schématisation du fonctionnement de la classe traditionnelle	16
Figure 2.3	Schématisation du fonctionnement de la classe inversée	18
Figure 2.4	Création d'un schéma mental lors d'un apprentissage	22
Figure 2.5	Les différents types de motivation selon Ryan et Deci (2000)	24
Figure 2.6	Représentation graphique de l'indice d'efficacité.....	31
Figure 2.7	Carte conceptuelle du cadre de recherche.....	33
Figure 3.1	Schématisation du processus de collecte de données faisant intervenir les étudiants, le professeur-chercheur et l'assistant de recherche	48
Figure 4.1	Boîtes à moustaches de la moyenne cumulative des étudiants de chaque classe	51
Figure 4.2	Diagramme de dispersion de la note obtenue pour l'ensemble des éléments d'évaluation en fonction de la moyenne cumulative	53
Figure 4.3	Diagramme des interactions pour l'ensemble des notes affectées par la stratégie pédagogique	54
Figure 4.4	Diagramme de dispersion de la note obtenue aux quiz hebdomadaires (niveaux 1 et 2) en fonction de la moyenne cumulative	55
Figure 4.5	Diagramme de dispersion de la note obtenue aux examens intra (niveaux 3 et 4) en fonction de la moyenne cumulative.....	56
Figure 4.6	Diagramme de dispersion de la note obtenue au projet (niveaux 5 et 6) en fonction de la moyenne cumulative	56
Figure 4.7	Diagramme des interactions pour la note aux quiz hebdomadaires.....	58
Figure 4.8	Diagramme des interactions pour la note aux examens intra	59
Figure 4.9	Diagramme des interactions pour la note au projet	59
Figure 4.10	Diagramme de dispersion du temps consacré aux activités liées à la stratégie pédagogique en fonction de la moyenne cumulative	61
Figure 4.11	Diagramme de dispersion de la note de l'ensemble des éléments d'évaluation en fonction du temps consacré aux études	61
Figure 4.12	Diagramme des interactions pour le temps consacré aux études	62

Figure 4.13	Diagramme de dispersion de la cote Z de la note en fonction de la cote Z du temps consacré aux études.....	63
Figure 4.14	Diagramme de dispersion de la cote Z de la note en fonction de la cote Z du temps consacré aux études.....	64
Figure 4.15	Diagramme de dispersion de l'indice d'efficacité en fonction de la moyenne cumulative ...	65
Figure 4.16	Diagramme des interactions pour l'indice d'efficacité.....	65
Figure 4.17	Pyramide des âges permettant de comparer visuellement la distribution des réponses aux questions en fonction de la classe	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1	Caractéristiques des éléments d'évaluation.....	43
Tableau 3.2	Questions posées aux étudiants de chaque classe.....	46
Tableau 4.1	Représentation des regroupements d'étudiants pour les ANOVA.....	50
Tableau 4.2	Répartition des effectifs entre les différents regroupements d'étudiants	51
Tableau 4.3	Corrélations de Pearson entre la moyenne cumulative des étudiants et la note obtenue aux différentes catégories d'évaluation pour chaque classe	55
Tableau 4.4	Test du khi-carré permettant de comparer la distribution des réponses à chaque question	66

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ANOVA	Analyse de la variance (<i>analysis of variance</i>)
BCAPG	Bureau canadien d'agrément des programmes de génie
Cégep	Collège d'enseignement général et professionnel
CER	Comité d'éthique de la recherche
CERPE	Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants
ÉTS	École de technologie supérieure
IBM	International Business Machines Corporation
MàLT	Mémoire à long terme
MdT	Mémoire de travail
OIQ	Ordre des ingénieurs du Québec
UQAM	Université du Québec à Montréal
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>

RÉSUMÉ

Depuis quelques années, la classe inversée gagne sans cesse en popularité dans l'enseignement supérieur et le domaine de l'ingénierie n'y fait pas exception. Des méta-analyses tirées de la littérature scientifique montrent que les étudiants en ingénierie obtiennent généralement de meilleurs résultats académiques lorsqu'ils sont exposés à une classe inversée comparativement à une classe traditionnelle. Ce constat peut s'expliquer en partie par des considérations tirées de la théorie de la charge cognitive de Sweller et de la théorie de l'autodétermination de Ryan et Deci, notamment en ce qui a trait au rythme d'apprentissage personnalisé et aux liens sociaux développés dans une classe inversée. Cependant, la méthodologie employée dans plusieurs études rapportées dans la littérature scientifique soulève des doutes en ce qui a trait à la validité des résultats obtenus. Par exemple, certaines études comparent les résultats académiques d'étudiants ayant suivi des cours à des sessions différentes ou ayant été mesurés avec des outils d'évaluations différents entre les groupes.

Dans le but d'alimenter la littérature scientifique de données probantes sur cette question, une étude a été réalisée à l'École de technologie supérieure, une université située à Montréal qui forme essentiellement des ingénieurs. L'étude en question a été réalisée auprès de deux groupes d'étudiants qui ont suivi un cours obligatoire du programme de génie mécanique offert à la session d'automne 2021. Les évaluations, le matériel pédagogique et le personnel enseignant ont été les mêmes pour les deux groupes et la seule différence fut la stratégie pédagogique : classe inversée pour un groupe et classe traditionnelle pour l'autre. Le projet, approuvé par deux comités d'éthique de la recherche, a permis de recruter une quarantaine de participants à partir desquels diverses données ont été collectées : moyenne cumulative, note octroyée à chaque évaluation, temps consacré aux études et perception à l'égard de certains aspects comme l'autonomie, le sentiment de compétence et la force des liens sociaux développés avec les collègues. Les notes aux différentes évaluations ont été combinées au temps consacré aux études pour calculer un indice d'efficacité. Cet indice permet de quantifier si une classe (inversée ou traditionnelle) permet aux étudiants d'être plus efficaces que l'autre, auquel cas les étudiants obtiendraient de meilleurs résultats académiques en consacrant un temps d'étude similaire.

Une fois toutes les données collectées, des analyses statistiques ont été menées en utilisant diverses techniques comme des tests t, des corrélations linéaires et des analyses de variances afin de détecter si

des différences statistiquement significatives existent entre les données issues des deux classes. Les résultats obtenus ne montrent aucune différence significative entre les performances académiques des étudiants des deux groupes, que ce soit de manière globale ou spécifique en fonction des niveaux de la taxonomie de Bloom mobilisés pour les différentes évaluations. La charge de travail ainsi que l'indice d'efficacité sont également statistiquement similaires entre les étudiants des deux groupes. Enfin, les résultats d'un sondage semblent indiquer que les étudiants se sont sentis plus compétents à la suite d'une séance de cours en classe traditionnelle, mais ceux de la classe inversée affirment avoir développé des liens sociaux plus forts avec leurs camarades de classe.

La présente étude ne permet pas de conclure qu'une stratégie pédagogique (classe inversée ou traditionnelle) est supérieure à l'autre pour le cours retenu pour la réalisation du présent projet de recherche. Cependant, il serait souhaitable de refaire une telle étude en faisant participer plus d'étudiants afin d'augmenter la puissance des tests statistiques. Il est également important de souligner que le contexte pandémique a possiblement affecté négativement les bienfaits potentiels de la classe inversée en devant œuvrer avec des contraintes de distanciation physique liées au retour en présentiel.

Mots clés : classe inversée, classe traditionnelle, efficacité, temps consacré aux études, résultats académiques, théorie de la charge cognitive, théorie de l'autodétermination

ABSTRACT

In recent years, the flipped classroom has been steadily gaining popularity in higher education and the field of engineering is no exception. Meta-analyses from the scientific literature seem to show that engineering students generally perform better academically when exposed to a flipped classroom compared to a traditional classroom. This finding may be explained in part by considerations from Sweller's cognitive load theory and Ryan and Deci's self-determination theory, particularly with respect to the personalized pace of learning and the social connections developed in a flipped classroom. However, the methodology used in several studies reported in the scientific literature raises doubts about the validity of the results obtained. For example, some studies compare the academic results of students who took courses in different semesters or who were measured with different assessment tools between groups.

In order to provide evidence to the literature on this issue, a study was conducted at the *École de technologie supérieure*, a university located in Montreal that primarily trains engineers. The study involved two groups of students who took a compulsory course in the mechanical engineering program offered in the Fall 2021 semester. The assessments, instructional material, and faculty were the same for both groups and the only difference was the instructional strategy: flipped classroom for one group and traditional classroom for the other. The research project approved by two research ethics committees allowed the recruitment of about 40 participants from whom various data were collected: grade point average, marks for each evaluation, time spent studying and perception of certain aspects such as autonomy, feeling of competence and the strength of social ties developed with colleagues. The marks received for each assessment were combined with the time spent studying to calculate an efficiency index. This index quantifies whether one class (flipped or traditional) allows students to be more effective than the other, which would imply that students would achieve better academic results with similar study time.

Once all the data were collected, statistical analyses were conducted using various techniques such as t-tests, linear correlations, and analysis of variances to detect whether statistically significant differences exist between the data from the two classes. The results obtained show no significant difference between the academic performance of the students in the two groups, either globally or specifically according to the levels of Bloom's taxonomy mobilized for the different assessments. The workload as well as the efficiency index are also statistically similar between the students of the two groups. Finally, survey results

suggest that students felt more competent following a traditional classroom mainly based on lectures, but those in the flipped classroom reported developing stronger social bonds with their classmates.

This study does not allow us to conclude that one pedagogical strategy (flipped or traditional classroom) is superior to the other for the course selected for this research project. However, it would be desirable to repeat such a study by involving more students in order to increase the power of the statistical tests. It is also important to note that the pandemic context may have negatively affected the potential benefits of the flipped classroom by having to work with a physical distancing in the classroom.

Keywords : flipped classroom, traditional classroom, efficiency, time spent studying, academic marks, cognitive load theory, self-determination theory

INTRODUCTION

Fondée en 1974, l'École de technologie supérieure (ÉTS) est un des dix établissements universitaires constituant le réseau de l'Université du Québec. Son mandat était à l'époque de former des technologues. En 1992, de nouvelles lettres patentes¹ ont été émises par le Gouvernement du Québec afin de « *donner le mandat à l'ÉTS d'œuvrer en enseignement et en recherche, en génie d'application et en technologie, en vue du développement technologique et économique du Québec* ». L'ÉTS devient alors une institution qui forme des ingénieurs². Elle compte actuellement plus de 30 100 diplômés et environ 11 000 étudiants actifs, dont approximativement 8 300 au premier cycle. Elle offre sept programmes de baccalauréat en génie, tous des programmes coopératifs qui prévoient trois stages rémunérés d'une durée minimale de quatre mois chacun. En adéquation avec la première mission de l'Université du Québec qui est d'accroître le niveau de formation de la population québécoise par une accessibilité accrue aux études postsecondaires, l'ÉTS ne contingente aucunement ses programmes de génie. De plus, ces derniers ont été adaptés aux particularités des étudiants des programmes techniques de trois ans au cégep qui ont généralement un accès restreint aux études universitaires. Pour le programme de baccalauréat en génie mécanique, les étudiants peuvent provenir d'une vingtaine de programmes collégiaux techniques (technique de génie mécanique, mécanique du bâtiment, architecture navale, maintenance industrielle, etc.) auxquels s'ajoutent deux programmes collégiaux préuniversitaires (sciences de la nature et sciences informatiques et mathématiques) et certains programmes hors Québec jugés équivalents. La clientèle étudiante qui fréquente l'ÉTS est donc très hétérogène, tant au niveau de la formation antérieure (diversité des programmes admissibles) que de la cote R (non-contingentement des admissions). Elle est cependant démographiquement homogène, car la grande majorité des étudiants inscrits au baccalauréat en génie mécanique de l'ÉTS sont des hommes âgés de 21 à 26 ans.

En 1999, j'ai débuté ma carrière d'enseignant et de chercheur au sein du Département de génie mécanique de l'ÉTS à titre de professeur régulier. Lors des quinze premières années, j'ai observé une certaine constance en ce qui a trait au comportement de mes étudiants. Cependant, à partir de 2015, j'ai noté une certaine transformation de leur part qui les a rendus de plus en plus passifs en classe. Même si cela ne

¹ Une copie des lettres patentes se trouve sur site Internet de l'ÉTS à l'adresse suivante : <https://www.etsmtl.ca/docs/ETS/Gouvernance/Secretariat-general/Cadre-reglementaire/Documents/lettres-patentes-ETS>

² Le masculin est employé dans le seul et unique but d'alléger le texte et d'en faciliter sa lecture.

veut pas nécessairement dire qu'ils sont de moins en moins cognitivement engagés et actifs, le nombre d'interactions (questions, discussions, etc.) avec mes étudiants a diminué de façon marquée. Certains chercheurs ont proposé des causes pouvant expliquer ces baisses d'interactions. D'une part, Roberts (2019) souligne les pressions économiques auxquelles sont soumises les universités pour former le plus d'étudiants avec un minimum de ressources humaines et matérielles. Les institutions sont ainsi tentées d'augmenter le ratio du nombre d'étudiants par professeur, ce qui contribue indirectement à diminuer les interactions entre ces deux parties prenantes. D'autre part, Wilson (2017) rapporte que les réseaux sociaux et l'Internet ont modifié de manière importante la façon dont les étudiants obtiennent de l'information en lien avec un cours. Par exemple, à partir d'un sondage réalisé auprès de 352 étudiants du *London School of Economics and Political Science*, seulement 22% d'entre eux ont affirmé obtenir l'information auprès de leur enseignant, tandis que les autres sources d'information sont les camarades de classe, l'Internet ou la plateforme institutionnelle s'apparentant à un réseau social.

Quelles que soient les causes qui poussent les étudiants à être passifs en classe, elles ont eu d'importantes conséquences sur ma motivation en tant que professeur. J'étais en train de perdre la flamme pour l'enseignement, et cela malgré le fait qu'il s'agisse du volet de la tâche professorale qui me passionne le plus. J'avais l'impression de ne pas être intéressant ni utile pour les étudiants. Han et Yin (2016) ont d'ailleurs rapporté que le comportement des étudiants représente effectivement un facteur qui peut engendrer une démotivation auprès des enseignants. Comme le précise Poellhuber (2017), il existe un élément déclencheur qui incite un enseignant à s'engager activement dans une refonte de sa pratique enseignante. Dans mon cas, la perte de motivation envers l'enseignement a été cet élément déclencheur.

En 2017-2018, c'est dans ce contexte que j'ai décidé de consacrer l'entièreté d'un congé sabbatique pour aller suivre un microprogramme de 2^e cycle en enseignement postsecondaire à l'Université de Montréal. J'ai alors pris conscience que mon ancienne conception de l'enseignement reposait strictement sur un modèle transmissif des connaissances (Ramsden, 2003). À la suite de cette formation, ma conception de l'enseignement a significativement évolué de telle sorte que je perçois maintenant mon rôle de professeur comme étant un concepteur d'activités pédagogiques afin que les étudiants acquièrent de nouvelles connaissances et développent de nouvelles compétences de manière autonome sous la supervision de l'enseignant. En se référant aux différents paradigmes décrits par Roegiers (2012), ma vision de l'enseignement initialement fondée sur le paradigme centré sur l'enseignement (où les connaissances sont présumées être transmises entre un maître et un apprenant) a basculé vers le paradigme centré sur

l'apprentissage (où les connaissances sont construites par l'apprenant à travers les expériences vécues avec ses camarades de classe).

Après le congé sabbatique, j'ai remplacé mon enseignement traditionnel transmissif par la classe inversée, une méthode d'apprentissage actif qui sera décrite plus exhaustivement au chapitre 2. Sans entrer dans les détails, la classe inversée met les étudiants en contact avec la nouvelle matière alors qu'ils sont seuls à la maison, et cela avant une séance de cours en présentiel. Le temps en classe ainsi dégagé est utilisé pour des activités cognitivement plus engageantes en présence de l'enseignant. Le rôle de l'enseignant subit alors une importante transformation et pour reprendre le titre de la publication de King (1993), l'objectif est de passer du "*Sage on the stage*" au "*Guide on the side*". Pour y arriver, il a d'abord fallu investir deux années de travail pour i) rédiger des notes de cours originales spécialement adaptées aux spécificités des étudiants de l'ÉTS, ii) produire des capsules vidéo pédagogiquement efficaces en s'appuyant sur les recommandations de Mayer (2019) en ce qui a trait par exemple à la durée des capsules, au principe de contiguïté temporelle, etc., et iii) structurer les activités pédagogiques réalisées en classe et à la maison qui respectent les meilleures pratiques rapportées notamment par Moffett (2015), Dumont et Berthiaume (2016) et Talbert (2017). Ce nouveau matériel pédagogique a ensuite été utilisé lors de l'introduction de la classe inversée dans mon enseignement du cours MEC423 – Méthode des éléments des corps déformables à partir de l'hiver 2019. Avant les bouleversements engendrés par la pandémie de Covid19 qui ont forcé l'utilisation de la formation à distance, j'ai été en mesure de déployer la classe inversée dans cinq groupes au total : trois groupes totalisant environ 120 étudiants à l'hiver 2019 et de deux autres groupes totalisant environ 80 étudiants à l'automne 2019. L'expérience s'est avérée positive autant pour les étudiants que pour moi. En ce qui me concerne, j'ai repris le goût à l'enseignement, car j'ai réussi à établir un climat d'échange avec les étudiants durant les séances de cours. J'ai donc l'impression de concrètement contribuer à leur formation. Une hausse de la satisfaction globale des étudiants envers le cours, mesurée grâce au processus institutionnel d'évaluation de l'enseignement, a d'ailleurs été observée, et cela même s'il s'agissait des premières fois où j'employais la classe inversée comme stratégie pédagogique. De plus, les commentaires formulés par les étudiants étaient majoritairement positifs à raison d'un commentaire négatif pour dix commentaires positifs. L'implantation de la classe inversée s'est donc avérée être un succès en ce qui a trait à la satisfaction du professeur et des étudiants.

Les travaux de recherche faisant l'objet de ce mémoire de maîtrise sont donc lancés au moment où la classe inversée est déjà implantée dans mes activités d'enseignement. Ils ne visent aucunement à justifier le choix de la classe inversée comme stratégie pédagogique, et cela malgré le fait qu'il en existe plusieurs autres suscitant l'apprentissage actif des étudiants comme les études de cas, l'approche par projet ou l'enseignement par les pairs pour ne nommer que celles-ci (Chamberland, Lavoie, et Marquis, 1995). Les présents travaux de recherche se concentrent sur une question qui me semble encore plus fondamentale que la simple satisfaction des étudiants et du professeur et cette question concerne l'efficacité des étudiants d'une classe inversée par rapport à ceux d'une classe traditionnelle.

L'objectif des travaux est de déterminer dans quelle mesure les étudiants d'une classe inversée sont plus efficaces que ceux d'une classe traditionnelle. Pour y arriver, un projet de recherche est déployé à une échelle relativement restreinte, c'est-à-dire à l'intérieur du cours MEC423, un cours obligatoire du programme de génie mécanique de l'ÉTS. Même si la portée de ce projet est réduite, Abeysekera et Dawson (2015) soulignent que de telles initiatives demeurent néanmoins essentielles pour alimenter la littérature scientifique et pour supporter les gestionnaires des institutions universitaires dans leurs décisions de nature académique.

Le présent mémoire de maîtrise est divisé en cinq chapitres. La problématique de recherche et le cadre théorique et conceptuel sur lequel reposent les travaux sont d'abord décrits respectivement aux chapitres 1 et 2. Par la suite, la méthodologie employée pour collecter des données est explicitée au chapitre 3. Les données collectées sont présentées et analysées au chapitre 4 et ensuite discutées plus en profondeur au chapitre 5. Enfin, la conclusion fait un retour sur les faits saillants du projet de recherche et quelques recommandations y sont formulées.

CHAPITRE 1 – PROBLÉMATIQUE

Ce chapitre décrit la problématique tout en évoquant des éléments liés aux pertinences sociale et scientifique. La dernière section précise la question générale de recherche.

1.1 IMPORTANCE DE L'INGÉNIEUR MÉCANIQUE DANS LA SOCIÉTÉ

L'ingénieur mécanique joue un rôle important dans la société. En effet, tous les produits que nous utilisons doivent préalablement avoir été conçus et fabriqués. Un produit est un objet, qu'il soit de base ou hautement sophistiqué, qui améliore la qualité de vie des citoyens. Un crayon pousse-mine, une chaise, une perceuse électrique, une suspension de voiture, un réfrigérateur, une éolienne ou une aile d'avion sont quelques exemples de produits dont la conception est sous la responsabilité des ingénieurs mécaniques. Pour y arriver, ce dernier doit prendre de nombreuses décisions comme déterminer les dimensions optimales du produit ou choisir les matériaux appropriés. Les autres disciplines de l'ingénierie conçoivent également des produits, mais de différentes natures. Par exemple, c'est l'ingénieur civil, électrique ou chimique qui conçoit respectivement un viaduc, un circuit imprimé ou un procédé pétrochimique. La conception est donc au cœur de la mission de tout ingénieur comme le précise l'Ordre des ingénieurs du Québec sur son site Internet³ :

L'ingénieur est appelé à résoudre des problèmes technologiques, concrets et souvent complexes, liés à la conception, à la réalisation et à la mise en œuvre de produits, de systèmes ou de services. Pour assumer un rôle si stratégique dans la société, ce professionnel doit maîtriser un ensemble de connaissances techniques, économiques, sociales, environnementales et humaines qui reposent sur une solide culture scientifique.

Le rôle de l'ingénieur mécanique dans la société est donc important, voire crucial et il s'agit d'un enjeu de sécurité du public. Si la formation des ingénieurs présente des lacunes et que certaines notions importantes ont mal été assimilées par les étudiants, des incidents, voire même des catastrophes, peuvent résulter de la défaillance d'une composante mécanique. De nombreux exemples peuvent être cités pour appuyer cette affirmation, mais seulement deux sont rapportés ici. Le premier concerne l'accident du vol 1380 de la compagnie Southwest survenu le 17 avril 2018. Selon l'enquête de l'agence américaine *National Transportation Safety Board*⁴, une ailette d'un moteur d'un Boeing 737-700 tournant à haute vitesse s'est

³ <https://www.oig.qc.ca/fr/jeSuis/public/quEstCeQuUnIngenieur/Pages/default.aspx>

⁴ <https://www.nts.gov/news/events/Pages/2019-DCA18MA142-BMG.aspx>

détachée et a percuté le fuselage de l'avion. Une rapide dépressurisation s'en est suivie, causant la mort d'un passager et des blessures à plusieurs autres. Le second exemple est le décès du légendaire pilote de Formule 1 Ayrton Senna survenu le 1^{er} mai 1994 à Imola en Italie lorsque sa voiture a violemment percuté un mur de béton à 211 km/h. La Cour suprême italienne a conclu que la cause de l'accident est le bris inopiné de la colonne de direction, rendant ainsi la voiture incontrôlable⁵. Dans ces deux exemples, la catastrophe est le résultat du bris d'une composante mécanique qui ne devait pas céder, puisqu'elle opérait dans des conditions normales. Il s'agit fort probablement d'une erreur de conception, mais qui est responsable : l'employeur, l'ingénieur qui a conçu la composante, l'institution universitaire qui a formé l'ingénieur ? Une telle question est généralement débattue en justice lors d'un procès et l'objectif ici est de mettre en lumière que dans les deux cas, les bonnes pratiques enseignées à l'université n'ont visiblement pas été appliquées dans un contexte professionnel. Il est donc crucial de former le mieux possible les futurs ingénieurs pour éviter de compromettre la sécurité du public.

La sécurité du public est d'ailleurs étroitement liée à l'existence de deux organismes. Le premier, l'Ordre des ingénieurs (OIQ), encadre l'exercice de la profession après les études. La mission première⁶ de l'OIQ, comme tout autre ordre professionnel, est de protéger le public. Le second, le Bureau canadien d'agrément des programmes de génie (BCAPG), définit des normes⁷ qui encadrent la formation des ingénieurs. Le BCAPG audite tous les programmes de génie canadiens au plus tous les six ans afin de garantir leur qualité. Les programmes doivent démontrer que les étudiants développent diverses compétences autant techniques (conception, analyse de problèmes, etc.) que déontologiques (sécurité de la population, protection de l'environnement, etc.).

La sécurité du public n'est pas le seul enjeu associé à la formation des ingénieurs. En effet, une société qui forme des ingénieurs compétents voit ses entreprises commercialiser des produits innovants. Dans un contexte de mondialisation, ceci revient à favoriser la compétitivité des entreprises et à créer, du même coup, une richesse pour l'ensemble de la collectivité. À l'inverse, si les produits commercialisés par une entreprise s'avèrent défectueux, c'est sa réputation et sa compétitivité qui sont compromises. En consultant le site de l'organisme *Protégez-vous*⁸, les milliers de rappels répertoriés indiquent que des vices

⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Death_of_Ayrton_Senna

⁶ <https://www.opq.gouv.qc.ca/ordres-professionnels/>

⁷ <https://engineerscanada.ca/sites/default/files/accreditation/Accreditation-Criteria-Procedures-2019.pdf>

⁸ <https://www.protegez-vous.ca/rappels>

de conception sont relativement fréquents. Plusieurs de ces rappels ne sont pas critiques au point de causer la mort. Par exemple, celui daté du 16 septembre 2019 concerne un support de clavier et d'écran d'ordinateur qui peut briser et causer des blessures mineures à la tête. Cependant, les erreurs de conception qui ont provoqué ces rappels affectent inévitablement la compétitivité des entreprises en engendrant des coûts imprévus pour dédommager les clients lésés ou pour corriger les problèmes.

Les ingénieurs ont donc d'importantes responsabilités envers la population afin de garantir sa sécurité, d'augmenter sa qualité de vie et de favoriser la compétitivité des entreprises dont les employés proviennent de cette même population. Les liens unissant la population aux ingénieurs ne se limitent pas à ces aspects et ils concernent également le financement de la formation des ingénieurs.

1.2 FINANCEMENT GOUVERNEMENTAL

Au Québec, les subventions gouvernementales constituent la principale source de revenus des universités. À titre d'exemple, selon les données financières présentées à la page 70 du rapport annuel 2020-2021 de l'Université du Québec⁹, les entrées de fonds de l'ÉTS se sont élevées à 177.1 M\$, dont 67.1% provenant de la subvention de fonctionnement gouvernementale (comparativement à 22.4 % provenant des droits de scolarité défrayés par les étudiants et 10.5 % d'autres sources comme les services auxiliaires). Cela veut donc dire le Gouvernement du Québec a versé environ 118.8 M\$ pour le fonctionnement de l'ÉTS seulement en 2020-2021.

Puisque ces fonds proviennent en grande partie des taxes et des impôts payés par la population en général, les universités ont un devoir moral envers les contribuables d'utiliser le plus judicieusement possible les fonds publics. La façon d'y arriver est de former le mieux possible les étudiants avec les enveloppes budgétaires dont elles disposent. D'un point de vue administratif, une utilisation adéquate des fonds consiste à éviter tout gaspillage de ressources financières en effectuant exclusivement des dépenses qui maintiennent ou améliorent l'infrastructure universitaire (bâtiments, services aux étudiants, équipements technologiques, etc.). D'un point de vue académique, il s'agit d'utiliser des stratégies pédagogiques qui maximisent les apprentissages des étudiants en fonction du temps que ces derniers peuvent consacrer à leurs études.

⁹ https://www.uquebec.ca/reseau/fr/system/files/documents/rapports_annuels/rapport-annuel-ug_2020-2021.pdf

1.3 CHARGE DE TRAVAIL NÉCESSAIRE POUR INVERSER UN COURS

La charge de travail requise pour un enseignant qui désire passer d'une classe traditionnelle vers une classe inversée représente un enjeu majeur. En effet, Karabulut-Ilgu, Jaramillo Cherez, et Jahren (2018) identifient cette charge de travail comme étant le défi le plus important à surmonter pour un enseignant. Cette surcharge est nécessaire pour préparer le nouveau matériel pédagogique, pour scénariser l'ensemble des activités et pour former le personnel enseignant (Dumont et Berthiaume, 2016). Sharples et al. (2014) estiment qu'il faut entre deux et cinq années pour implanter et déployer à grande échelle la classe inversée dans une institution. Considérant que la charge de travail requise pour inverser un cours représente un enjeu important à ne pas négliger, il est donc légitime de se questionner à savoir si les efforts à investir en valent réellement la peine.

En somme, cette recherche s'avère être socialement pertinente dans la mesure où les retombées pourraient maximiser la qualité et la quantité des apprentissages réalisés durant des cours universitaires, ce qui pourrait éventuellement avoir des conséquences positives sur la population en termes de sécurité, de qualité de vie et de compétitivité des entreprises.

1.4 ÉMERGENCE DE LA CLASSE INVERSÉE

À l'ÉTS comme dans la plupart des facultés et écoles d'ingénierie au Canada, la majorité de cours 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 (2018), environ 95% des enseignants en ingénierie au Canada utilisent l'exposé magistral dans leurs cours et environ 80% d'entre eux ont recours à la résolution d'exemples pendant leurs exposés. Dans ces circonstances, 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 n'y fait pas exception. À preuve, Karabulut-Ilgu et al. (2018) 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. À la suite d'une analyse bibliométrique, Al Mamun, Azad, et Boyle (2021) 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.

1.5 PERCEPTION ET RÉSULTATS ACADÉMIQUES

Les publications concernant l'utilisation de la classe inversée dans les facultés relatent principalement des expériences d'implantation de manière ponctuelle dans un cours. Cependant, 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.

En ce qui a trait aux expériences ponctuelles, il y a d'abord les publications de nature qualitative qui décrivent la perception des étudiants exposés à la classe inversée grâce à des sondages ou des entrevues (Al Jassmi, Ramesh, El-Maaddawy, Alqahtani, et Ahmed, 2019; Butt, 2014; Harris et Park, 2016; Kiat et Kwong, 2014; Mok, 2014; Terriault, 2019; Wagner, Laforge, et Cripps, 2013). Un consensus se dégage à savoir que les étudiants apprécient généralement l'expérience de la classe inversée et la qualifient de bénéfique pour leur formation. Il y a ensuite les publications qui comparent de manière quantitative la performance (note obtenue à un examen, à un laboratoire ou à l'ensemble des activités d'un cours) des étudiants exposés à la classe inversée par rapport à celle d'autres étudiants ayant suivi le même cours offert en classe traditionnelle à une session ou une année antérieure (Gómez-Tejedor et al., 2020; Mason, Shuman, et Cook, 2013; Morin, Kecskemety, Harper, et Clingan, 2013; Nelson, 2014; Simko et al., 2019; Taylor, 2018). De manière générale, les résultats des étudiants aux évaluations en classe inversée sont significativement supérieurs à ceux en classe traditionnelle, mais puisque les données n'ont pas été collectées au même moment et avec des évaluateurs et des outils d'évaluation différents, les conclusions doivent donc être interprétées avec retenue. Il y a finalement les publications qui réalisent aussi une étude quantitative comparant les performances des étudiants d'un groupe témoin (classe traditionnelle) à celles d'un groupe expérimental (classe inversée) suivant le même cours à la même session (Koska et Condra, 2018; Love, Hodge, Grandgenett, et Swift, 2014; Selvakumar et Sivakumar, 2019; Stover et Houston, 2019). Dans tous les cas, les étudiants exposés à la classe inversée ont performé mieux, ou à la limite tout aussi bien, que ceux exposés à la classe traditionnelle. Cependant, il n'est pas précisé dans les publications si les outils d'évaluation employés et les évaluateurs mobilisés pour mesurer les performances des étudiants étaient systématiquement les mêmes.

En plus de ces publications relatant des expériences ponctuelles, quelques publications ont étudié la question de manière plus globale. Par exemple, en effectuant une méta-analyse à partir de publications traitant de la classe inversée en ingénierie, en science et en mathématiques, Freeman et al. (2014) concluent que les étudiants exposés à la classe inversée obtiennent des résultats significativement plus élevés tout en ayant 1.5 fois plus de chances de réussir comparativement à ceux exposés à la classe traditionnelle. Dans leur étude concernant toutes les disciplines universitaires, O'Flaherty et Phillips (2015) tirent des conclusions similaires. Plus récemment, une méta-analyse impliquant exclusivement des expériences relatives à l'éducation en ingénierie a été réalisée par Lo et Hew (2019). Une fois de plus, les auteurs concluent que les performances 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. La figure 1.1 montre visuellement une synthèse de cette méta-analyse regroupant les résultats de 29 études comparant les performances académiques des étudiants exposés à la classe traditionnelle ou à la classe inversée. On observe effectivement que les étudiants des classes inversées ont dans l'ensemble mieux performé que ceux des classes traditionnelles.

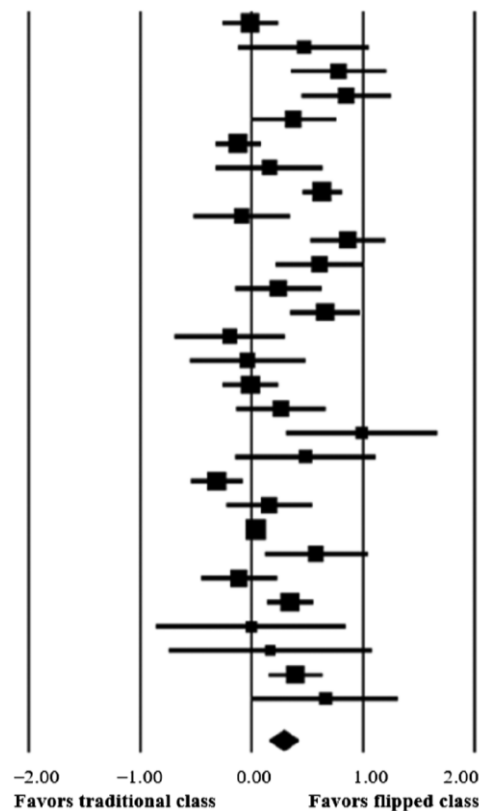


Figure 1.1 Synthèse d'une méta-analyse mesurant les performances d'étudiants exposés à une classe traditionnelle ou inversée, tirée de Lo et Hew (2019)

1.6 TEMPS CONSACRÉ AUX ÉTUDES

La littérature scientifique semble montrer assez clairement que les étudiants obtiennent de meilleurs résultats académiques lorsqu'ils sont exposés à une classe inversée plutôt qu'à une classe traditionnelle. Cependant, comme le soulignent Brewer et Movahedazarhouligh (2018), plusieurs étudiants se plaignent que la charge de travail dans une classe inversée est supérieure à celle exigée par une classe traditionnelle. Lorsque Cho, Zhao, Lee, Runshe, et Krousgrill (2021) 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. Je suis également en mesure de témoigner de cette réalité grâce à un entretien de groupe que j'ai organisé avec quelques étudiants exposés à la classe inversée dans mes cours de la session d'hiver 2019. Durant l'entretien, un étudiant a affirmé ceci :

Si tous mes cours cette session avaient été en classe inversée, j'aurais carrément manqué de temps pour faire tous les devoirs et les projets. Je n'aurais pas été non plus capable d'être assez bien préparé pour les examens. J'ai beaucoup aimé le cours et la manière dont il a été donné, mais c'était très exigeant.

En lien avec ce constat, Chao, Chen, et Chuang (2015) 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 (2010) 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 (2019) ainsi que Morin et al. (2013) recommandent de prendre en considération le temps consacré aux études afin de mieux évaluer les bénéfices potentiels de la classe inversée, ce qui est le principal objectif de ce mémoire de maîtrise.

1.7 FORCE ACADÉMIQUE DES ÉTUDIANTS

Bidwell (2014) affirme que la classe inversée procure des effets bénéfiques plus marqués auprès des étudiants ayant les moyennes les plus faibles d'un groupe. Similairement, Bansal, Bansal, Ahmad, et Pandey (2020) n'ont observé aucune différence significative entre des étudiants les plus forts des classes inversée et traditionnelle d'un programme en médecine, alors que les étudiants les plus faibles ont mieux performé dans la classe inversée. Ce constat doit être interprété avec une certaine prudence pour deux raisons. Premièrement, à l'ÉTS, les programmes de génie ne sont pas contingentés. La différence entre les

étudiants les plus faibles et les plus forts d'un groupe risque donc d'être plus marquée dans un groupe d'étudiants à l'ÉTS que celle entre les étudiants d'un programme en médecine où les admissions sont contingentées. Deuxièmement, les outils d'évaluation employés en médecine sont généralement fort différents de ceux employés en ingénierie.

La littérature scientifique est pratiquement muette sur cette question à savoir si la classe inversée procure les mêmes effets sur tous les étudiants, et plus spécifiquement dans le domaine de l'enseignement de l'ingénierie. Cet aspect est important, puisqu'une réflexion institutionnelle pourrait en découler. En effet, la volonté de l'ÉTS est d'offrir un enseignement par petits groupes, de telle sorte que la moyenne institutionnelle est d'environ 30 étudiants par groupe. Ainsi, si 200 étudiants s'inscrivent à un cours une session donnée, ces étudiants ne seront pas tous réunis au sein du même groupe et cinq groupes d'environ 40 étudiants seront plutôt créés. Dans ce contexte, s'il est prouvé qu'une stratégie pédagogique est plus appropriée qu'une autre pour certains étudiants, il serait alors possible de les rassembler au sein d'un même groupe et de les exposer à la stratégie pédagogique qui est la plus profitable pour eux. Évidemment, l'identification des étudiants représenterait un véritable défi.

1.8 MOTIVATION DES ÉTUDIANTS

En plus de la force académique des étudiants, il est important de prendre en considération un autre déterminant dans la réussite scolaire, en l'occurrence la motivation. Un étudiant placé dans un environnement qui est propice à sa réussite ne sera finalement performant que s'il est motivé à apprendre. Par analogie, une personne ayant accès à un centre de conditionnement physique s'y rendra seulement si elle y voit des avantages pour sa santé. Il semble donc essentiel de considérer la motivation des apprenants dans ce mémoire, car la corrélation positive entre la motivation et la réussite scolaire est connue depuis longtemps (Deci, Vallerand, Pelletier, et Ryan, 1991). La motivation est un concept abstrait et Viau (2009) propose une définition spécifiquement formulée pour le milieu académique : « *La motivation en contexte scolaire est un état dynamique qui a ses origines dans les perceptions qu'un élève a de lui-même et de son environnement et qui l'incite à choisir une activité, à s'y engager et à persévérer dans son accomplissement afin d'atteindre un but* ». Selon cette définition, un apprenant motivé déploie donc les moyens requis pour effectuer les apprentissages, ce qui peut indirectement résulter en de meilleures performances scolaires.

1.9 QUESTION DE RECHERCHE

Comme tous les établissements universitaires, l'ÉTS est massivement financée par la population grâce aux taxes et aux impôts prélevés par le Gouvernement du Québec. Elle a donc une obligation morale envers les contribuables et le Gouvernement de former des ingénieurs de la manière la plus efficace possible tout en assurant la sécurité de la population, en améliorant la qualité de vie des citoyens et en augmentant la compétitivité des entreprises québécoises.

Il existe diverses stratégies pédagogiques qui peuvent être employées pour proposer des activités d'apprentissage aux étudiants. Depuis quelques années, une stratégie pédagogique relativement nouvelle appelée classe inversée gagne sans cesse en popularité dans l'enseignement du génie. La littérature scientifique montre que les étudiants réussissent mieux lorsqu'ils sont exposés à une classe inversée plutôt qu'à une classe traditionnelle, mais le temps consacré aux études n'est généralement pas pris en considération dans l'analyse. De plus, certaines observations préliminaires semblent indiquer que la classe inversée profite surtout aux étudiants les plus faibles.

En somme, il demeure très hasardeux d'affirmer quelle stratégie pédagogique entre la classe traditionnelle ou la classe inversée est la plus avantageuse lorsque le temps consacré aux études est pris en considération au même titre que les performances académiques des étudiants. La question générale de recherche se formule donc ainsi : est-ce que les étudiants exposés à une classe inversée sont plus efficaces que ceux exposés à une classe traditionnelle dans l'enseignement du génie en contexte universitaire ?

CHAPITRE 2 - CADRE CONCEPTUEL ET THÉORIQUE

Puisque le principal objectif de ce mémoire est de comparer une classe inversée avec une classe traditionnelle, ce chapitre apporte dans un premier temps des précisions sur ces deux stratégies pédagogiques. Dans un second temps, les assises théoriques des bienfaits potentiels de la classe inversée sont brièvement présentées. Dans le cadre d'une recension des écrits, certaines publications qui s'appuient sur ces assises théoriques sont abordées. Enfin, avant de présenter une synthèse du chapitre sous forme de carte conceptuelle, les trois objectifs spécifiques de ce mémoire de maîtrise sont énoncés.

2.1 PRÉSENTATION DES STRATÉGIES PÉDAGOGIQUES

Dans cette section, les deux stratégies pédagogiques qui sont expérimentalement comparées sont brièvement présentées. Selon Messier (2014), une stratégie pédagogique est un « *ensemble d'opérations qui, tenant compte des caractéristiques inhérentes aux composantes d'une situation pédagogique, vise l'atteinte d'objectifs pédagogiques* ». Les opérations sont considérées ici comme étant toutes les actions réalisées par l'enseignant afin que les étudiants soient en mesure d'atteindre les objectifs pédagogiques du cours. La préparation du matériel pédagogique, la planification des activités proposées aux étudiants lors des séances de cours et de travaux pratiques et la planification des évaluations comptent parmi lesdites opérations. Avant de décrire plus en détail les deux stratégies pédagogiques, la taxonomie révisée de Bloom est introduite afin de mieux mettre en perspective les différences qui existent entre la classe traditionnelle et la classe inversée.

2.1.1 Taxonomie révisée de Bloom

Il y a plusieurs décennies, Bloom (1956), en collaboration avec de nombreux autres chercheurs universitaires américains, ont créé une taxonomie qui permettait de classer en six niveaux les processus cognitifs intervenant dans l'acquisition de nouveaux apprentissages. Près de 50 ans après la mise en place de cette taxonomie, une révision a été proposée par Krathwohl (2002). La taxonomie révisée comprend également six niveaux : 1. Mémoriser, 2. Comprendre, 3. Appliquer, 4. Analyser, 5. Évaluer et 6. Créer. La figure 2.1 montre ces niveaux dans une représentation pyramidale avec un exemple d'activité cognitive en lien avec la balistique. De plus, l'énumération suivante fournit une description sommaire des processus mentaux associés à chacun des niveaux cognitifs tels que le propose Talbert (2017) :

1. Mémoriser : récupérer en mémoire des faits, des définitions, etc.
2. Comprendre : déterminer la signification de concepts.
3. Appliquer : mener à terme une procédure dans des circonstances précises.
4. Analyser : scinder un tout en sous-éléments et établir les liens qui les unissent.
5. Évaluer : prendre des décisions fondées sur des critères établis.
6. Créer : joindre des éléments pour former un tout nouveau et cohérent.

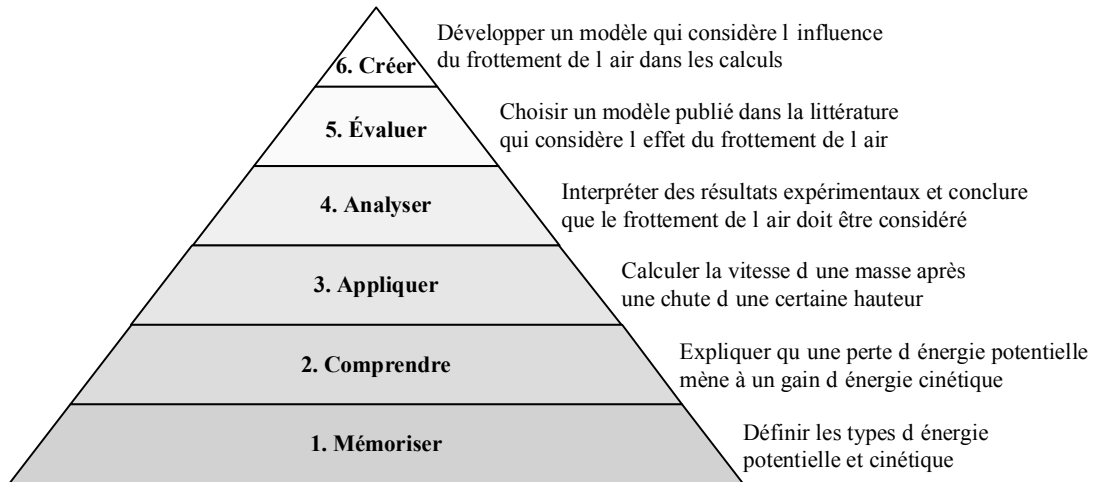


Figure 2.1 Les six niveaux cognitifs de la taxonomie révisée de Bloom

Ces niveaux sont hiérarchisés dans le sens où un apprenant doit maîtriser les processus cognitifs de niveaux inférieurs pour pouvoir réaliser des apprentissages de niveaux supérieurs. Ainsi, pour pouvoir calculer la vitesse d'une masse après une chute d'une certaine hauteur (niveau 3), l'apprenant doit connaître les types d'énergie (niveau 1) et comprendre le concept de la conservation d'énergie qui existe entre les énergies potentielle et cinétique (niveau 2).

2.1.2 Classe traditionnelle

Comme le montre la figure 2.2, la classe traditionnelle employée dans ce projet de recherche se déploie en deux temps. D'abord, l'enseignant présente et explique la nouvelle matière devant l'ensemble des étudiants qui sont généralement en mode d'écoute. Par la suite, des exemples sont résolus pour mettre en application les nouveaux concepts théoriques présentés. Même si les étudiants sont tous physiquement regroupés dans une salle de classe, l'interaction entre eux est minimale et l'apprentissage se produit de manière individualisée. Évidemment, ils peuvent interagir avec l'enseignant en posant des questions, mais cette situation survient de moins en moins fréquemment au fur et à mesure que la taille

du groupe augmente (Beattie et Thiele, 2016). Dans un second temps, chaque apprenant est appelé à approfondir subséquemment la matière en effectuant des travaux individuels à la maison, évidemment sans la présence de l'enseignant.

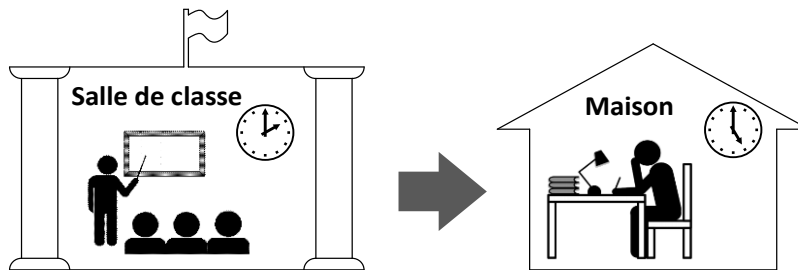


Figure 2.2 Schématisation du fonctionnement de la classe traditionnelle

Comme il l'a été mentionné au chapitre précédent, l'exposé magistral demeure à ce jour largement utilisé dans l'enseignement de l'ingénierie. La thèse de Tremblay-Wragg (2018) met en évidence que cette stratégie pédagogique peut prendre différentes appellations dépendant des auteurs. Ainsi, selon la typologie de Tournier (1978), l'« exposé magistral » se définit comme suit :

Discours oral, sans interruption, d'un professeur à un groupe d'apprenants. C'est le professeur qui, à peu de choses près, détient le monopole de l'activité tandis que les apprenants sont en situation d'écoute silencieuse. Le professeur est la source d'information. Sur le plan verbal, la communication se fait à sens unique, du professeur au groupe. Il y a toutefois une rétroaction non verbale du groupe qui peut éventuellement amener le professeur à adapter le contenu ou le rythme de son exposé en fonction des réactions de l'auditoire.

Prégent (1990) propose une définition similaire, mais en utilisant les termes « exposé formel » :

Le professeur s'adresse sans interruption aux apprenants pendant la totalité de la période qui lui est réservée. Il peut recourir ou non aux moyens audio-scriptovisuels. Les apprenants écoutent silencieusement en prenant des notes.

Ces deux définitions ne sont pas entièrement représentatives de la manière dont la classe traditionnelle est déployée dans ce projet puisque les étudiants peuvent interagir en tout temps avec l'enseignant en posant des questions. La stratégie pédagogique employée se rapproche donc de l'« exposé informel » que (Prégent, 1990) définit comme suit :

Le professeur s'adresse aux apprenants et garde en permanence la conduite du discours. Toutefois, il cherche à faire participer son auditoire, soit en posant des questions, soit en répondant à celles qu'on lui pose.

Chamberland et al. (1995) propose une définition similaire simplement du terme « exposé » :

Présentation orale d'informations avec ou sans l'intervention des apprenants et avec ou sans l'utilisation de moyens audio scripto-visuels.

La classe traditionnelle employée dans ce mémoire exploite donc des exposés au sens défini par les deux dernières définitions, c'est-à-dire un exposé interactif lors duquel les étudiants peuvent poser des questions lors de la présentation de la théorie et lors de la résolution d'exemples. Pour éviter toute confusion par rapport aux différentes définitions présentées antérieurement, il sera simplement question pour la suite du texte de la « classe traditionnelle » sans faire référence au concept d'exposé.

Chamberland et al. (1995) identifient quelques avantages et inconvénients de cette stratégie pédagogique. Il s'agit d'abord de la stratégie la plus familière pour les apprenants et la plus employée comme étalon pour comparer d'autres stratégies pédagogiques. Elle est économique pour les établissements universitaires dans le sens où elle permet d'exposer de la nouvelle matière à un grand nombre d'étudiants simultanément. De plus, elle est rassurante autant pour les étudiants qui sont familiers avec cette stratégie que pour l'enseignant qui contrôle le rythme de présentation de la matière. En revanche, l'exposé ne favorise pas le partage des connaissances et des expériences des apprenants. Il perd en efficacité après une vingtaine de minutes et ne convient pas aux apprenants qui ont des lacunes au niveau de la concentration. Enfin, Talbert (2017) affirme que la classe traditionnelle présente une certaine anomalie dans le sens où les activités d'apprentissage de bas niveaux cognitifs (1. Mémoriser, 2. Comprendre et 3. Appliquer) se déroulent en classe en présence de l'enseignant, alors que celles de plus hauts niveaux cognitifs (4. Analyser, 5. Évaluer et 6. Créer) doivent généralement être réalisées à la maison sans l'assistance immédiate de l'enseignant.

2.1.3 Classe inversée

Il existe des ouvrages de grande qualité entièrement dédiés à la classe inversée, notamment le livre de Dumont et Berthiaume (2016) ainsi que celui de Talbert (2017). Les prochains paragraphes visent à mettre en valeur les principales caractéristiques qui différencient la classe inversée de la classe traditionnelle.

Avant toute chose, il semble important de proposer une définition de la classe inversée. Une qui est souvent citée dans la littérature, notamment par Lage, Platt, et Treglia (2000), est : « *tout ce qui est traditionnellement fait en classe, l'est à la maison, tandis que ce qui est fait à la maison, l'est en classe* »¹⁰ ou, autrement dit, le cours à la maison et les devoirs en classe. Ce genre de définition est trop

¹⁰ Traduction proposée par Guilbault et Viau-Guay (2017).

simpliste et comme le mentionnent Dumont et Berthiaume (2016), il serait alors question de la « classe translaturée ». Selon eux, le résultat serait tout aussi inefficace que la classe traditionnelle, car la classe translaturée conserverait exactement les mêmes activités d'apprentissage, mais elles seraient réalisées à des moments et à des endroits différents. Selon Goedhart, Blignaut-van Westrhenen, Moser, et Zweekhorst (2019), il n'existe malheureusement pas de définition unique et universelle de la classe inversée dans la littérature. En effet, on y retrouve un nombre important de définitions, mais celle proposée par Abeysekera et Dawson (2015) permet de bien délimiter ce qu'est et ce que n'est pas une classe inversée. Leur définition comprend trois volets : « *La classe inversée est une stratégie pédagogique qui :*

- 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,*
- iii. exige que l'apprenant réalise préalablement des tâches à la maison pour bénéficier pleinement du travail en classe »¹¹.*

La figure 2.3 schématise le fonctionnement de la classe inversée et il est important de souligner qu'elle n'est pas une simple réorganisation de la figure 2.2. En effet, la classe inversée propose des activités d'apprentissage fort différentes de celles prévues dans une classe traditionnelle.

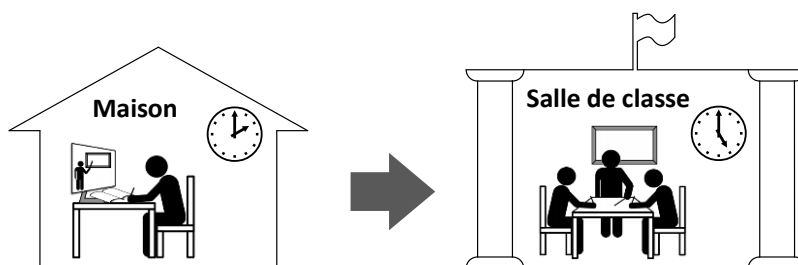


Figure 2.3 Schématisation du fonctionnement de la classe inversée

En conformité avec le troisième volet de la définition d'Abeysekera et Dawson (2015), la partie gauche de la figure 2.3 schématise le travail préparatoire que l'apprenant doit faire à la maison avant une séance en classe. L'étudiant doit alors acquérir les savoirs qui sont habituellement transmis par l'enseignant dans une classe traditionnelle. L'aspect transmissif des savoirs est ainsi déplacé à l'extérieur de la salle de classe. Le matériel pédagogique développé par l'enseignant doit donc être adapté au niveau des apprenants afin

¹¹ Traduction libre.

qu'ils puissent assimiler le contenu relativement facilement et de manière autonome. De nos jours, la démocratisation de l'informatique facilite la production de matériel audiovisuel, mais l'utilisation de ce type de matériel n'est pas une condition nécessaire à respecter pour implanter la classe inversée. En effet, le matériel utilisé à la maison par l'apprenant peut tout aussi bien être des livres ou des notes de cours. La différence la plus marquée entre la classe traditionnelle et la classe inversée concerne les activités qui se déroulent dans la salle de classe. Elles sont conçues pour que l'apprenant soit cognitivement actif et que la transmission directe de savoirs détenus par l'enseignant vers l'apprenant soit minimisée. En conformité avec le second volet de la définition, les activités réalisées en classe ont en plus un caractère social, c'est-à-dire qu'un apprenant interagit avec l'enseignant ainsi qu'avec ses pairs. La supervision offerte par l'enseignant durant les heures de classe constitue indéniablement un des plus importants avantages que procure la classe inversée. En effet, les apprenants peuvent alors profiter de l'expertise de leur enseignant pour réaliser des activités d'apprentissage mobilisant des compétences avancées.

Le FLIP Learning Network (FLN, 2014) est un regroupement de professeurs-chercheurs chevronnés qui sont des pionniers en ce qui a trait à la classe inversée. Ils définissent quatre piliers (F-L-I-P) sur lesquels repose la classe inversée et qui doivent être pris en compte pour l'implanter avec succès. Ces piliers constituent également des avantages pour les étudiants :

- Le pilier « F » pour « *Flexible environment* » permet à l'étudiant de jouir d'une certaine flexibilité dans la réalisation des activités d'apprentissage. En effet, à la maison, l'apprenant détermine l'endroit, le moment et le rythme pour réaliser ses apprentissages. En classe, contrairement à la classe traditionnelle, la flexibilité est également présente puisque les étudiants peuvent apprendre à leur propre rythme.
- Le pilier « L » pour « *Learning culture* » vise à développer une culture d'apprentissage chez les étudiants. Contrairement à la classe traditionnelle où l'enseignant constitue la principale source d'information, la classe inversée est orchestrée pour que l'étudiant construise par lui-même ses connaissances, et cela autant à la maison qu'en classe. Cependant, pour certains étudiants moins motivés, cet avantage peut être perçu comme un inconvénient, car la classe inversée devient alors plus exigeante et plus chronophage qu'un enseignement traditionnel. Comme le précise Talbert (2017), les activités d'apprentissage doivent ainsi être adaptées pour que l'étudiant ne doive pas investir un temps d'étude démesuré pour se préparer à une séance en classe.

- Le pilier « I » pour « *Intentional content* » fait référence au contenu qui doit être adapté afin que les étudiants puissent apprendre activement dans un contexte de classe inversée. Comme cela a été discuté antérieurement, un enseignant doit être vigilant pour ne pas tomber dans le piège de simplement orchestrer une classe translatée. Ainsi, le matériel pédagogique et les activités d'apprentissage développés dans un contexte de classe traditionnelle ne peuvent tout simplement pas être utilisés intégralement. Cet aspect constitue donc un avantage pour les étudiants qui ont généralement accès à du matériel pédagogique adapté à leur niveau. Par contre, pour l'enseignant, cela constitue un véritable inconvénient, car il doit investir une charge de travail colossale pour développer le nouveau matériel. Cependant, cette charge de travail n'est pas récurrente, car le matériel développé la première fois peut être réutilisé les sessions subséquentes.
- Le pilier « P » pour « *Professional educator* » implique que l'enseignant revoit son rôle envers les étudiants. En effet, il doit passer du transmetteur de connaissances (classe traditionnelle) à accompagnateur qui assiste les étudiants dans la construction de leurs apprentissages tout en leur fournissant de nombreuses rétroactions constructives (classe inversée). Certains étudiants peuvent percevoir ce changement de rôle comme un inconvénient, car ils deviennent responsables de leurs apprentissages. Pour l'enseignant, cela constitue une adaptation qui peut être fort motivante. En effet, il est ainsi en mesure de mieux faire profiter son expertise aux étudiants et l'encadrement qui leur est offert est moins répétitif au fil des sessions comparativement à ce qui est vécu dans une classe traditionnelle.

2.2 ASSISES THÉORIQUES DE LA CLASSE INVERSÉE

Les effets potentiellement positifs de la classe inversée peuvent s'appuyer sur la théorie de la charge cognitive issue du domaine de la psychologie cognitive ainsi que sur la théorie de l'autodétermination qui concerne essentiellement la motivation.

2.2.1 *Théorie de la charge cognitive*

La théorie de la charge cognitive a initialement été développée pour faciliter la compréhension du processus d'apprentissage dans un contexte de résolution de problèmes (Sweller, 1988; Tricot, 1998). Au fil des ans, Sweller, Van Merriënboer, et Paas (1998) ont peaufiné cette théorie pour ne pas se limiter qu'à la résolution de problèmes et ainsi fournir des lignes directrices aux enseignants afin d'optimiser les performances des apprenants. Une première contribution très importante de cette théorie concerne

l'architecture cognitive, c'est-à-dire une modélisation du fonctionnement du cerveau humain menant à un apprentissage. Cette architecture fait intervenir deux mémoires, la mémoire de travail (MdT) et la mémoire à long terme (MàLT). Pour la MdT, l'apprenant a conscience des informations qui s'y trouvent momentanément. Cette mémoire sert à faire des liens entre différentes informations. Malheureusement, elle a une capacité très limitée dans le sens où elle ne peut maintenir en mémoire simultanément qu'un nombre très limité d'informations. Selon Goldstein (2014), il est estimé que la MdT peut retenir simultanément environ sept informations pendant 10 à 15 secondes avant que l'information soit encodée en MàLT ou oubliée. Le nombre d'informations en MdT est réduit à seulement deux ou trois lorsqu'il est question de les comprendre et de les interpréter.

Pour la MàLT, elle n'a aucune limite en ce qui a trait au nombre d'informations qu'elle peut stocker. Les informations qui y sont présentes sont appelées « schémas mentaux » et ils sont conservés en mémoire sans que l'apprenant en soit conscient. Un schéma mental peut être quelque chose de très simple (un chiffre) ou de très complexe (le fonctionnement d'un réacteur nucléaire). Pour illustrer ce propos, imaginons qu'une personne doive mémoriser simultanément douze mots en trente secondes. La tâche est extrêmement difficile si les mots n'ont aucun lien entre eux, alors qu'elle devient banale pour une personne qui a précédemment appris par exemple les douze mois de l'année. Ce qui facilite la tâche avec les mois de l'année est qu'ils peuvent être considérés comme un seul et unique schéma mental stocké en MàLT. Lors d'un apprentissage antérieur, les mots « janvier », « février », ..., « décembre » ont été liés entre eux pour former un schéma mental appelé « les mois de l'année ».

Les schémas mentaux qu'un apprenant construit au fil du temps deviennent de plus en plus complexes en combinant de nouvelles informations aux schémas mentaux existants. La figure 2.4 illustre le processus de création d'un schéma mental. L'apprenant doit récupérer en MàLT une information et la rapatrier en MdT. Il doit également ajouter en MdT une ou plusieurs nouvelles informations qu'il acquiert visuellement (en lisant un document) ou auditivement (en écoutant une personne ou un enregistrement). Par la suite, l'apprenant procède à l'encodage, c'est-à-dire la création du lien qui unit ces informations pour former un nouveau schéma mental qui est finalement stocké en MàLT. L'apprentissage est alors complété et la MdT peut ainsi être libérée pour procéder à la création de nouveaux schémas mentaux.

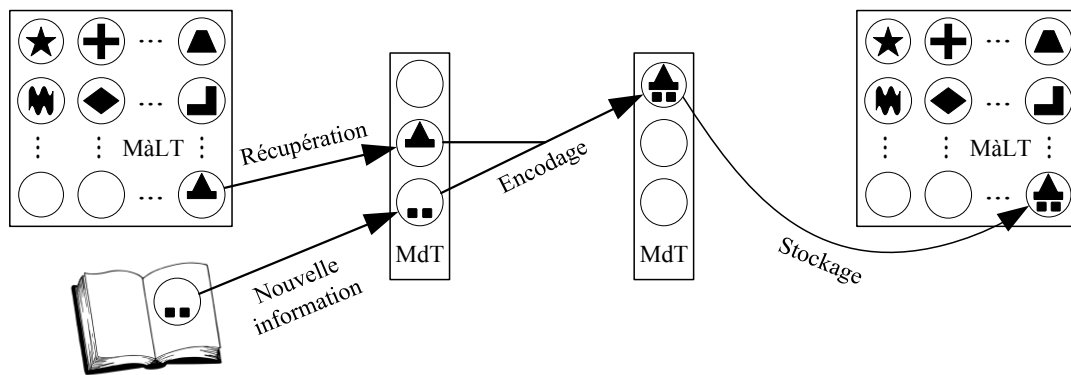


Figure 2.4 Création d'un schéma mental lors d'un apprentissage

Un des éléments critiques qui doit être pris en compte par un enseignant est la capacité limitée de la MdT. En effet, si l'apprenant est appelé à traiter une quantité trop importante d'informations qui excèdent les limites de sa MdT, l'activité d'apprentissage perd en efficacité et l'apprenant se trouve en « surcharge cognitive ». À cause de sa MdT remplie au maximum de sa capacité, l'apprenant n'est plus en mesure de traiter de nouvelles informations. Ces dernières sont alors rapidement remplacées par d'autres sans qu'elles n'aient pu être encodées et stockées dans la MàLT. Les informations ont été oubliées et aucun apprentissage n'a alors été réalisé. Par analogie, essayer de faire assimiler de nouveaux savoirs à un apprenant qui se trouve en surcharge cognitive est équivalent à essayer d'ajouter de l'eau dans une bouteille entièrement remplie. De la même manière que la quantité d'eau excédentaire ne pénètre jamais dans la bouteille, toute nouvelle information n'est jamais traitée par un étudiant cognitivement surchargé.

La seconde contribution d'importance associée à la théorie de la charge cognitive de Sweller et al. (1998) concerne les différents effets qui s'appuient sur l'architecture cognitive brièvement présentée dans les paragraphes précédents. Ces effets, tous empiriquement validés, ont des impacts favorables sur les apprentissages des étudiants. Par exemple, l'effet des exemples résolus (*worked example effect*) montre que les novices dans un domaine apprennent plus rapidement en leur présentant des exemples de résolution de problèmes plutôt qu'en leur faisant faire des exercices dans lesquels ils doivent résoudre par eux-mêmes des problèmes de complexité similaire. En effet, un novice dans une discipline devant résoudre par lui-même un nouveau problème a de forts risques de se retrouver dans un état de surcharge cognitive, car il doit simultanément comprendre l'énoncé du problème, extraire les données pertinentes, choisir les bonnes équations, etc. Au courant des deux dernières décennies, de nouveaux effets ont été proposés et empiriquement vérifiés de telle sorte qu'on dénombre aujourd'hui 17 effets différents rapportés dans la littérature (Sweller, van Merriënboer, et Paas, 2019).

Parmi eux, une attention particulière peut être portée à l'effet de la mémoire de travail collective (*collective working memory effect*) qui a été proposé par Kirschner, Paas, et Kirschner (2011). Cet effet stipule que la mise en collaboration de la capacité limitée de la MdT de plusieurs apprenants peut créer une mémoire de travail collective ayant une capacité accrue. En effet, devant une tâche requérant une charge cognitive importante, chacun des membres du groupe n'a pas à posséder dans sa propre MdT toutes les informations nécessaires pour exécuter la tâche. Les éléments d'information manquants pour un individu peuvent être fournis par un autre membre du groupe, mais à la condition d'avoir en place un processus de communication et de partage d'information efficace entre les apprenants. Puisque la communication entre les membres du groupe mobilise des ressources au niveau de la MdT individuelle, un compromis optimal doit être atteint entre les ressources allouées à la réalisation de la tâche et celles dédiées à la communication. Ainsi, un apprenant qui dédie toutes les ressources de sa MdT à communiquer n'est alors plus en mesure de contribuer à la mémoire de travail collective pour exécuter la tâche.

L'effet de la mémoire de travail collective n'est profitable que si les ressources cognitives à mobiliser dépassent la capacité de la MdT d'un seul apprenant. Dans le cas contraire, il s'avère plus efficace d'exécuter la tâche individuellement plutôt que collectivement, car les ressources cognitives d'une seule personne sont suffisantes pour exécuter la tâche et l'allocation de ressources à la communication devient alors contreproductive. Kirschner, Sweller, Kirschner, et Zambrano (2018) répertorient une série de principes (taille des équipes de travail, type de tâches à exécuter collectivement, composition des équipes, etc.) à respecter afin de maximiser les performances du travail réalisé collectivement.

La théorie de la charge cognitive comprend de nombreuses autres facettes, comme l'automatisation de schémas mentaux pouvant être traités de manière inconsciente minimisant ainsi l'utilisation de la MdT (Sweller et al., 1998) et les différences entre les charges cognitives intrinsèques, extrinsèques et essentielles (Orru et Longo, 2018). Même si ces facettes enrichissent considérablement cette théorie, leur description est volontairement omise puisqu'elles ne seront pas étudiées dans le contexte du présent projet de recherche. Enfin, il y a quelques années, des aspects évolutifs ont été greffés à la théorie de la charge cognitive (Paas et Sweller, 2012; Sweller, 2016). En effet, les apprentissages peuvent être étiquetés comme étant des savoirs biologiquement primaires ou secondaires. Ceux qualifiés de primaires (le langage par exemple) sont des apprentissages que l'humain est génétiquement programmé à acquérir naturellement à l'extérieur d'un système éducatif, tandis les savoirs secondaires (par exemple les

mathématiques) requièrent des ressources cognitives importantes et sont plus susceptibles d'être affectés par la capacité limitée de la MdT. Puisque tous les apprentissages impliqués dans le présent projet de recherche sont des savoirs biologiquement secondaires, cette distinction liée aux aspects évolutifs ne sera plus évoquée dans la suite de ce mémoire.

2.2.2 Théorie de l'autodétermination

Il existe plusieurs théories et modèles en lien avec la motivation en milieu académique, notamment la théorie de l'autodétermination de Ryan et Deci (2000), le modèle de Barbeau (1994) et le modèle de Viau (2009). Dans ce mémoire, la théorie de l'autodétermination de Ryan et Deci (2000) a été retenue, car elle inclut un volet social qui devient fort pertinent dans le contexte de la classe inversée. Dans la théorie de l'autodétermination, deux contributions importantes sont mises de l'avant. La première contribution concerne l'élaboration d'une classification des différents types de motivation. La figure 2.5 répertorie, de gauche à droite, les trois types de motivation allant de l'absence de motivation (amotivation) à la motivation intrinsèque, en passant par la motivation extrinsèque.

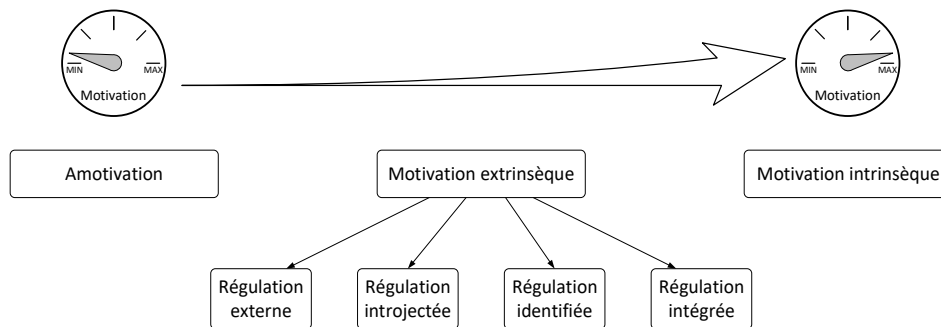


Figure 2.5 Les différents types de motivation selon Ryan et Deci (2000)

À l'extrémité gauche de la figure 2.5 se trouve l'amotivation qui est synonyme d'absence de motivation. Cet état est caractéristique d'un étudiant qui ne réalise tout simplement pas les activités d'apprentissage à cause d'au moins une des trois raisons suivantes : i) l'activité d'apprentissage n'a aucune valeur aux yeux de l'apprenant qui la juge ainsi inutile, ii) l'apprenant estime ne pas détenir les compétences nécessaires pour réaliser l'activité d'apprentissage, iii) l'apprenant est persuadé que les objectifs de l'activité d'apprentissage ne peuvent pas être atteints parce que la tâche lui semble trop complexe ou trop ambitieuse.

À l'autre extrémité du spectre se trouve la motivation intrinsèque. Les motifs qui poussent l'apprenant à s'engager dans la réalisation de l'activité d'apprentissage se trouvent au sein même de l'apprenant. Il éprouve alors du plaisir et de la satisfaction à réaliser les tâches. Un étudiant qui participe à des activités parascolaires (par exemple en participant aux activités d'un club étudiant dont le mandat est de construire une voiture de course dans le cadre d'une compétition interuniversitaire) est intrinsèquement motivé.

Entre ces deux extrêmes se situe la motivation extrinsèque. L'apprenant ne réalise pas les activités d'apprentissage par choix et sans nécessairement éprouver du plaisir. Les motifs qui l'incitent à compléter ces activités se trouvent partiellement ou entièrement à l'extérieur de l'apprenant. La théorie propose quatre types de motivation extrinsèque et la différence entre ceux-ci est la nature de la régulation. La régulation est en quelque sorte la raison qui pousse l'apprenant à s'investir dans une activité d'apprentissage. Un étudiant qui complète un devoir strictement pour ne pas échouer à un cours constitue un exemple de régulation externe, tandis qu'un étudiant qui investit beaucoup d'efforts dans un projet afin de développer des compétences qui seront bénéfiques pour sa future carrière représente un exemple de régulation intégrée. Puisque le concept de régulation ne sera pas appliqué dans le cadre du présent mémoire de maîtrise, la distinction entre les types de régulation ne sera pas explicitée plus en profondeur.

La seconde contribution d'importance de la théorie de l'autodétermination de Ryan et Deci (2000) concerne l'identification des besoins psychologiques fondamentaux à satisfaire pour augmenter la motivation. Cette contribution s'avère plus intéressante à exploiter au sein du présent projet de recherche en didactique, car elle précise les lignes directrices qui guident l'enseignant dans le développement d'activités d'apprentissage qui motivent les étudiants tout en augmentant leur bien-être psychologique. Concrètement, la théorie identifie trois besoins psychologiques fondamentaux à satisfaire afin qu'un apprenant soit davantage motivé, c'est-à-dire qu'il se retrouve le plus possible vers la droite sur le spectre illustré à la figure 2.5 :

- Le besoin d'autonomie : l'apprenant contrôle ses apprentissages en effectuant des choix. Il peut ainsi agir en fonction de ses propres valeurs.
- Le besoin de compétence : l'apprenant vit des réussites en réalisant des tâches valorisantes, ni trop simples, ni trop compliquées. Il se sent alors compétent.
- Le besoin de relations sociales : l'apprenant est en relation avec son enseignant ou ses pairs durant ses apprentissages. L'étudiant a un sentiment d'appartenance à un groupe. Il reçoit également des rétroactions constructives fréquentes de la part de son enseignant.

Selon Deci et Ryan (2015), si un apprenant réussit à satisfaire ces besoins en participant à des activités d'apprentissage, il sera alors plus motivé (son niveau de motivation se déplacera vers la droite à la figure 2.5), fera de meilleurs apprentissages et améliorera ses performances académiques.

2.3 BIENFAITS POTENTIELS DE LA CLASSE INVERSÉE

Cette section expose quelques publications qui se sont appuyées sur la taxonomie révisée de Bloom, la théorie de la charge cognitive et la théorie de l'autodétermination pour justifier les bienfaits de la classe inversée.

Dans de nombreux cours en ingénierie offerts en classe traditionnelle, le premier contact avec de la nouvelle matière est présenté en classe par l'enseignant qui consacre une partie significative du temps à des activités de bas niveaux cognitifs de la taxonomie révisée de Bloom. De nouveaux concepts sont alors définis et expliqués et des exemples sont généralement résolus par l'enseignant. Par la suite, les étudiants se retrouvent à la maison pour réaliser des activités de haut niveaux cognitifs, sans la présence de l'enseignant (mais possiblement avec les pairs). Typiquement, ils sont appelés à résoudre des exercices plus complexes ou à mener à terme des projets d'analyse ou de conception. Comme le souligne Wills-Gordon (2016), une telle façon de fonctionner semble illogique, car l'enseignant n'est pas en mesure d'offrir un support immédiat lorsque les étudiants sont confrontés à des activités cognitives de hauts niveaux. En optant pour la classe inversée, cette incohérence peut être corrigée (Gilboy, Heinerichs, et Pazzaglia, 2015).

La restructuration d'un cours pour le faire passer d'une classe traditionnelle à une classe inversée peut avoir des effets significativement positifs (Karaca et Ocak, 2017). En effet, en s'appuyant sur la théorie de la charge cognitive, Abeysekera et Dawson (2015) ainsi que Lo et Hew (2019) suggèrent que la classe inversée bien conçue permet de mieux gérer le rythme avec lequel les étudiants effectuent leurs apprentissages, ce qui leur permet d'éviter un état de surcharge cognitive. Avec la classe traditionnelle, tout nouveau contenu est présenté aux étudiants dans le cadre d'un exposé dont le rythme est dicté par l'enseignant. Considérant que les séances hebdomadaires de cours à l'ÉTS durent 210 minutes, soit trois heures de cours entrecoupées d'une ou deux pauses totalisant 30 minutes, il est utopique de croire que tous les étudiants soient en mesure d'éviter la surcharge cognitive. Karaca et Ocak (2017) ont d'ailleurs mesuré une charge cognitive réduite chez les étudiants exposés à la classe inversée comparativement à

ceux exposés à la classe traditionnelle. Ainsi, en permettant à l'étudiant d'apprendre à son propre rythme autant à la maison qu'en classe, la possibilité de surcharger la mémoire de travail est réduite.

En plus de souligner la réduction de la charge cognitive, Goedhart et al. (2019) affirment que la classe inversée permet de mieux supporter un groupe hétérogène d'étudiants dans leurs apprentissages. Ce point est important, car comme il l'a été précisé en introduction, la clientèle étudiante de l'ÉTS est très hétérogène. Il devient donc important de recourir à des stratégies pédagogiques qui offrent une certaine flexibilité dans le rythme d'apprentissage. C'est dans ce contexte que Seery et Donnelly (2012) ont observé un phénomène intéressant en transformant une classe traditionnelle en classe inversée pour un cours universitaire de chimie. Avec la classe traditionnelle, ils ont observé une différence significative entre les étudiants ayant et n'ayant pas d'acquis antérieurs en chimie. Cette différence n'a plus été observée après le passage à la classe inversée, ce qui leur fait conclure que la classe inversée a permis d'offrir un enseignement répondant aux besoins spécifiques de chaque type de clientèles étudiantes.

Les paragraphes précédents ont justifié les bienfaits de la classe inversée selon l'angle de la minimisation de la surcharge cognitive, mais un autre aspect de la théorie de la charge cognitive peut être évoqué, soit l'effet de la mémoire de travail collective. Rappelons que cet effet de la théorie de la charge cognitive stipule qu'un groupe d'apprenants peut mener à terme des tâches qui seraient difficilement réalisables individuellement, car la mémoire de travail collective surpasse celle d'un simple individu (Paas et Sweller, 2012). Ainsi, il est donc plus efficace que les tâches qui requièrent d'importantes ressources cognitives soient réalisées de manière collaborative. Dans leur méta-analyse, Lo et Hew (2019) citent une dizaine de publications dans lesquelles le travail en équipe durant les heures de classe a favorisé l'enseignement par les pairs et la capacité de résoudre des problèmes complexes. De son côté, Strayer (2012) affirme que la classe inversée a augmenté la coopération entre les étudiants ainsi que leur capacité d'innover. Ce point est important, car la capacité d'innover, c'est-à-dire l'habileté à concevoir de nouveaux produits, est au cœur même du rôle de l'ingénieur dans la société selon l'OIQ (voir section 1.1.1).

Pour ce qui est du lien entre la classe inversée et la théorie de l'autodétermination, Abeysekera et Dawson (2015) affirment que l'enseignement transmissif qui se produit durant une classe traditionnelle plonge les étudiants dans un état passif et ne satisfait aucun des trois besoins psychologiques fondamentaux que sont les besoins de compétence, d'autonomie et de relations sociales. Bien entendu, la classe traditionnelle ne se limite pas aux heures de contact avec l'enseignant dans une salle de classe et les

étudiants doivent en plus réaliser des tâches à la maison. En adoptant des stratégies d'apprentissage appropriées, il est possible que certains étudiants réussissent quand même à satisfaire ces besoins psychologiques fondamentaux, mais la façon dont la classe traditionnelle est orchestrée ne le favorise pas, car l'enseignant ne contrôle pratiquement pas ce qui se passe à l'extérieur de la salle de classe.

C'est dans ce contexte qu'Abeysekera et Dawson (2015) stipulent que la classe inversée est davantage propice à satisfaire les besoins psychologiques fondamentaux, puisque les étudiants sont actifs autant à la maison qu'en classe. Premièrement, en acquérant de nouveaux savoirs par eux-mêmes plutôt que de se les voir transmettre par l'enseignant, les étudiants développent leur besoin psychologique de compétence. Bien entendu, l'enseignant a une importante responsabilité à cet égard, car il doit développer du matériel pédagogique (notes de cours, capsules vidéo, etc.) adapté aux connaissances antérieures des étudiants. S'il propose du matériel qui se trouve hors de la portée des étudiants, le besoin de compétence ne serait pas satisfait, ce qui risquerait d'être une source de démotivation. Deuxièmement, les activités préparatoires à réaliser à la maison permettent aux étudiants de satisfaire le besoin d'autonomie, puisqu'ils sont en mesure de contrôler le rythme avec lequel ils couvrent la nouvelle matière. Si un étudiant éprouve de la difficulté avec une notion, il peut prendre une pause ou revenir en arrière pour consulter à nouveau le matériel pédagogique. Une telle décision, qui ne peut pas être prise par l'étudiant lors d'un exposé contrôlé par l'enseignant, lui procure un certain contrôle et conséquemment le rend autonome. Troisièmement, en imposant le travail en équipe lors des activités en classe, leur besoin de relations sociales est satisfait. Les interactions sociales se produisent autant entre les étudiants regroupés en équipe qu'entre les étudiants et leur enseignant qui leur offre du support et des rétroactions constructives.

Yough, Merzdorf, Fedesco, et Cho (2019) abondent dans le même sens en affirmant que la théorie de l'autodétermination représente le « cadre théorique idéal » pour étudier les impacts de la classe inversée sur la motivation des étudiants. Paradoxalement, ils soulignent que des études empiriques traitant de cette question n'ont pas été menées à ce jour. Sergis, Sampson, et Pelliccione (2018) avait émis un constat similaire un an plus tôt, à savoir que même si la théorie de l'autodétermination a abondamment été employée dans le domaine de l'éducation, elle n'a pratiquement pas été appliquée à la classe inversée.

2.4 CONCEPT D'EFFICACITÉ

Selon le site Internet du dictionnaire Larousse¹², l'efficacité se définit ainsi : « *caractère d'une personne, d'un organisme efficace, qui produit le maximum de résultats avec le minimum d'efforts, de moyens* ». Selon cette définition, l'efficacité en milieu académique peut être interprétée d'une multitude de façons. Il y a plusieurs décennies, Shannon (1936) a évalué l'efficacité d'un enseignant en observant la proportion du temps où les étudiants étaient concentrés par rapport au temps total de l'activité. Pour y arriver, chaque étudiant devait être constamment observé par un autre individu durant les activités d'apprentissage. De son côté, Demers (2016) indique que les chercheurs utilisent généralement la performance scolaire des étudiants (note à un examen, note finale dans le bulletin, etc.) pour évaluer l'efficacité d'un cours ainsi qu'une mesure plus macroscopique, comme le taux de diplomation, pour évaluer l'efficacité d'un programme. Certaines études ont évalué l'efficacité selon d'autres angles, par exemple en sondant la satisfaction des étudiants envers un cours ou un programme (Mainardes, Alves, et Raposo, 2014), en suivant le nombre d'inscriptions ou d'échecs dans un cours (Hassan et Othman, 2021) ou en calculant les bénéfices économiques pour une institution dans le cadre d'analyses financières (Brewer, Dou, et Shand, 2018). Enfin, le transfert des apprentissages en milieu professionnel, c'est-à-dire l'application sur le marché du travail des compétences développées en milieu scolaire, représente un autre critère qui pourrait être utilisé pour juger de l'efficacité d'une stratégie pédagogique (Péladeau, Forget, et Gagné, 2005). En fait, le transfert des apprentissages en milieu de travail représente probablement le critère le plus judicieux à considérer, car il correspond à la principale finalité de tout programme d'ingénierie. Malheureusement, mesurer un tel transfert nécessite des études longitudinales qui s'avèrent impossibles à mettre en œuvre dans le contexte d'un mémoire de maîtrise. À titre d'exemple, l'étude longitudinale de Docherty, Zaka, et Fox-Turnbull (2021) a nécessité trois années de collecte de données (entre 2014 et 2016) pour évaluer l'impact de la stratégie pédagogique (classe inversée ou traditionnelle) employée dans un cours de première année sur les performances académiques des étudiants qui suivent un cours en deuxième année.

L'efficacité sera donc évaluée dans ce projet de recherche en confrontant les performances académiques des étudiants par rapport au temps consacré aux études. Les performances académiques sont en fait les notes obtenues par les étudiants aux différentes évaluations planifiées dans le cours (examens, projet,

¹² <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/efficacite/27928>

etc.). Le but est d'éviter de tirer des conclusions qui sont fondées exclusivement sur les performances académiques. Par exemple, il serait délicat de conclure que les étudiants exposés à une stratégie pédagogique sont plus efficaces s'ils obtiennent de meilleurs résultats académiques en consacrant deux ou trois fois plus de temps à leurs apprentissages. À l'opposé, il serait possible de conclure que les étudiants exposés à une stratégie pédagogique sont plus efficaces que d'autres s'ils obtiennent de meilleurs résultats académiques à la suite d'un investissement de temps similaire. Il faut cependant être conscient que des étudiants intrinsèquement motivés pourraient biaiser les données en investissant énormément de temps (peut-être même plus que nécessaire) simplement parce qu'ils éprouvent du plaisir à réaliser les activités pédagogiques.

Dans ce mémoire, l'efficacité d'un étudiant est calculée en adaptant l'indice proposé par Paas et Van Merriënboer (1993) qui prend en considération la performance d'un étudiant et son effort mental. Une adaptation de cet indice, noté I_E , sera employée pour considérer simultanément la performance académique d'un étudiant et le temps que ce dernier a consacré à ses études. L'indice d'efficacité d'un étudiant est calculé selon l'équation 2.1 où N est la note obtenue par un étudiant, T est le temps total consacré par un étudiant à ses études, μ_N est la moyenne des notes de l'ensemble des étudiants, σ_N est l'écart type des notes de l'ensemble des étudiants, μ_T est la moyenne du temps total consacré aux études par l'ensemble des étudiants et σ_T est l'écart type du temps total consacré aux études par l'ensemble des étudiants.

$$I_E = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\begin{array}{c} \frac{N - \mu_N}{\sigma_N} \\ \uparrow \\ Z_N \end{array} - \begin{array}{c} \frac{T - \mu_T}{\sigma_T} \\ \uparrow \\ Z_T \end{array} \right) \quad (2.1)$$

Il est à noter que les deux termes entre les parenthèses sont des cotes Z , c'est-à-dire le score normalisé d'un étudiant par rapport à l'ensemble des individus de l'échantillon pour la note obtenue (Z_N) et pour le temps total consacré aux études (Z_T). Un indice d'efficacité supérieur à zéro signifie que l'étudiant a été efficace dans le sens où il a obtenu une note supérieure à ce qu'il aurait dû obtenir pour le temps qu'il a consacré aux études. Il est important de souligner qu'un étudiant ayant obtenu de bonnes notes n'est pas nécessairement efficace. À titre d'exemple, deux étudiants sont positionnés sur le graphique de la figure 2.6 en fonction de leurs cotes Z_T et Z_N respectives. L'étudiant 1 a une cote Z_T négative, ce qui indique qu'il a consacré moins de temps que la moyenne à ses études, alors que l'étudiant 2 a une cote Z_T

positive. Les deux étudiants ont cependant une cote Z_N positive, ce qui indique qu'ils ont tous les deux des résultats académiques supérieurs à la moyenne. Avec sa cote Z_N supérieure, l'étudiant 2 a donc obtenu une meilleure note que l'étudiant 1, mais il s'avère être le moins efficace des deux étudiants. La droite pointillée inclinée à 45° à la figure 2.6 représente une efficacité nulle ($I_E = 0$). La région verte, qui se trouve au-dessus de la droite pointillée, correspond une efficacité positive ($I_E > 0$), alors que la région rouge correspond à une efficacité négative ($I_E < 0$). Enfin, plus la distance minimale entre un point et la ligne pointillée est grande, plus l'indice d'efficacité est fortement positif ou fortement négatif. Cette distance minimale est représentée à la figure 2.6 par les traits perpendiculaires inclinés à 45° de longueur I_{E1} et I_{E2} .

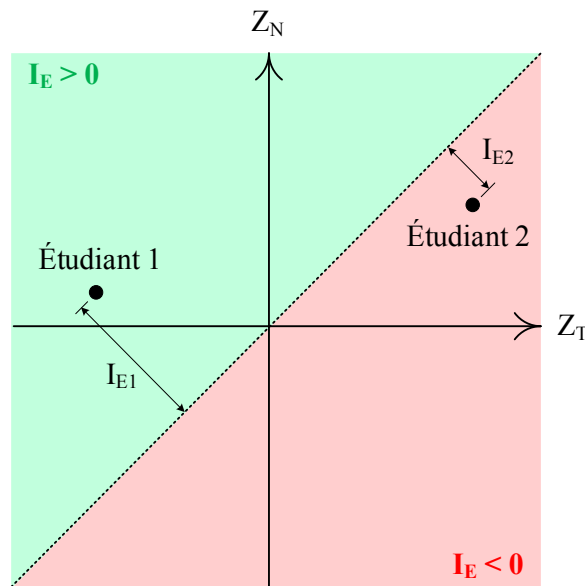


Figure 2.6 Représentation graphique de l'indice d'efficacité

2.5 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DE RECHERCHE

La question de recherche élaborée au chapitre précédent est plutôt générale. La littérature scientifique actuellement disponible ne permet pas de répondre sans équivoque à cette question, mais elle émet néanmoins plusieurs hypothèses pour expliquer les meilleures performances des étudiants exposés à une classe inversée plutôt qu'à une classe traditionnelle. En effet, des limitations méthodologiques, l'absence de consensus et le manque de preuves tangibles ne permettent pas de tirer des conclusions définitives sur la véritable efficacité des étudiants d'une classe inversée comparativement à ceux d'une classe traditionnelle. L'étude décrite dans ce mémoire de maitrise permettra d'enrichir la littérature scientifique en menant un projet qui vise à atteindre les objectifs spécifiques suivants :

- Objectif 1 : Comparer l'efficacité des étudiants exposés à une classe inversée ou traditionnelle en fonction de leur force académique;
- Objectif 2 : Comparer les performances académiques des étudiants exposés à une classe inversée ou traditionnelle en fonction de la nature des activités pédagogiques;
- Objectif 3 : Identifier les facteurs qui pourraient expliquer la différence d'efficacité entre les étudiants des deux classes.

2.6 SYNTHÈSE

Ce chapitre avait pour but de définir les concepts et les théories qui peuvent expliquer les différences qui seront possiblement observées à la suite de la collecte de données au niveau de l'efficacité des étudiants exposés à une classe inversée ou traditionnelle. En guise de synthèse, les liens entre ces concepts et théories sont schématisés dans la carte conceptuelle de la figure 2.7 où les cases bleues, jaunes, vertes et mauves font référence respectivement à la classe traditionnelle, à la classe inversée, à la théorie de la charge cognitive et à la théorie de l'autodétermination.

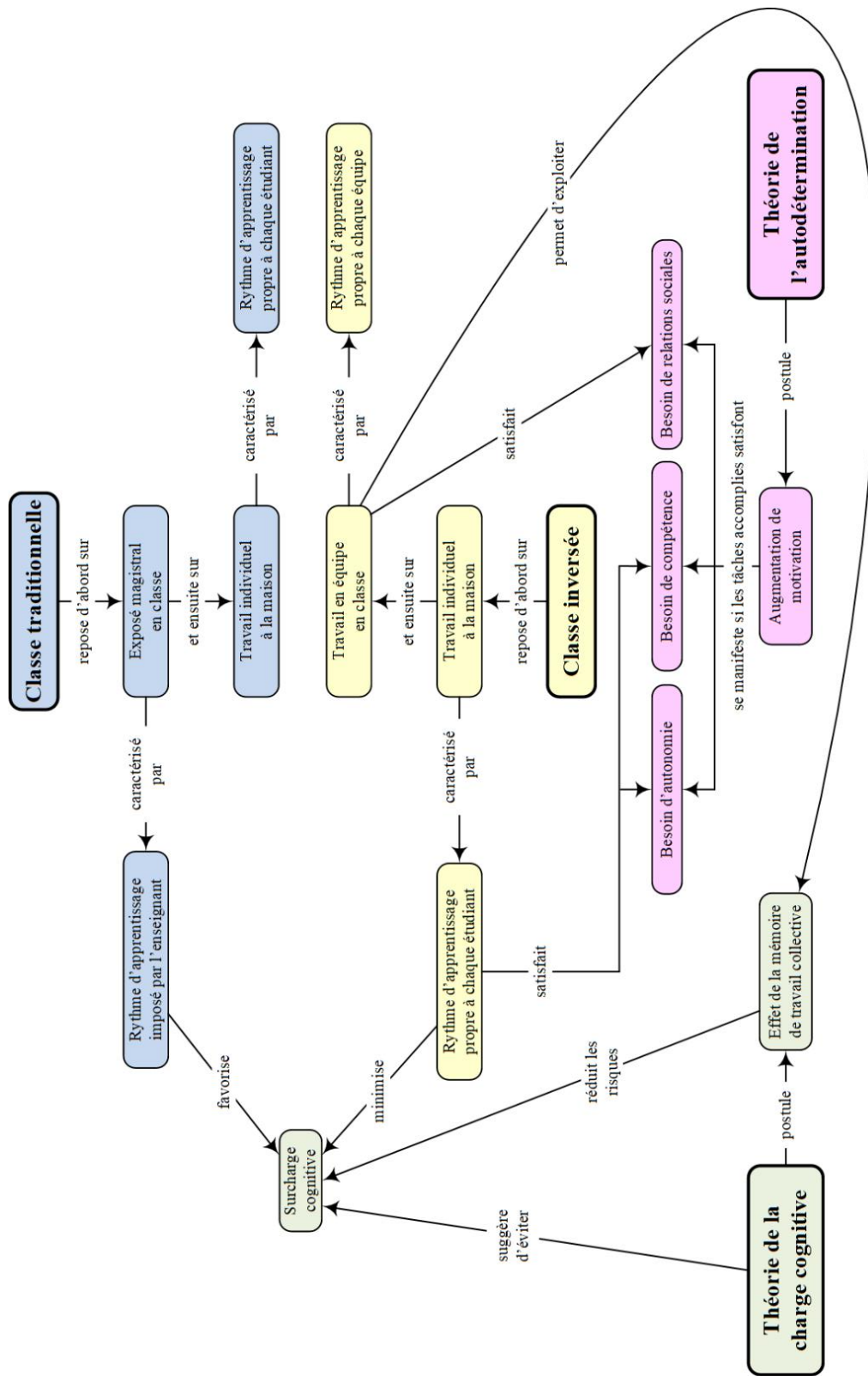


Figure 2.7 Carte conceptuelle du cadre de recherche.

CHAPITRE 3 - MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre vise à décrire la méthodologie qui sera employée pour atteindre les objectifs de recherche antérieurement énumérés et, du même coup, répondre à la question de recherche établie au premier chapitre. La méthodologie employée dans la présente étude a été approuvée par le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPÉ plurifacultaire) de l'UQAM ainsi que par le Comité d'éthique en recherche (CÉR) de l'ÉTS. Les certificats d'approbation éthique délivrés par ces instances sont fournis à l'annexe A. Ce chapitre est divisé en sept sections. La première précise l'approche de recherche préconisée, tandis que les autres, plus opérationnelles, présentent dans l'ordre le cours retenu pour l'expérimentation, la répartition des participants entre le groupe expérimental et le groupe témoin, le recrutement des participants et la description des données collectées. Avant de présenter une synthèse de ce chapitre, l'avant-dernière section aborde quelques considérations éthiques qui ont dû être prises en considération.

3.1 APPROCHE DE RECHERCHE

Pour tenter de répondre à la question de recherche, les deux principales postures épistémologiques décrites par Fortin et Gagnon (2016), en l'occurrence les postures interprétative et postpositiviste, pourraient être adoptées. La posture interprétative a d'ailleurs été adoptée pour étudier la perception d'étudiants ayant été exposés aux deux stratégies pédagogiques par l'entremise de sondages ou d'entrevues. En effet, Wagner et al. (2013), Mok (2014), Kiat et Kwong (2014), Butt (2014), Harris et Park (2016), Al Jassmi et al. (2019) ainsi que Terriault (2019) ont mené des recherches qualitatives pour connaître la perception des étudiants en lien avec la classe inversée. En menant de telles études, il est difficile de tirer des conclusions et de dégager des généralisations puisque le nombre de participants interviewés est généralement faible. Par contre, elles permettent d'apporter des explications à un phénomène observé tout en ayant un but de transférabilité. Une posture postpositiviste sera donc adoptée dans le cadre du présent mémoire de maîtrise, essentiellement pour avoir un portrait global de l'ensemble des étudiants. Une recherche quantitative quasi expérimentale sera menée auprès d'un groupe expérimental (classe inversée) et d'un groupe témoin (classe traditionnelle). Deux approches peuvent être préconisées pour comparer quantitativement des données collectées auprès de chacun des deux groupes :

- *Comparaison différée* : Il s'agit de comparer les performances académiques (note obtenue à un examen, à un laboratoire ou à l'ensemble des activités d'un cours) des étudiants exposés à la classe inversée par rapport aux performances d'autres étudiants ayant suivi le même cours offert en classe traditionnelle une année antérieure. De telles études sont notamment rapportées dans les travaux de Morin et al. (2013), Mason et al. (2013), Nelson (2014), Taylor (2018), Simko et al. (2019), Gómez-Tejedor et al. (2020) et Mohamed (2020), Cho et al. (2021) et Hassan et Othman (2021). Puisque les données ont été collectées avec des outils d'évaluation qui ne sont pas les mêmes à des moments différents, les conclusions doivent donc être interprétées avec retenue.
- *Comparaison simultanée* : Cette approche consiste à comparer les performances des étudiants d'un groupe témoin à celles des étudiants d'un groupe expérimental qui suivent simultanément le même cours. De telles études sont rapportées entre autres dans les publications de Love et al. (2014), Turan et Goktas (2016), Koska et Condra (2018), Stover et Houston (2019), Selvakumar et Sivakumar (2019), Yough et al. (2019) et olde Scholtenhuis, Vahdatikhaki, et Rouwenhorst (2020). Il n'est généralement pas précisé dans les publications si les enseignants et les outils employés pour mesurer les performances des étudiants étaient systématiquement les mêmes dans les deux groupes. Dans ce contexte, il persiste un doute à savoir si les résultats sont réellement comparables.

Nous croyons que la comparaison simultanée est l'approche qui est la plus prometteuse pour produire des résultats qui permettent de mesurer l'influence de la stratégie pédagogique sur les performances des étudiants. En effet, en recourant à la comparaison différée, trop de paramètres peuvent compromettre la valeur scientifique de l'étude, par exemple en utilisant des outils d'évaluations (examens, projets, etc.) qui ne sont pas identiques d'une session à l'autre. Le présent projet de recherche est donc planifié pour que les deux stratégies pédagogiques soient employées simultanément.

3.2 PRÉSENTATION DU COURS RETENU POUR L'EXPÉRIMENTATION

Dans cette étude, deux groupes du cours MEC423 de l'automne 2021 sont comparés. Ce cours intitulé « Méthode des éléments finis des corps déformables » est obligatoire dans le programme de génie mécanique de l'ÉTS. Il permet aux étudiants d'apprendre les fondements théoriques de la méthode des éléments finis et de se familiariser avec un logiciel commercial. À la fin du cours, les étudiants sont en mesure d'étudier et d'optimiser des structures et des composantes de machines supportant des charges mécaniques et thermiques. Le cours MEC423 est offert entre huit et dix fois par année de manière répartie

sur les trois sessions d'un cycle universitaire (hiver, été et automne). Ce cours est situé dans le parcours académique à la quatrième session d'un programme qui en compte huit (sans compter les trois sessions où les étudiants sont en stage en entreprise). C'est donc dire que ce cours est suivi au milieu des études de baccalauréat. Avec ses quatre crédits, il prévoit une charge hebdomadaire de douze heures, incluant trois heures de cours dans une salle de classe standard et trois heures de travaux pratiques dans un laboratoire informatique.

Le cours MEC423 s'avère être un choix judicieux pour la présente étude pour deux raisons. Premièrement, il se prête bien à être inversé puisqu'il vise essentiellement à faire acquérir aux étudiants des savoirs procéduraux qui peuvent être déplacés relativement facilement à l'extérieur des séances de cours, à la condition d'avoir du matériel pédagogique adapté (notes de cours, vidéos, etc.). Durant les séances de cours, les étudiants peuvent ainsi participer à des activités d'apprentissage en équipe centrées sur la résolution de problèmes complexes, c'est-à-dire simuler le comportement mécanique de structures et de composantes de machines, et cela en profitant au besoin de l'assistance et de l'expertise de l'enseignant. Deuxièmement, c'est le professeur Terriault qui est l'enseignant des deux groupes à l'automne 2021, surtout parce qu'il a déjà une expérience significative dans l'enseignement du cours MEC423 offert autant en classe traditionnelle qu'en classe inversée. En effet, avant la session d'automne 2021, il a donné le cours MEC423 en classe traditionnelle à une vingtaine de reprises entre les années 2007 et 2016 et le même cours en classe inversée à huit reprises entre les années 2019 et 2021 (cinq groupes en présentiel aux sessions d'hiver et d'automne 2019 et trois groupes à distance aux sessions d'été 2020 et d'hiver 2021). Il est donc possible d'affirmer que les deux stratégies pédagogiques ont suffisamment été employées au fil du temps pour pouvoir être comparées sans introduire un biais systématique causé par l'appropriation d'une stratégie pédagogique qui n'est pas encore bien rodée.

Le premier groupe a suivi le cours offert en classe inversée, tandis que l'autre l'a suivi en classe traditionnelle. Les éléments suivants ont été identiques entre les classes :

- Encadrement des étudiants lors des séances de cours théoriques par le même professeur ayant une expérience significative avec l'enseignement de MEC423 en classes traditionnelle et inversée;
- Encadrement des étudiants lors des séances de travaux pratiques par le même auxiliaire d'enseignement;

- Contenu et déroulement des séances de travaux pratiques où les étudiants apprennent à utiliser le logiciel d'éléments finis ANSYS;
- Projet de session réalisé individuellement à la maison;
- Matériel pédagogique rendu disponible aux étudiants des deux groupes :
 - 12 chapitres de notes de cours rédigés par le professeur présentant le contenu théorique du cours, des exemples résolus et des exercices;
 - 29 capsules vidéo dans lesquels les chapitres des notes de cours sont résumés, certains exercices théoriques sont résolus et des démonstrations avec le logiciel ANSYS sont présentées;
- Éléments d'évaluation prévus au plan de cours :
 - Trois examens intra de deux heures chacun organisés durant la session lors desquels les étudiants devaient résoudre des problèmes théoriques en répondant de manière manuscrite dans un cahier d'examen (examens évalués sur 55 points);
 - Dix quiz hebdomadaires de 3 minutes chacun où les étudiants devaient répondre sur le site Moodle du cours à deux questions à choix multiples aléatoirement tirées d'une banque de questions en lien avec la compréhension de la matière théorique du cours (quiz évalués sur 10 points);
 - Un examen final pratique de deux heures organisé durant la semaine des examens finaux où les étudiants devaient réaliser des analyses par éléments finis avec le logiciel ANSYS (examen évalué sur 20 points);
 - Un projet réalisé individuellement à la maison durant les cinq dernières semaines de la session où les étudiants devaient utiliser le logiciel ANSYS pour optimiser la masse d'une composante mécanique (projet évalué sur 15 points).

Le seul élément qui est différent entre les deux classes concerne le déroulement des séances théoriques de cours qui est dicté par la stratégie pédagogique retenue pour chaque groupe. Ce déroulement pour la classe inversée est :

- Avant une séance, les étudiants doivent lire un chapitre des notes de cours, bien assimiler les exemples résolus qui y sont présentés, visionner des capsules vidéo et passer un quiz hebdomadaire dans les trois jours qui précèdent la séance.

- Durant une séance, le professeur anime un plénum pour répondre aux questions des étudiants et pour clarifier les notions qui ont été mal comprises. Par la suite, les étudiants se regroupent en petites équipes pour participer à des ateliers de travail afin de résoudre des exercices. Le professeur passe d'une équipe à l'autre pour discuter avec les étudiants et corriger toute compréhension erronée de la matière.

Le déroulement typique d'une séance théorique de cours en classe traditionnelle est :

- Durant une séance, le professeur fait un exposé pour présenter le contenu d'un chapitre et faire la solution détaillée d'exemples résolus. Pendant l'exposé, les étudiants peuvent poser des questions à n'importe quel moment.
- Après une séance, les étudiants lisent les chapitres, résolvent les exercices et passent le quiz hebdomadaire dans les trois jours qui suivent la séance.

3.3 RÉPARTITION DES PARTICIPANTS ENTRE LES GROUPES

Lors de leur inscription au cours MEC423 de l'automne 2021, les étudiants ont dû choisir un groupe parmi les deux possibilités offertes :

- Groupe 1 :
 - Séances de trois heures de cours théoriques : mercredi après-midi;
 - Séances de trois heures de travaux pratiques : mardi après-midi;
- Groupe 2 :
 - Séances de trois heures de cours théoriques : mardi après-midi;
 - Séances de trois heures de travaux pratiques : jeudi matin.

Le blocage d'une plage horaire commune aux deux groupes (mardi après-midi) a été volontairement réalisé afin de pouvoir soumettre simultanément tous les participants aux mêmes évaluations.

Au moment de l'inscription, les étudiants ne savaient pas que la stratégie pédagogique était différente entre les groupes, en l'occurrence la classe inversée pour le groupe 1 et la classe traditionnelle pour le groupe 2. Cette façon de procéder a donc permis de se rapprocher d'une répartition aléatoire des participants entre les deux groupes et du même coup d'une recherche expérimentale. Les plages horaires retenues ont été choisies pour que les activités se déroulent à des moments comparables dans la semaine.

Un biais aurait pu être introduit si par exemple les séances de cours d'un groupe avaient été planifiées à une plage horaire moins prisée par les étudiants, un soir de semaine ou la fin de semaine par exemple. Ceci aurait pu affecter la motivation des étudiants et biaiser la qualité des données collectées.

Une toute autre approche a été sérieusement considérée pour collecter les données et elle aurait consisté à exposer chacun des groupes aux deux stratégies pédagogiques. Ceci aurait pu être orchestré de la manière suivante :

- Groupe 1 :
 - Première moitié de la session : classe traditionnelle;
 - Deuxième moitié de la session : classe inversée;
- Groupe 2 :
 - Première moitié de la session : classe inversée;
 - Deuxième moitié de la session : classe traditionnelle.

Cependant, cette possibilité a finalement été écartée en vertu de la recommandation de Mason et al. (2013) reprise par Guilbault et Viau-Guay (2017). Ces auteurs affirment que les bienfaits de la classe inversée prennent au moins quatre semaines à se manifester, probablement le temps nécessaire pour que les étudiants s'adaptent à cette nouvelle façon d'apprendre. Considérant que i) une session à l'ÉTS prévoit 13 séances de cours théorique, ii) la première séance du cours MEC423 sert exclusivement à présenter le plan de cours et à réviser des notions préalables vues préalablement, iii) la dernière semaine est réservée pour des consultations en lien avec le projet de session et l'examen final et iv) une séance de cours est consacrée à la tenue d'un examen durant la session, il ne reste dans les faits que dix semaines de cours. Chaque groupe serait donc exposé à la classe inversée pendant cinq semaines et il en aurait fallu au moins quatre pour commencer à observer des bénéfices. Puisque le risque de brouiller les données collectées est trop prononcé à cause d'une exposition trop courte à la classe inversée, il a été décidé d'exposer chacun des groupes à une seule stratégie pédagogique pendant la session.

3.4 RECRUTEMENT DES PARTICIPANTS

Les participants ont été recrutés lors de la première séance de cours de la session. C'est à ce moment que les étudiants ont été informés de la réalisation de la présente étude et de la stratégie pédagogique retenue pour leur groupe. Une copie du formulaire d'information et de consentement, dont une copie se trouve à l'annexe B, a été distribuée à chaque étudiant. Le document a été lu et commenté par le professeur en

présence d'une assistante de recherche. Les étudiants ont été invités à poser des questions pour clarifier certains aspects qui leur semblaient ambigus. Une fois toutes les questions répondues, le professeur a quitté la salle de classe et l'assistante de recherche a répondu à d'autres questions et récupéré les formulaires signés par les étudiants qui se sont portés volontaires à participer à l'étude. La prise en charge de cette étape par l'assistante de recherche s'est avérée nécessaire afin d'éviter que le professeur soit en mesure d'identifier les étudiants qui ont choisi ou non de participer à l'étude.

La taille des groupes du cours MEC423 est normalement limitée à environ 40 étudiants, à cause du nombre d'ordinateurs dans les laboratoires informatiques. Pour la session d'automne 2021, la taille des groupes a été significativement réduite pour permettre aux étudiants de suivre le cours en présentiel malgré la pandémie de Covid-19, et cela en respectant des mesures de distanciation physique dans les salles de classe. Des groupes de 26 étudiants ont donc été formés, ce qui porte à 52 le nombre maximum de participants à l'étude. De ce nombre, 41 se sont portés volontaires et ont été retenus à titre de participants. Les onze autres étudiants n'ont pas participé à l'étude en vertu des critères d'exclusion suivants :

- Six étudiants n'ont pas signé le formulaire de consentement, soit parce qu'ils étaient absents à la première semaine de cours ou parce qu'ils ont refusé de participer à l'étude.
- Un étudiant a procédé à un changement de groupe après la première séance de cours, ce qui s'apparente à un choix délibéré de la stratégie pédagogique par l'étudiant plutôt qu'une assignation aléatoire de celle-ci.
- Un étudiant reprenait le cours à la suite d'un échec ou un abandon lors d'une session antérieure. Cet étudiant avait donc déjà été en contact avec la matière du cours.
- Trois étudiants ont été exclus de l'étude *a posteriori*, faute d'avoir rempli adéquatement leur feuille de temps (voir la section 3.5.3 pour les détails relatifs à ce document).

Au final, l'étude compte 41 participants, soit 21 dans la classe inversée et 20 dans la classe traditionnelle.

3.5 DESCRIPTION DES DONNÉES COLLECTÉES

Les données qui ont été collectées tout au long de l'automne 2021 peuvent être regroupées en quatre catégories : démographiques, performances académiques, temps consacré aux études et perception étudiante.

3.5.1 Données démographiques

Certaines données démographiques ont été collectées principalement pour quantifier la « force » des étudiants ou pour exclure certains d'entre eux dont le profil pourrait contaminer les données collectées.

La moyenne cumulative des étudiants a été colligée afin d'estimer leur force académique. La moyenne cumulative est une valeur numérique pouvant atteindre un maximum de 4.3. La moyenne cumulative est calculée à partir de la cote obtenue dans les cours du programme suivis antérieurement, du nombre de crédits associés à ces cours et de la valeur numérique associée à chaque cote, soit A+ = 4.3, A = 4.0, A- = 3.7, B+ = 3.3, B = 3.0, B- = 2.7, C+ = 2.3, C = 2, C- = 1.7, D+ = 1.3, D = 1 et E = 0. Un étudiant qui échoue un cours se voit attribuer la cote E, alors que l'enseignant attribue aux étudiants qui réussissent un cours une cote comprise entre A+ et D. Pour pouvoir poursuivre ses études, un étudiant doit maintenir une moyenne cumulative supérieure à 2.0, sans quoi il est passible d'être exclu de l'ÉTS. Conséquemment, les participants à l'étude ont nécessairement une moyenne cumulative comprise entre 2.0 et 4.3.

Il a été demandé aux étudiants de fournir leur moyenne cumulative au moment de consentir à participer à l'étude lors de la première séance de cours en signant le formulaire d'information et de consentement (voir la page 5 de 5 à l'annexe B). Or, lors de la saisie des données par l'assistante de recherche, cette dernière s'est rendue compte qu'il y avait certaines anomalies. En effet, il y avait trop de valeurs arrondies à 2.5, 3.0, 3.5 et 4.0. Les étudiants ont fourni une moyenne cumulative approximative plutôt qu'une valeur précise. Il a donc été demandé au comité d'éthique de la recherche de l'ÉTS la permission d'obtenir la moyenne cumulative des participants à partir du dossier étudiant, ce qui a été accordé. L'assistante de recherche a donc remis la liste des participants à une adjointe administrative du département de génie mécanique de l'ÉTS qui a ensuite extrait la moyenne cumulative de chaque étudiant. Les valeurs obtenues sont donc nettement plus précises et ce sont celles-ci qui sont employées dans le traitement des données présentées au prochain chapitre.

Une autre question a été posée aux étudiants pour exclure de l'étude ceux qui ont déjà suivi en totalité (échec) ou en partie (abandon) le cours MEC423 dans le passé et qui le reprenne à l'automne 2021. Le but est de retirer de l'étude ceux qui ont déjà été mis en contact avec la matière du cours, puisque nous croyons que ces acquis antérieurs risquent d'impacter les résultats de l'étude sans qu'il soit possible de prendre ce facteur en considération dans l'analyse des résultats. La question a été explicitement posée

aux étudiants au moment de signer le formulaire de consentement afin de s'assurer qu'aucun participant n'a échoué ou abandonné le cours MEC423 dans le passé.

Un autre critère d'exclusion concerne le changement de groupe. Tout étudiant anxieux ou insatisfait de la stratégie pédagogique employée dans son groupe pouvait procéder à un changement de groupe. Ceci est permis par l'article 5.11 du Règlement des études de premier cycle de l'ÉTS¹³ qui, évidemment, a préséance sur toute considération méthodologique liée au présent projet de recherche. Cette information ne pouvait pas être fournie par l'étudiant lors de la signature du formulaire de consentement, car le changement de groupe pouvait survenir ultérieurement. Sans procéder officiellement à un changement de groupe, un étudiant aurait pu aussi assister aux séances de cours du groupe qui n'est pas le sien. Dans une telle situation, il devient donc impossible d'associer une stratégie pédagogique (classe inversée ou traditionnelle) à un étudiant qui a été partiellement exposé aux deux durant la session. C'est en remplissant un sondage (une description plus exhaustive de celui-ci est effectuée à la section 3.5.4) lors de la dernière séance de cours que les étudiants ont pu indiquer s'ils ont assisté à des séances de cours dans l'autre groupe durant la session. Un seul étudiant a été exclu pour cette raison.

Aucune autre donnée démographique n'a été collectée en ce qui a trait à l'âge, au sexe, à la nationalité ou au chemin universitaire ou collégial antérieur des participants. Les objectifs de recherche ne visent aucunement à étudier l'impact de la stratégie pédagogique sur l'efficacité des étudiants en fonction de telles caractéristiques.

3.5.2 Données liées à la performance académique

Le volet « maximisation des résultats » dans le calcul de l'indicateur d'efficacité repose sur les notes aux différents éléments d'évaluation prévus au plan de cours énumérés à la section 3.2. Le tableau 3.1 précise les caractéristiques de ces évaluations qui sont toutes réalisées individuellement. La colonne de ce tableau intitulée « Niveaux » fait référence aux niveaux de la taxonomie révisée de Bloom qui doivent être mobilisés par les étudiants. Lors des examens intra et final, les étudiants doivent essentiellement résoudre des problèmes en appliquant la méthode des éléments finis (3. Appliquer) en plus d'analyser les données du problème et les résultats calculés (4. Analyser). De leur côté, les quiz hebdomadaires sont planifiés pour

¹³ <https://www.etsmtl.ca/docs/Etudes/Premier-cycle/Documents/Reglements-etudes-1er-cycle>

inciter les étudiants à se tenir à jour dans la matière du cours. Les questions des quiz sont conçues pour qu'un étudiant qui a assisté à l'exposé de l'enseignant (classe traditionnelle), lu un chapitre des notes de cours (classe inversée) ou consulté les capsules vidéo soit en mesure de facilement répondre aux questions à choix multiples en faisant intervenir des processus cognitifs de niveaux inférieurs (1. Mémoriser ou 2. Comprendre). Enfin, le projet est une évaluation authentique qui demande aux étudiants de concevoir une pièce pour supporter des charges mécaniques et d'en minimiser la masse dans le cadre d'un processus itératif. Il s'agit d'un processus créatif dont les actions sont de hauts niveaux cognitifs selon la taxonomie révisée de Bloom (5. Évaluer et 6. Créer)

Tableau 3.1 Caractéristiques des éléments d'évaluation

Éléments d'évaluation	Pondération	Niveaux	Influence
Dix quiz hebdomadaires	10 %	1 et 2	Oui
Trois examens intra	55 %	3 et 4	Oui
Projet	15 %	5 et 6	Oui
Examen final	20 %	3 et 4	Non

La colonne du tableau 3.1 intitulée « Influence » indique si l'élément d'évaluation peut être influencé par la stratégie pédagogique employée dans chaque groupe. En effet, les éléments d'évaluation qui reposent sur les notions et concepts abordés durant les séances théoriques de cours sont donc susceptibles d'être influencés par la stratégie pédagogique différente entre les groupes, ce qui est le cas des examens intra, des quiz hebdomadaires et du projet. En ce qui a trait à l'examen final, les étudiants doivent démontrer leur compétence avec le logiciel ANSYS pour effectuer des simulations numériques. Puisque l'apprentissage de ce logiciel est réalisé durant les séances de travaux pratiques dont le déroulement est identique entre les deux groupes (réalisation d'exercices sous la supervision de l'auxiliaire d'enseignement), l'influence de la stratégie pédagogique lors des séances de cours est pratiquement nulle. Conséquemment, pour évaluer l'efficacité, seulement les éléments d'évaluation qui ont été influencés par la stratégie pédagogique sont pris en compte.

Les examens intra et le projet ont été corrigés par le professeur, tandis que l'examen final l'a été par un auxiliaire d'enseignement. Les quiz hebdomadaires ont été corrigés automatiquement en paramétrant l'environnement numérique d'apprentissage Moodle à cet effet. Lors de la correction du projet et des examens, toutes les copies ont été aléatoirement mélangées de telle sorte que le correcteur n'était pas

en mesure de savoir si la copie provenait d'un étudiant de la classe inversée ou de la classe traditionnelle. Cette façon de procéder a permis d'éviter l'introduction d'un biais qui aurait pu se manifester si toutes les copies d'un groupe avaient été corrigées avant celles de l'autre groupe.

3.5.3 *Données liées au temps consacré aux études*

Le volet « minimisation des moyens » lié au concept d'efficacité repose sur le temps total consacré aux activités d'apprentissage du cours MEC423, ce qui inclut autant le temps passé en classe durant les séances de cours et de travaux pratiques que le temps d'étude à la maison. Pour simplifier le texte, le temps d'étude à la maison concerne tout le travail personnel réalisé à l'extérieur des heures de cours et de travaux pratiques. Évidemment, si un étudiant réalise des activités d'apprentissage à la bibliothèque ou à la cafétéria de l'université, ce temps est considéré comme faisant partie du temps à la maison même si l'étudiant ne s'y trouve physiquement pas. Ces données sont collectées par l'entremise d'une feuille de temps que les étudiants remplissent hebdomadairement lorsqu'ils assistent aux séances de cours. La feuille de temps (voir l'annexe C) permet aux étudiants d'indiquer le nombre d'heures consacrées aux activités du cours MEC423 au courant de la semaine précédente, c'est-à-dire le nombre d'heures de présence aux séances de cours et de travaux pratiques ainsi que le temps d'étude à la maison ventilé en différentes catégories (lecture des notes de cours, visionnement des capsules vidéo, résolution d'exercices, réalisation du projet, etc.). Pour éviter que le professeur soit en mesure d'identifier les étudiants qui participent à l'étude, c'est l'assistante de recherche qui s'est présentée en classe chaque semaine pour distribuer, faire remplir et récupérer les feuilles de temps. Le professeur a systématiquement quitté les lieux lorsque les étudiants ont indiqué le temps consacré aux études de la semaine précédente, ce qui a nécessité environ 5 minutes. Pour quantifier le temps d'étude à la maison entre la dernière séance de cours et l'examen final, l'assistante de recherche s'est rendue dans le local de l'examen final pour distribuer, faire remplir et récupérer les feuilles de temps pour la dernière fois.

3.5.4 *Données visant à identifier les facteurs de différenciation*

Le cadre théorique fondé sur les théories de l'autodétermination et de la charge cognitive 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 audiovisuel 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, grâce au 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.

Pour évaluer dans quelle mesure chacun de ces facteurs permet d'expliquer les différences observées entre les classes traditionnelle et inversée, les étudiants ont été sondés lors de la dernière séance de cours. Le sondage distribué à chacun des groupes est fourni à l'annexe D. Les deux versions du sondage abordent 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 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 entraîne automatiquement l'exclusion de ce participant à l'étude. Les cinq questions suivantes (questions 2 à 6 inclusivement) sont en directe 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.

Les étudiants ont ainsi été appelés à préciser, par l'entremise d'une échelle de Likert à neuf niveaux, leur degré d'accord ou de désaccord face à des affirmations. Le sondage se termine avec une question supplémentaire qui demande aux étudiants dans quelle mesure ils ont été satisfaits de l'ensemble du cours. Cette dernière question relève davantage d'une curiosité que d'une donnée à être traitée dans le cadre de ce projet. Concrètement, le tableau 3.2 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 différenciées (2, 3 et 4a).

Tableau 3.2 Questions posées aux étudiants de chaque classe

Question	Classe inversée	Classe traditionnelle
1	Avez-vous assisté à des séances de cours dans un autre groupe de MEC423 ?	
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 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 du professeur.
4a	Je me sentais compétent pour réussir les examens après avoir lu les notes de cours et visionné les vidéos.	Je me sentais compétent pour réussir les examens après avoir assisté aux exposés du professeur
4b	Je me sentais compétent 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 du cours MEC423.	

Le remplissage du sondage par les étudiants a été réalisé dans la même façon que celui des feuilles de temps, c'est-à-dire que c'est l'assistante de recherche qui les a distribués et récupérés pendant que le professeur avait quitté la salle de classe. La raison d'être de ce sondage est de récolter des données préliminaires concernant l'identification des facteurs qui pourraient expliquer la différence d'efficacité entre les étudiants des deux classes, et cela dans le but d'atteindre le troisième objectif spécifique décrit antérieurement. D'éventuelles initiatives de plus grande envergure pourraient ainsi bénéficier de ces résultats préliminaires en utilisant des sondages comportant plus de questions (augmentation de la validité interne de l'outil de mesure) ou des entretiens individuels ou de groupe.

3.6 CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES

Puisque les rôles de professeur et de chercheur ont été simultanément remplis par la même personne pendant la phase de collecte des données, un enjeu éthique surgit nécessairement, soit le rapport d'autorité entre le professeur-chercheur et les étudiants. Ce rapport d'autorité est engendré par l'échantillonnage de convenance que Gaudreau (2011) décrit comme suit :

Les individus choisis pour former l'échantillon se trouvent dans l'entourage personnel du chercheur, dans son environnement immédiat ; ils s'avèrent facilement accessibles et disponibles. [...] Cependant, les résultats de recherche basés sur un échantillon de convenance possèdent peu de valeur scientifique ; la recherche se révèle alors fragile et ses résultats, peu probants (p. 109).

Nous reconnaissons qu'il existe des échantillonnages qui pourraient être méthodologiquement plus rigoureux. La solution idéale aurait été qu'un autre enseignant accepte d'offrir un cours la même session à deux groupes différents en employant une stratégie pédagogique différente dans chaque groupe. L'auteur de ce mémoire aurait pu intervenir exclusivement en tant que chercheur qui procède à la collecte et à l'analyse des données. Malheureusement, un tel scénario n'a pu se concrétiser puisqu'aucun autre enseignant de son entourage n'a accepté d'enseigner avec des contraintes aussi particulières. Nous croyons néanmoins que l'échantillonnage retenu est adéquat dans le sens où il permet de collecter des données dont la valeur scientifique est optimale. En effet, en contrôlant la totalité des aspects académiques dans les deux groupes (uniformité du matériel pédagogique proposé aux étudiants, déroulement des activités d'apprentissage, examens identiques offerts simultanément aux deux groupes, enseignant unique possédant une expérience avec les deux stratégies pédagogiques, etc.), nous estimons que les avantages surpassent les inconvénients liés à un échantillonnage de convenance. Ce choix méthodologique est d'ailleurs en accord avec la recommandation de Lo et Hew (2019) qui affirment que le niveau de contrôle est accru lorsque le même enseignant prend en charge les deux groupes, ce qui serait difficilement réalisable si un autre type d'échantillonnage était retenu.

Pour minimiser, voire éliminer, les inconvénients du rapport d'autorité engendré par l'échantillonnage de convenance, une assistante de recherche a été embauchée afin de prendre en charge la collecte des données. Cette collecte a été orchestrée pour que le professeur ne soit pas en mesure, pendant la session, d'identifier les étudiants qui participent ou non à l'étude ni d'associer des données collectées à un étudiant en particulier. Il est possible d'y arriver en collectant les données exclusivement par des documents sur

papier et en octroyant la responsabilité de la collecte de données à une assistante de recherche. La figure 3.1 schématise le processus de la collecte de données employée dans l'étude.

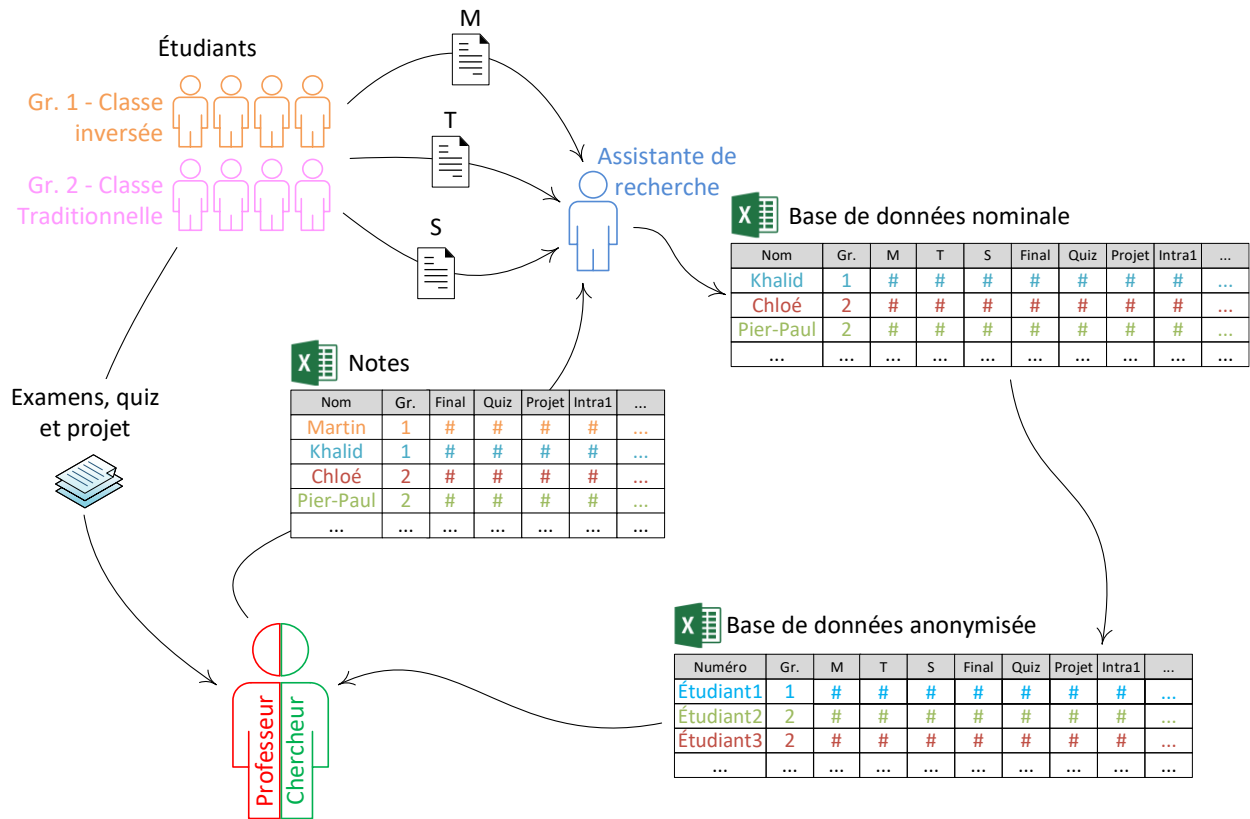


Figure 3.1 Schématisation du processus de collecte de données faisant intervenir les étudiants, le professeur-chercheur et l'assistante de recherche

Tout au long de la session, l'assistante de recherche s'est présentée devant les étudiants pour la collecte des données suivantes :

- Moyenne cumulative des participants obtenue lors de la première séance de cours de la session (document M à la figure 3.1);
- Feuille de temps hebdomadaire remplie durant la session (document T);
- Sondage rempli par les étudiants lors de la dernière séance de cours (document S).

L'assistante de recherche a colligé toutes les données dans un chiffrier Excel appelé « Base de données nominale » à la figure 3.1. Parallèlement, l'équipe d'enseignants a procédé à la correction des différents éléments d'évaluation du cours (examen final, examens intra, projet et quiz). Un second chiffrier Excel, appelé « Notes », a été construit par le professeur comprenant la note de tous les étudiants,

participants à l'étude ou non, aux différentes évaluations. Une fois la session terminée, ce chiffrier a été remis à l'assistante de recherche qui l'a fusionné à la base de données nominale. À cette étape, les notes des étudiants qui ne se sont pas portés volontaires ou ceux qui ont été exclus de l'étude ont simplement été ignorées par l'assistante de recherche (c'est le cas de l'étudiant fictif appelé Martin à la figure 3.1). Une nouvelle base de données anonymisée a ensuite été générée par l'assistante de recherche qui a remplacé les noms de participants par un numéro (Étudiant1, Étudiant2, etc.) et réordonné aléatoirement les participants dans le chiffrier. Une fois la session terminée, les notes finales publiées et la date limite pour demander une révision de la note échue, la base de données anonymisée a été remise au chercheur afin qu'il procède à l'analyse des résultats. De cette façon, les participants n'ont eu aucun avantage et les étudiants qui n'ont pas participé à l'étude n'ont subi aucun préjudice.

3.7 SYNTHÈSE

Dans ce projet de recherche, l'efficacité des étudiants d'une classe inversée est comparée à celle des étudiants d'une classe traditionnelle. Pour y arriver, deux groupes d'étudiants ont suivi un cours à la même session et ont réalisé simultanément diverses évaluations. Les données collectées correspondent aux notes obtenues aux différentes évaluations ainsi que le temps consacré aux études autodéclaré hebdomadairement par les étudiants. De plus, à la fin de la session, les étudiants ont été appelés à remplir un court sondage pour tenter d'identifier les causes pouvant expliquer les différences observées au niveau des données collectées dans les deux classes. Enfin, pour éviter tout rapport d'autorité du professeur sur les participants volontaires au projet de recherche, toutes les données sont collectées de manière anonyme par une assistante de recherche.

CHAPITRE 4 - PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS

Pour le traitement statistique des données, la version 26.0 du logiciel *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) développé par la firme IBM est employée. La première section de ce chapitre est consacrée à l'analyse globale de la répartition des participants dans chaque classe afin de vérifier dans quelle mesure les deux classes sont similaires et comparables. En ce qui a trait aux sections subséquentes traitant des notes, du temps consacré aux études ainsi que de l'indice d'efficacité, diverses analyses statistiques sont employées. Puisque le nombre de participants est relativement restreint, un nuage de points sera d'abord employé pour présenter l'ensemble des données collectées. Des corrélations linéaires seront calculées et visuellement représentées par des droites sur les nuages de points. Ensuite, des analyses de variances (ANOVA) factorielles 2x3 seront employées. Le premier facteur est la classe et il peut prendre deux niveaux : inversée ou traditionnelle. Le second facteur est la moyenne cumulative des étudiants permettant de les regrouper en fonction leur force académique. Trois niveaux sont employés pour ce facteur : faible, intermédiaire et forte. Ces niveaux sont établis en divisant en trois segments égaux la plage des possibilités de la moyenne cumulative des étudiants qui peut être comprise entre 2 et 4,3. Le tableau 4.1 montre les six regroupements d'étudiants libellés R1 à R6 ainsi formés.

Tableau 4.1 Représentation des regroupements d'étudiants pour les ANOVA

		Moyenne cumulative		
		Faible [2,0 ... 2,76]	Intermédiaire [2,77 ... 3,53]	Forte [3,54 ... 4,3]
Classe	Inversée	R1	R2	R3
	Traditionnelle	R4	R5	R6

Il est à noter que toutes les hypothèses énumérées par Pallant (2020) relatives aux tests statistiques employés ont été systématiquement vérifiées, notamment en ce qui a trait à la normalité de la distribution des données et à l'homogénéité des variances. Lorsque des différences statistiquement significatives sont observées dans les ANOVA factorielles au niveau de la moyenne cumulative, un test *post-hoc* de Bonferroni est employé pour identifier les groupes qui diffèrent des autres. Selon Lee et Lee (2018), le choix de ce test *post-hoc* est un bon compromis entre les erreurs de type I et II qui peuvent survenir dans le traitement statistique des données. Pour faciliter la lecture des prochaines sections, une formulation allégée est employée pour décrire les différents regroupements d'étudiants. Ainsi, lorsqu'il est question des « étudiants forts », il s'agit en fait des « étudiants dont la moyenne cumulative est qualifiée de forte ».

Un raccourci similaire est employé pour les étudiants intermédiaires ainsi que pour les étudiants faibles. Enfin, le seuil de signification statistique est fixé à la valeur habituellement utilisée, soit $\alpha = ,05$.

4.1 UNIFORMITÉ DES ÉTUDIANTS DANS LES DEUX GROUPES

Le tableau 4.2 montre la répartition des participants dans chacun des six regroupements. On observe une distribution plus homogène dans la classe inversée que dans la classe traditionnelle. Un test du chi-carré est réalisé ($\chi^2(2, N = 41) = 3,0; p = ,223$) et il s'avère que l'hypothèse d'indépendance entre les deux facteurs est vérifiée. Autrement dit, la différence au niveau de la distribution des étudiants forts, intermédiaires et faibles dans chaque classe n'est pas statistiquement significative.

Tableau 4.2 Répartition des effectifs entre les différents regroupements d'étudiants

		Moyenne cumulative			
		Faible	Intermédiaire	Forte	
Classe	Inversée	5	8	8	21
	Traditionnelle	3	13	4	20
		8	21	12	41

La figure 4.1 montre une représentation visuelle de la distribution de la moyenne cumulative des étudiants dans les deux classes en utilisant des boîtes à moustaches. On observe que la médiane (trait noir à l'intérieur de la boîte grisée) et l'étendue (extrémités des moustaches) de la distribution dans la classe inversée sont supérieures à celles de classe traditionnelle.

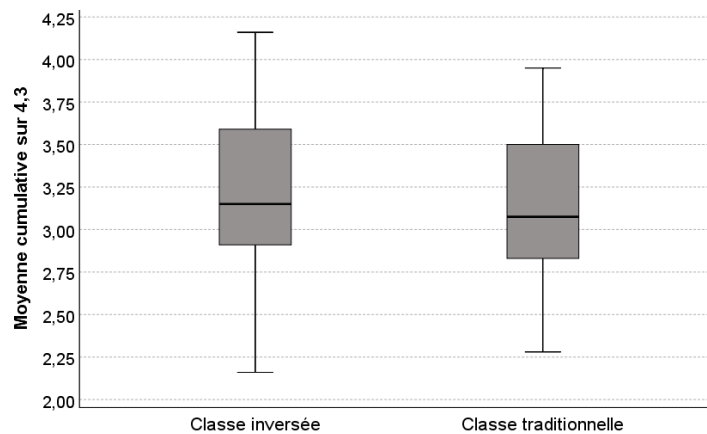


Figure 4.1 Boîtes à moustaches de la moyenne cumulative des étudiants de chaque classe

Un test t est réalisé pour vérifier dans quelle mesure les deux classes sont similaires en ce qui a trait à la moyenne cumulative. Il s'avère 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 ($N = 21$; $M = 3,21$; $s = ,528$) et celle des étudiants de la classe traditionnelle ($N = 20$; $M = 3,14$; $s = ,472$). Considérant ces résultats, il est possible d'affirmer que la répartition des étudiants entre les deux classes relève du hasard. La façon de répartir les étudiants entre les groupes expérimental et témoin en informant les étudiants du projet de recherche après les inscriptions s'est donc avérée être judicieuse.

4.2 PERFORMANCE ACADÉMIQUE

Comme prévu au plan de cours, la performance académique des étudiants a été mesurée à partir des différents outils d'évaluation rapportés au tableau 3.1. Ceux influencés par la stratégie pédagogique (dix quiz hebdomadaires, trois examens et le projet) sont analysés ici en deux temps : d'abord globalement et ensuite séparément pour étudier l'influence de la stratégie pédagogique sur des activités d'apprentissage de niveau cognitif différent selon la taxonomie révisée de Bloom.

4.2.1 Analyse globale des éléments d'évaluation

La figure 4.2 montre le diagramme de dispersion de la note sur 80 points associée à l'ensemble des éléments d'évaluation influencée par la stratégie pédagogique de tous les participants en fonction de leur moyenne cumulative. La corrélation linéaire, représentée par une droite à la figure 4.2, s'avère être statistiquement significative, positive et caractérisée par un effet de grande taille autant pour la classe inversée ($r = ,736$; $p < ,001$) que pour la classe traditionnelle ($r = ,839$; $p < ,001$). Ainsi, plus la moyenne cumulative d'un étudiant est élevée, plus il obtient une meilleure note dans le cours MEC423. Cette tendance est observée autant pour les étudiants de la classe inversée que ceux de la classe traditionnelle.

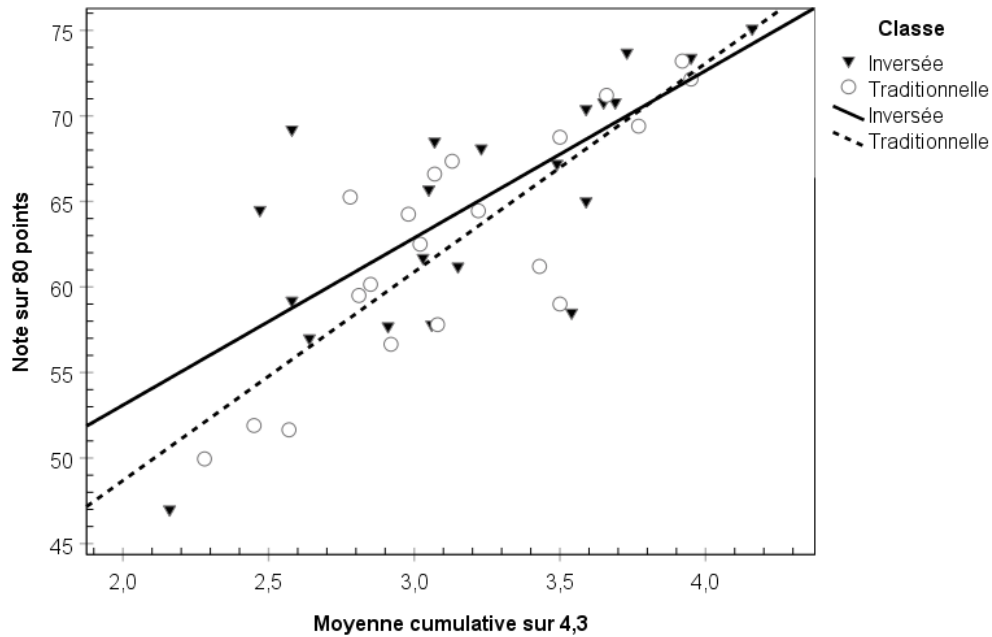


Figure 4.2 Diagramme de dispersion de la note obtenue pour l'ensemble des éléments d'évaluation en fonction de la moyenne cumulative

Une évaluation plus approfondie des différences entre les deux classes repose sur une ANOVA factorielle faisant intervenir les six regroupements d'étudiants décrits antérieurement. La figure 4.3 présente graphiquement la moyenne de la note sur 80 points pour chacun des regroupements d'étudiants. Les résultats de l'ANOVA factorielle 2x3 indiquent que l'interaction entre les deux facteurs ($F(2,35) = 2,452$; $p = ,101$) ainsi que l'effet de la classe ($F(1,35) = 2,081$; $p = ,158$) ne sont pas significatifs. Cependant, il existe un effet statistiquement significatif pour la moyenne cumulative ($F(2,35) = 22,42$; $p < ,001$) avec un effet de grande taille ($\eta^2 = ,562$). De plus, le test *post-hoc* de Bonferroni révèle que les étudiants forts, intermédiaires et faibles forment des regroupements qui sont tous statistiquement différents les uns des autres ($\mu_{\text{forts}} \neq \mu_{\text{intermédiaires}}$, $\mu_{\text{forts}} \neq \mu_{\text{faibles}}$ et $\mu_{\text{intermédiaires}} \neq \mu_{\text{faibles}}$).

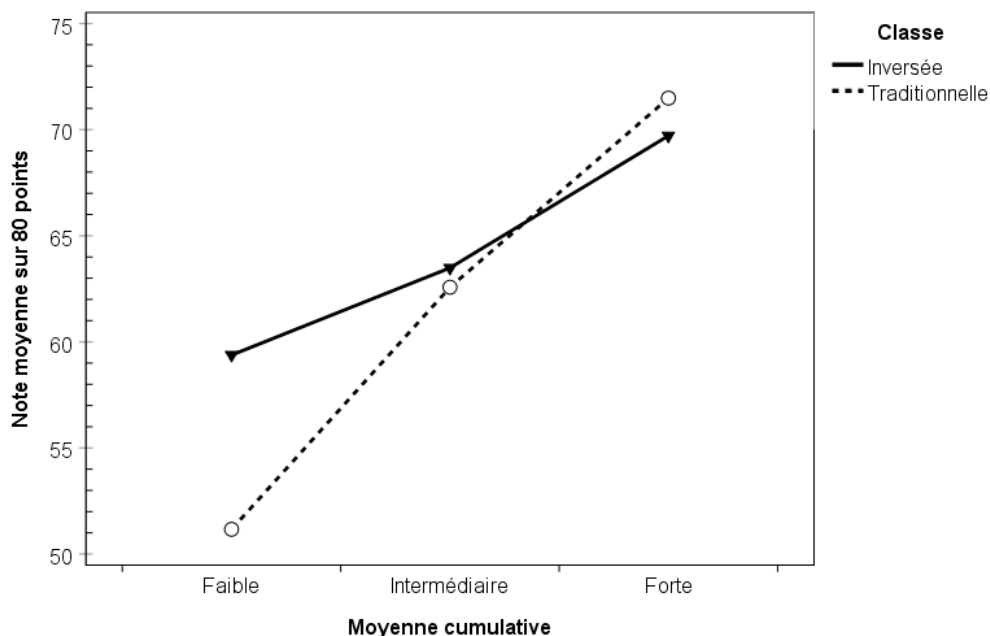


Figure 4.3 Diagramme des interactions pour l'ensemble des notes affectées par la stratégie pédagogique

En observant la figure 4.3, il semble y avoir un effet simple relativement important qui différencie les étudiants faibles de la classe inversée ($N = 5$; $M = 59,4$; $s = 8,4$) et les étudiants faibles de la classe traditionnelle ($N = 3$; $M = 51,2$; $s = 1,1$). Un test t révèle cependant que la différence entre ces deux regroupements d'étudiants n'est statistiquement pas significative ($t(6) = 1,635$; $p = ,153$). Il n'est donc pas possible de conclure que les étudiants faibles de la classe traditionnelle ont obtenu des notes significativement inférieures comparativement à celles de leurs homologues de la classe inversée.

4.2.2 Analyse des éléments d'évaluation selon le niveau cognitif de Bloom

Les éléments d'évaluation employés dans la collecte de données ont forcé les étudiants à mobiliser des processus cognitifs de différents niveaux selon la taxonomie révisée de Bloom. En effet, les étudiants devaient mémoriser et comprendre certains concepts lors des quiz hebdomadaires (niveaux 1 et 2), appliquer la méthode des éléments finis en plus d'analyser le problème et les résultats lors des examens intra (niveaux 3 et 4) et concevoir une structure et en évaluer ses performances lors du projet (niveaux 5 et 6). Les figures 4.4, 4.5 et 4.6 montrent le diagramme de dispersion ainsi que la droite de régression pour ces trois catégories d'évaluation en fonction de la moyenne cumulative des étudiants. Le tableau 4.3 rapporte les coefficients de corrélation de Pearson et la valeur p des corrélations qui existent entre la moyenne cumulative des étudiants et la note obtenue aux trois catégories d'évaluations, et cela pour chacune des deux classes.

Tableau 4.3 Corrélations de Pearson entre la moyenne cumulative des étudiants et la note obtenue aux différentes catégories d'évaluation pour chaque classe

	Quiz hebdomadaires (niveaux 1 et 2)		Examens intra (niveaux 3 et 4)		Projet (niveaux 5 et 6)	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Inversée	,566	,007	,757	< ,001	,292	,199
Traditionnelle	,252	,285	,833	< ,001	,413	,070

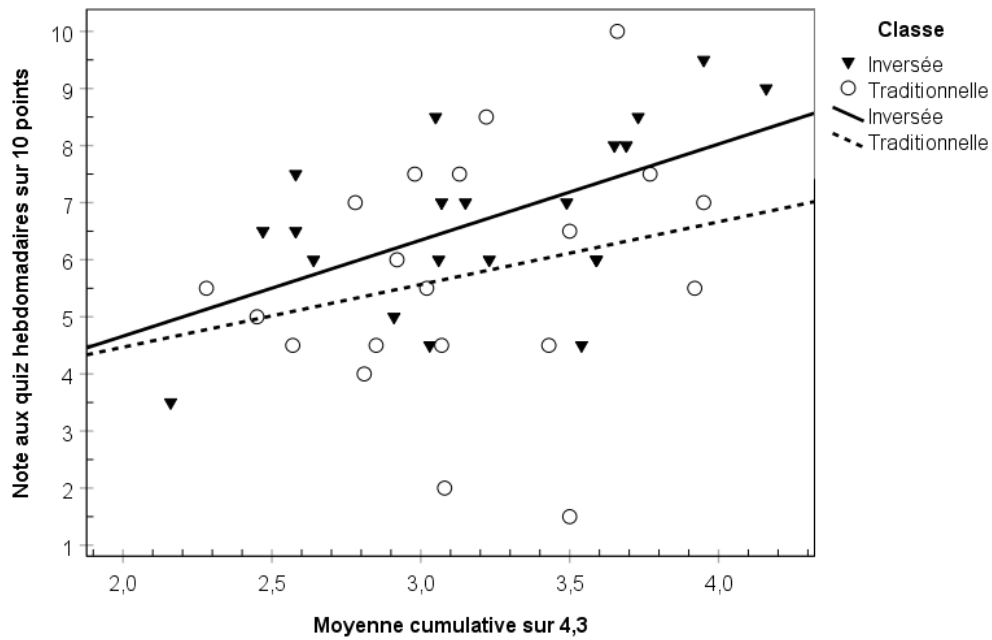


Figure 4.4 Diagramme de dispersion de la note obtenue aux quiz hebdomadaires (niveaux 1 et 2) en fonction de la moyenne cumulative

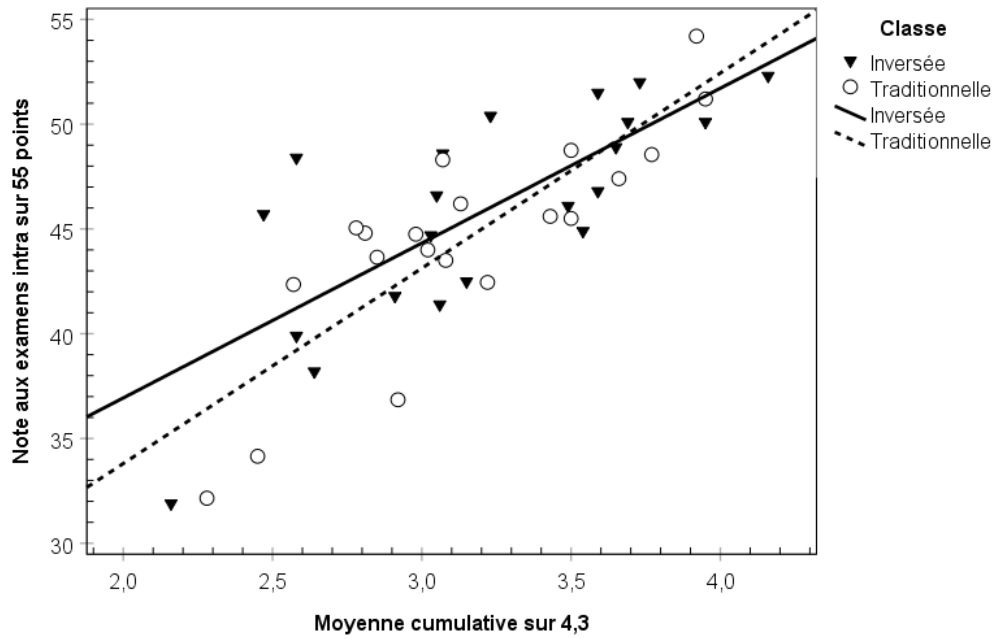


Figure 4.5 Diagramme de dispersion de la note obtenue aux examens intra (niveaux 3 et 4) en fonction de la moyenne cumulative

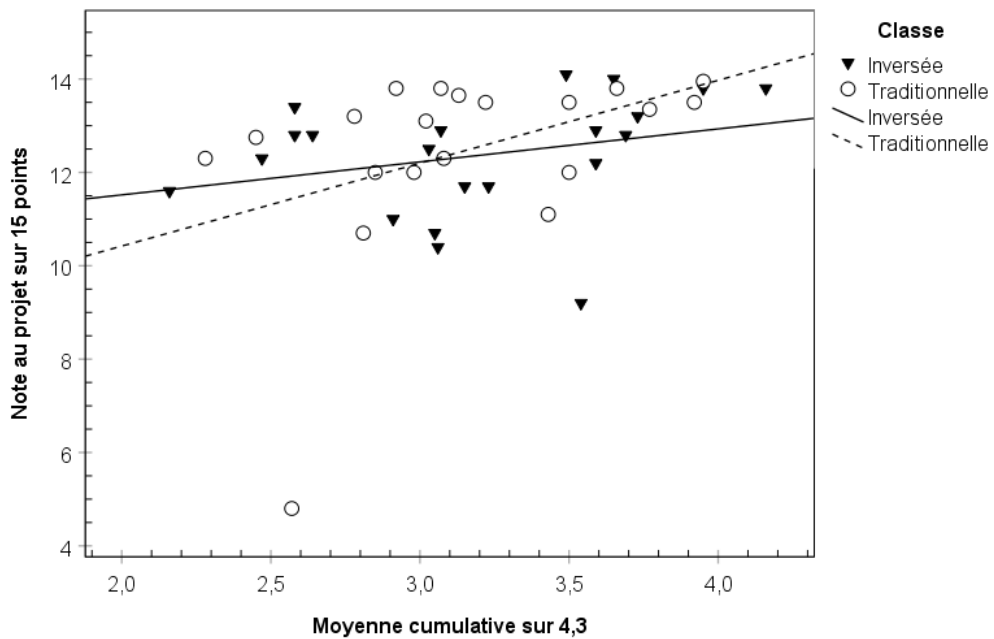


Figure 4.6 Diagramme de dispersion de la note obtenue au projet (niveaux 5 et 6) en fonction de la moyenne cumulative

La moitié seulement des six corrélations rapportées dans le tableau 4.3 sont statistiquement significatives. C'est le cas des deux corrélations qui lient la moyenne cumulative des étudiants à leur note obtenue aux examens intra. Pour les deux classes, sans surprise, cette corrélation est positive. Par contre, la corrélation

entre la moyenne cumulative et la note obtenue au projet n'est pas significative pour aucune des deux classes. Autrement dit, un étudiant faible a obtenu une aussi bonne note qu'un étudiant fort dans le projet. Ceci est probablement attribuable au fait que les étudiants ont disposé de plusieurs semaines pour réaliser le projet à la maison au rythme qui leur convenait, comparativement aux examens intra qui se sont déroulés dans une salle de classe pendant une durée déterminée de deux heures. Conséquemment, un étudiant plus faible pouvait, s'il le souhaitait, consacrer plus de temps au projet pour atteindre les objectifs. Ce constat est appuyé par les données collectées qui montrent que ce sont les étudiants faibles qui ont consacré le plus de temps au projet ($N = 8$; $M = 13,8$ h; $ET = 6,6$ h) devant les étudiants forts ($N = 12$; $M = 12,8$ h; $ET = 7,3$ h) et intermédiaires ($N = 21$; $M = 8,5$ h; $ET = 5,7$ h). En ce qui a trait aux quiz hebdomadaires, la corrélation est significative seulement pour les étudiants de la classe inversée. Pour la classe traditionnelle, tous les étudiants forts, intermédiaires ou faibles ont obtenu des notes similaires aux quiz hebdomadaires.

La comparaison des deux classes est maintenant poussée plus loin en réalisant des ANOVA factorielles 2×3 pour étudier l'influence de la stratégie pédagogique et de la moyenne cumulative sur les trois catégories d'évaluation. Les résultats obtenus sont graphiquement présentés aux figures 4.7, 4.8 et 4.9 et commentés aux paragraphes suivants :

- Quiz hebdomadaires de niveaux taxonomiques 1 et 2 :
 - Interaction non significative ($F(2,35) = ,371$; $p = ,693$),
 - Effet non significatif au niveau de la classe ($F(1,35) = 1,147$; $p = ,292$),
 - Effet significatif et de grande taille au niveau de la moyenne cumulative ($F(2,35) = 3,797$; $p = ,032$; $\eta^2 = ,178$). Le test *post-hoc* de Bonferonni indique que ce sont seulement les étudiants forts qui se démarquent des étudiants intermédiaires et faibles ($\mu_{\text{forts}} \neq \mu_{\text{intermédiaires}} = \mu_{\text{faibles}}$).
- Examens intra de niveaux taxonomiques 3 et 4 :
 - Interaction non significative ($F(2,35) = 1,206$; $p = ,311$),
 - Effet non significatif au niveau de la classe ($F(1,35) = 1,351$; $p = ,253$),
 - Effet significatif et de grande taille au niveau de la moyenne cumulative ($F(2,35) = 21,056$; $p < ,001$; $\eta^2 = ,546$). Le test *post-hoc* de Bonferonni indique que les étudiants forts, intermédiaires et faibles forment des regroupements statistiquement distincts les uns des autres ($\mu_{\text{forts}} \neq \mu_{\text{intermédiaires}}$, $\mu_{\text{forts}} \neq \mu_{\text{faibles}}$ et $\mu_{\text{intermédiaires}} \neq \mu_{\text{faibles}}$).

- Projet de niveaux taxonomiques 5 et 6 :
 - Interaction significative ($F(2,35) = 3,821; p = ,032$). L'interaction provient du fait que les étudiants faibles semblent se comporter différemment dans les deux classes. Pour mieux comprendre l'interaction, les effets simples sont étudiés en réalisant d'autres ANOVA à un facteur. Pour les étudiants seulement de la classe inversée, aucune différence entre les étudiants forts, intermédiaires et faibles n'est observée ($F(2,18) = ,996; p = ,389$). Par contre, pour les étudiants de la classe traditionnelle seulement, une différence significative et de grande taille entre les regroupements d'étudiants ($F(2,17) = ,4,005; p = ,038; \eta^2 = ,320$) est observée. Selon le test *post-hoc* de Bonferonni, la différence se situe exclusivement entre les étudiants forts et faibles de la classe traditionnelle.
 - Effet non significatif au niveau de la classe ($F(1,35) = ,327; p = ,571$),
 - Effet significatif et de grande taille au niveau de la moyenne cumulative ($F(2,35) = 3,496; p = ,032; \eta^2 = ,166$). Le test *post-hoc* de Bonferonni ne met en évidence aucune différence entre les trois regroupements ($\mu_{\text{forts}} = \mu_{\text{intermédiaires}} = \mu_{\text{faibles}}$), ce qui est particulier pour un facteur ayant un effet significatif. Ceci est une conséquence de l'interaction significative discutée plus haut.

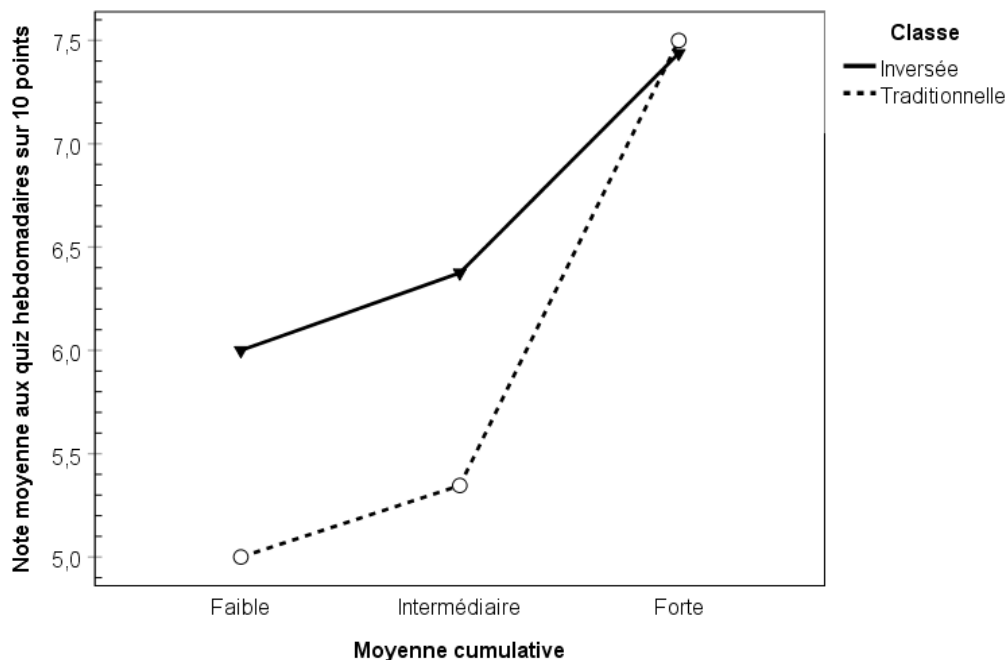


Figure 4.7 Diagramme des interactions pour la note aux quiz hebdomadaires

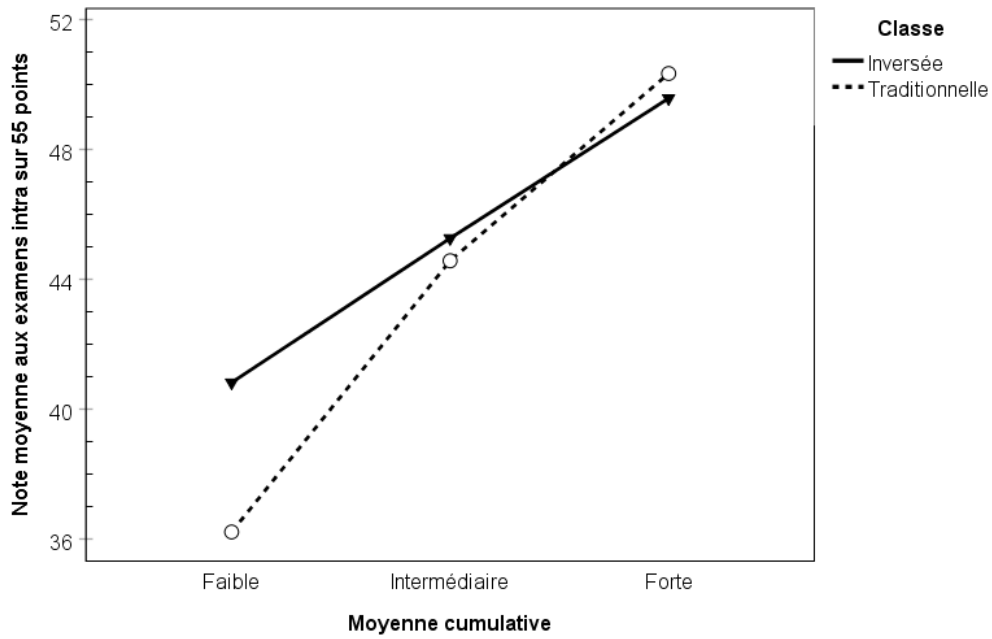


Figure 4.8 Diagramme des interactions pour la note aux examens intra

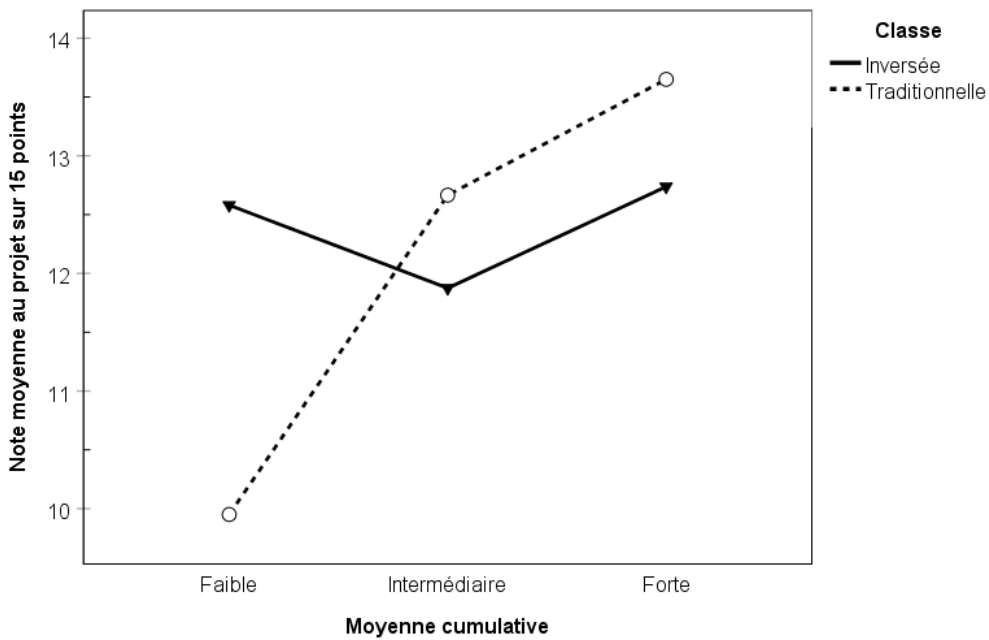


Figure 4.9 Diagramme des interactions pour la note au projet

Sommairement, ce sont les étudiants les plus forts qui obtiennent les meilleurs résultats lors des évaluations à durée déterminée (quiz et examens), ce qui est intuitivement attendu. La seule exception qui a été observée concerne les notes obtenues à la suite de la réalisation du projet. Les étudiants faibles

ont obtenu des notes aussi bonnes que les autres étudiants. Il est cependant hasardeux de conclure que les activités de niveaux cognitifs élevés (5. Évaluer ou 6. Créer) 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. Nous croyons que si un examen intra avait été distribué aux étudiants et que ces derniers avaient disposé par exemple de 24 heures pour le réaliser, la différence entre les étudiants forts, intermédiaires et faibles aurait été éliminée (sans même prendre en considération le risque accru de plagiat).

4.3 TEMPS CONSACRÉ AUX ÉTUDES

Le temps consacré aux études par les étudiants a été autodéclaré hebdomadairement lors du passage de l'assistante de recherche pendant les séances de cours. Le temps traité ici correspond au temps consacré aux activités d'apprentissage influencées par la stratégie pédagogique employée dans chaque classe. Ce temps est estimé en retranchant du temps total le temps de présence lors des séances de travaux pratiques ainsi que le temps consacré à la préparation de l'examen final. La figure 4.10 montre le diagramme de dispersion du temps consacré aux activités d'apprentissage influencées par la stratégie pédagogique en fonction de la moyenne cumulative des participants. Les corrélations linéaires représentées par les droites à la figure 4.10 s'avèrent être non significatives, et cela autant pour la classe inversée ($r = -,318$; $p = ,160$) que pour la classe traditionnelle ($r = ,303$; $p = ,194$). Il ne semble donc pas y avoir de lien entre le temps consacré aux études et la moyenne cumulative des étudiants. Autrement dit, le temps qu'un étudiant consacre à ses études ne semble pas dépendre de sa force académique.

Considérant le fait qu'il n'existe pas de corrélation entre le temps consacré aux études et la moyenne cumulative des étudiants (figure 4.10) et qu'il existe une corrélation entre la moyenne cumulative et les notes obtenues aux différentes évaluations (figure 4.2), il est intéressant de déterminer s'il existe une corrélation entre le temps consacré aux études et les notes aux différentes évaluations. La figure 4.11 montre le diagramme de dispersion de la note obtenue aux évaluations en fonction du temps consacré aux études. La corrélation ne s'avère pas être significative autant pour la classe inversée ($r = -,242$; $p = ,291$) que pour la classe traditionnelle ($r = ,104$; $p = ,663$). Le temps qu'un étudiant consacre à ses études n'est donc pas lié à ses performances académiques, ce qui est surprenant puisque l'intuition générale veut que plus un étudiant consacre du temps à ses études, meilleurs seront ses performances

académiques. Évidemment, le nombre restreint de participants empêche de tirer des conclusions sur cette question, mais ce constat particulier mérite quand même d'être souligné.

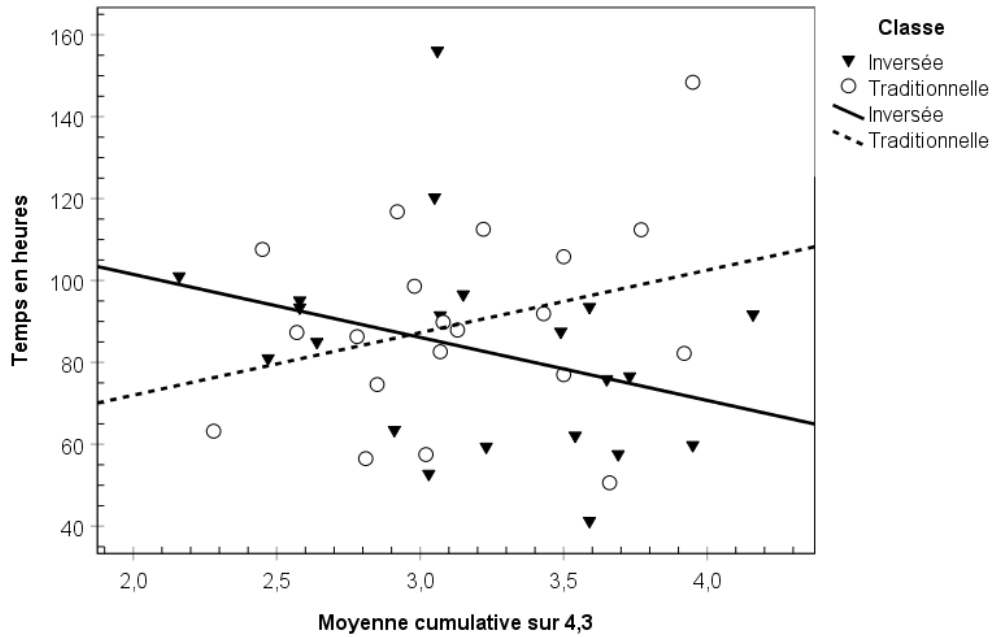


Figure 4.10 Diagramme de dispersion du temps consacré aux activités liées à la stratégie pédagogique en fonction de la moyenne cumulative

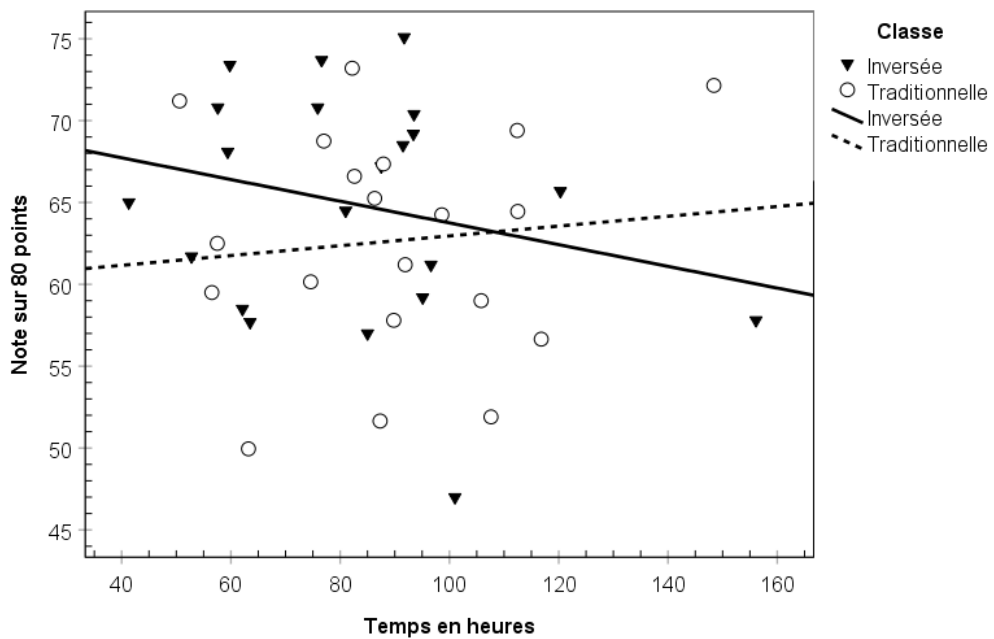


Figure 4.11 Diagramme de dispersion de la note de l'ensemble des éléments d'évaluation en fonction du temps consacré aux études

Pour vérifier dans quelle mesure les deux groupes sont différents l'un de l'autre en ce qui a trait au temps consacré aux études, une ANOVA factorielle 2x3 est réalisée. Les résultats sont sommairement présentés dans le diagramme des interactions de la figure 4.12. Il s'avère que l'interaction n'est pas significative ($F(2,35) = 1,671; p = ,203$), malgré l'impression d'une différence notable seulement entre les étudiants forts des deux classes. Pour s'en convaincre, un test t révèle que la différence entre les étudiants forts de la classe inversée ($N = 8; M = 69,8 \text{ h}; s = 17,9 \text{ h}$) et ceux de la classe traditionnelle ($N = 4; M = 98,4 \text{ h}; s = 41,8 \text{ h}$) n'est pas significative ($t(10) = 1,706; p = ,119$). L'effet de la classe est également non significatif ($F(1,35) = ,599; p = ,444$), ce que laisse sous-entendre qu'aucune des deux stratégies pédagogiques n'a exigé une charge de travail supérieure de la part des étudiants d'une classe comparativement à ceux de l'autre. Enfin, on n'observe aucune différence significative entre les différents regroupements d'étudiants en fonction de leur moyenne cumulative ($F(2,35) = ,157; p = ,855$), ce qui n'est pas surprenant considérant l'absence de corrélation antérieurement observée entre la moyenne cumulative et le temps consacré aux études pour chacune des classes.

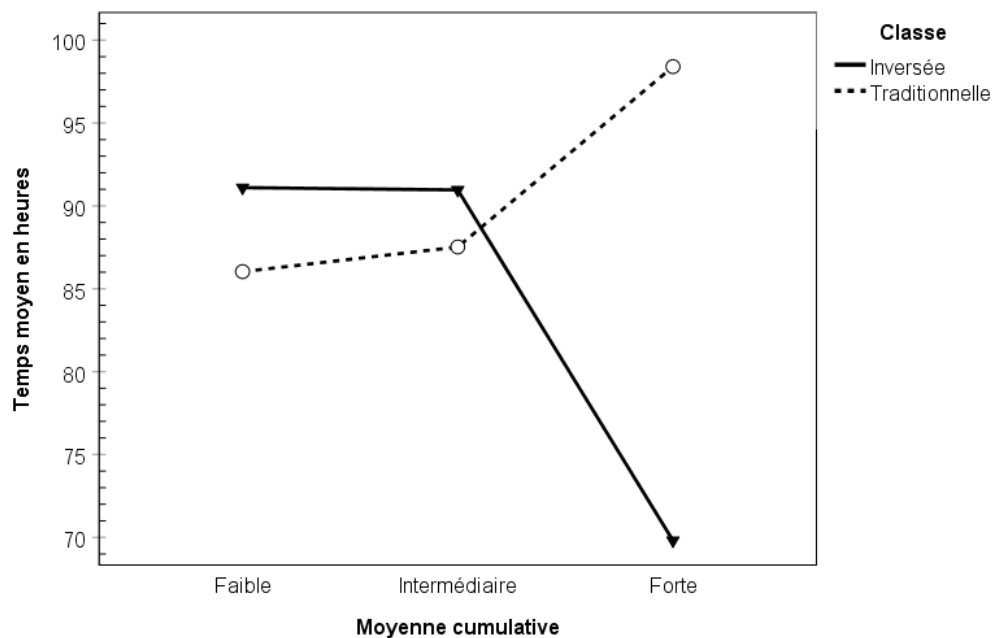


Figure 4.12 Diagramme des interactions pour le temps consacré aux études

4.4 INDICE D'EFFICACITÉ

L'indice d'efficacité qui est proposé dans ce mémoire (voir équation 2.1) repose sur le calcul de deux cotes Z , la première relative à la note d'un étudiant par rapport à celle de l'ensemble des participants et la seconde relative au temps consacré aux études. La figure 4.13 montre le positionnement de chaque

étudiant dans un graphique « cote Z de la note » en fonction de « cote Z du temps consacré aux études ». Rappelons qu'un étudiant qui se situe au-dessus de la droite inclinée affiche une efficacité positive. En effectuant un simple dénombrement, il serait tentant de conclure que les étudiants de la classe inversée sont plus efficaces que ceux de la classe traditionnelle. En effet, dans la classe inversée, on retrouve 14 étudiants avec un indice d'efficacité positif contre 6 étudiants avec un indice négatif. Pour ce qui est de la classe traditionnelle, le nombre d'étudiants avec un indice d'efficacité positif et négatif est de 8 et 13 respectivement.

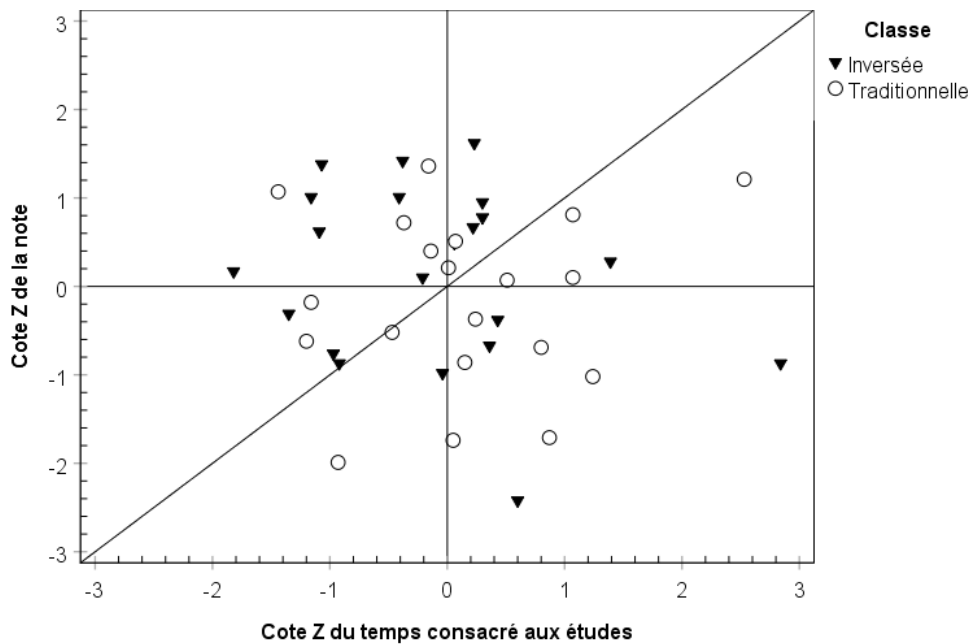


Figure 4.13 Diagramme de dispersion de la cote Z de la note en fonction de la cote Z du temps consacré aux études

L'analyse statistique des données ne permet pas de conclure que l'efficacité des étudiants de la classe inversée est globalement supérieure à celle des étudiants de la classe traditionnelle. Le diagramme des boîtes à moustache de l'indice d'efficacité des étudiants de chaque classe est fourni à la figure 4.14. La médiane (ligne noire dans les boîtes grises) est effectivement plus élevée pour la classe inversée. Un test t révèle cependant que la différence au niveau de l'indice d'efficacité moyen des étudiants de la classe inversée ($N = 21$; $M = ,201$; $s = 1,141$) comparativement à celui des étudiants de la classe traditionnelle ($N = 20$; $M = -,211$; $s = ,924$) n'est pas significative ($t(39) = 1,266$; $p = ,213$).

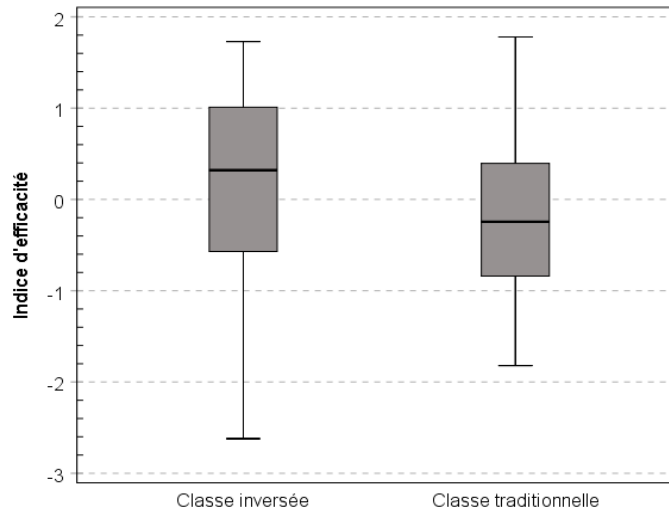


Figure 4.14 Diagramme de dispersion de la cote Z de la note en fonction de la cote Z du temps consacré aux études

La figure 4.15 montre le diagramme de dispersion de l'indice d'efficacité en fonction de la moyenne cumulative des étudiants. Il s'avère que la corrélation est statistiquement significative pour les étudiants de la classe inversée ($r = ,666; p < ,001$), mais pas pour ceux de la classe traditionnelle ($r = ,411; p < ,072$). Ainsi, plus un étudiant de la classe inversée a une moyenne cumulative élevée, plus son indice d'efficacité est élevé. Pour les étudiants de la classe traditionnelle, un comportement similaire est presque observé avec une valeur p près du seuil de signification statistique fixé à $\alpha = ,05$. L'ANOVA factorielle 2x3, dont le diagramme d'interactions est présenté à la figure 4.16, fournit une interprétation qui va dans le même sens avec une interaction ($F(2,35) = ,683; p = ,512$) et un effet de la classe ($F(1,35) = 2,024; p = ,164$) non significatifs, ce qui appuie la prétention voulant que les deux classes soient similaires. Par contre, il existe un effet statistiquement significatif pour la moyenne cumulative ($F(2,35) = 8,501; p = ,001$) avec un effet de grande taille ($\eta^2 = ,327$). Le test *post-hoc* de Bonferonni montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les étudiants faibles et intermédiaires, alors que les étudiants forts forment un regroupement distinct ($\mu_{\text{forts}} \neq \mu_{\text{intermédiaires}}, \mu_{\text{forts}} \neq \mu_{\text{faibles}}, \mu_{\text{intermédiaires}} = \mu_{\text{faibles}}$). Il semble donc plausible d'affirmer que les étudiants forts sont les plus efficaces indépendamment qu'ils aient suivi le cours dans la classe inversée ou traditionnelle.

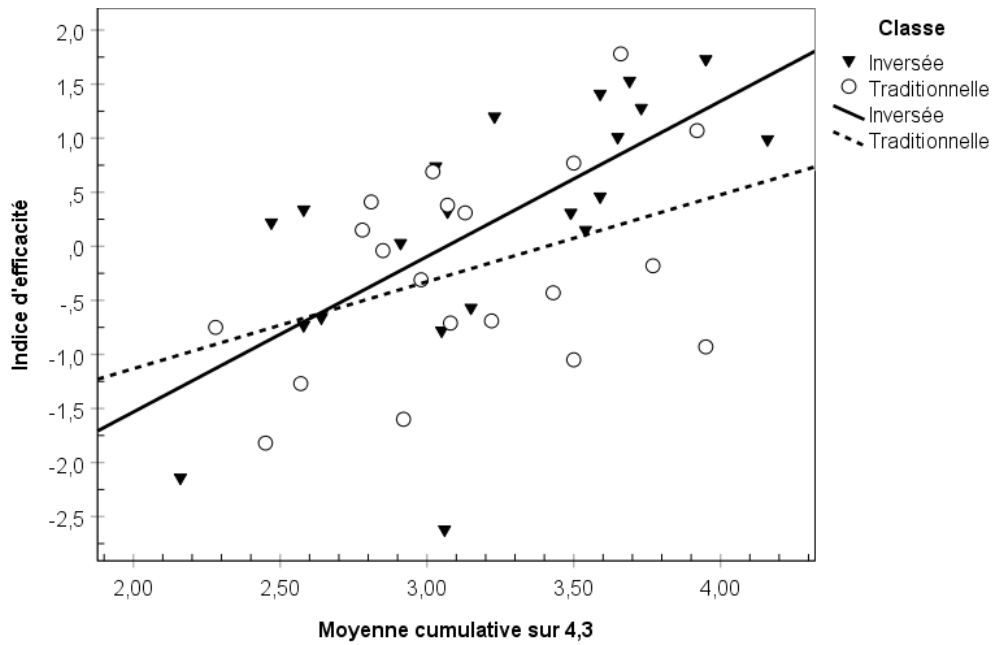


Figure 4.15 Diagramme de dispersion de l'indice d'efficacité en fonction de la moyenne cumulative

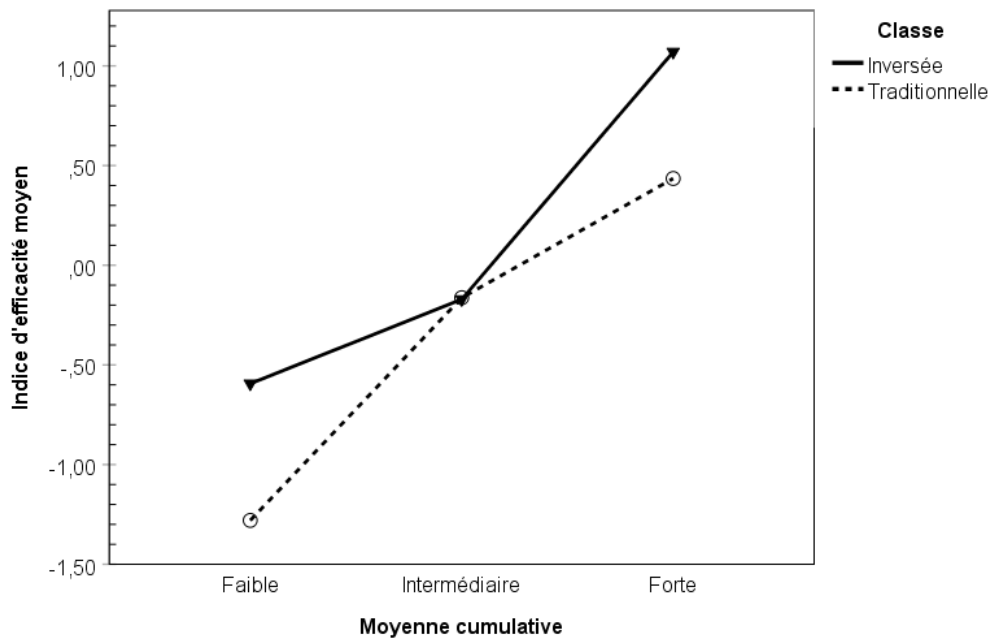


Figure 4.16 Diagramme des interactions pour l'indice d'efficacité

4.5 FACTEURS DE DIFFÉRENTIATION

Les questions 2 à 6 du sondage rempli par les étudiants pendant la dernière séance de cours ont pour but d'identifier les causes possibles qui pourraient expliquer les différences entre les deux classes. Les étudiants ont répondu en choisissant un chiffre entre 1 et 9 en lien avec chaque question, 1 indiquant être fortement en désaccord et 9 fortement en accord (voir annexe D). 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 4.17 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, le tableau 4.4 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 (les différences observées se situant essentiellement au niveau de la force académique des étudiants forts, intermédiaires et faibles), il est attendu que peu de différences ressortent des réponses des étudiants.

Tableau 4.4 Test du khi-carré permettant de comparer la distribution des réponses à chaque question

Q2		Q3		Q4a		Q4b		Q5		Q6a		Q6b	
χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>
,976	,614	,782	,676	3,54	,170	,287	,592	4,88	,087	2,24	,325	,408	,815

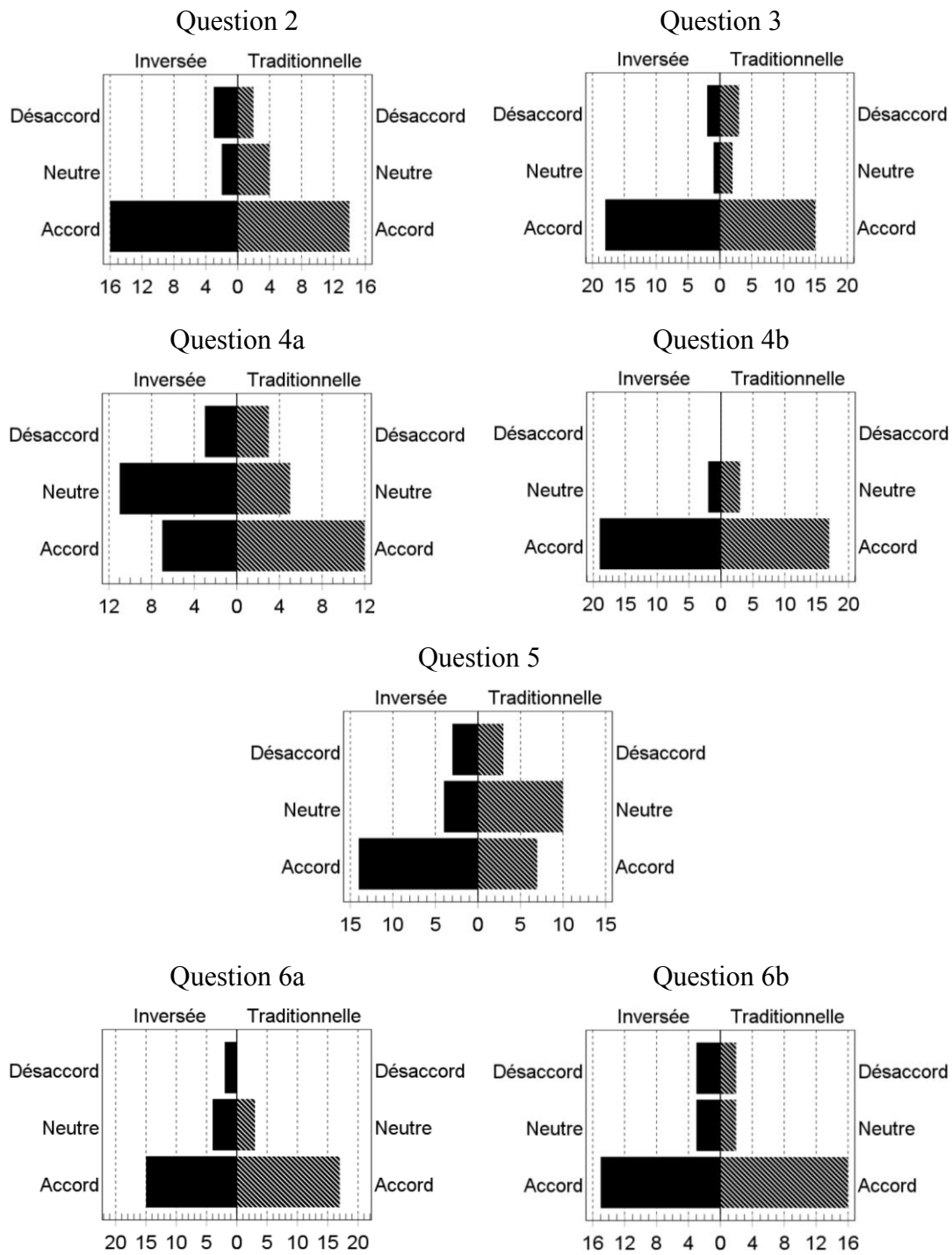


Figure 4.17 Pyramide des âges permettant de comparer visuellement la distribution des réponses aux questions en fonction de la classe

Une analyse globale et visuelle de la figure 4.17 montre que les réponses obtenues pour les questions 2, 3, 4b, 6a et 6b 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, mais 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 :

- Question 2 : Il semble que la classe traditionnelle reposant sur des exposés interactifs 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 interactifs 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 MEC423 plonge les étudiants dans un état de surcharge cognitive.
- 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'exposé 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.
- Questions 4a et 4b : Bien qu'elle soit statistiquement non significative, il semble y avoir une certaine différence entre les deux distributions de la question 4a. 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 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. 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'efface 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.

- 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 et de risque de contracter le virus) favorise de manière 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 preuve 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 MEC423.
- Questions 6a et 6b : Ces deux questions doivent être analysées simultanément afin de déterminer si les étudiants de la classe inversée semblent avoir eu plus de facilités 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 MEC423 n'aient pas une ampleur suffisante pour que leur résolution sature la mémoire de travail d'un seul individu.

La septième et dernière question permet de mesurer le degré de satisfaction globale des étudiants envers le cours MEC423. Dans les deux classes, la moyenne de la satisfaction globale est très élevée, soit 8,10 sur 9 (écart type = 1,41) pour la classe inversée et 8,50 sur 9 (écart type = ,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 est impossible d'affirmer que les étudiants ont préféré une classe plus que l'autre. Ces résultats sont en concordance avec le niveau de satisfaction globale du cours mesuré dans le cadre du processus institutionnel d'évaluations des enseignements réalisé à la fin de la session. Des résultats similaires ont été obtenus avec une satisfaction du cours de 4,60 sur 5 (écart type = ,82) pour la classe inversée comparativement à 4,87 sur 5 (écart type = ,35) pour la classe traditionnelle. Les deux collectes de données indépendantes concordent en mesurant une satisfaction moyenne des étudiants envers le cours qui est environ 5 % plus élevée en faveur de la classe traditionnelle avec un écart type qui est environ deux fois plus petit. Ainsi, les étudiants semblent avoir préféré la classe traditionnelle, mais de manière marginale.

4.6 SYNTHÈSE

Le traitement des données collectées a permis de conclure qu'il n'y a pas de différence significative au niveau de la moyenne cumulative des étudiants des deux classes, ce qui indique que la répartition des participants entre les groupes expérimental et témoin a été vraisemblablement réalisée de manière aléatoire. En ce qui a trait aux notes obtenues aux différentes évaluations, il n'existe aucune différence significative entre les deux classes. Il est donc impossible d'affirmer qu'une de deux stratégies pédagogiques permette aux étudiants d'obtenir de meilleures notes que l'autre, du moins pour le cours MEC423. Cependant, les notes obtenues sont étroitement corrélées avec la moyenne cumulative des étudiants.

Pour le temps consacré aux études, il a été impossible de détecter des différences en fonction de la stratégie pédagogique ou de la moyenne cumulative. Conséquemment, puisque l'indice d'efficacité est calculé à partir des notes obtenues et du temps consacré aux études et qu'aucune tendance n'a été détectée en lien avec le temps consacré aux études, les constats effectués pour les notes obtenues s'appliquent donc à l'indice d'efficacité. Autrement dit, un étudiant ayant une moyenne cumulative élevée est généralement plus efficace, et cela sans égard à la stratégie pédagogique à laquelle il a été exposé. Enfin, en ce qui a trait aux facteurs pouvant expliquer toute différence entre les deux stratégies pédagogiques, les étudiants de la classe traditionnelle semblent s'être sentis plus compétents à la suite d'une première exposition à de la nouvelle matière, tandis que ce sont les étudiants de la classe inversée qui semblent avoir développé des liens sociaux plus forts. Cependant, ces différences observées ne se sont pas avérées être statistiquement significatives.

CHAPITRE 5 - DISCUSSION

5.1 RETOUR SUR LA QUESTION DE RECHERCHE

La question de recherche de ce mémoire se formule comme suit : est-ce que les étudiants exposés à une classe inversée sont plus efficaces que ceux exposés à une classe traditionnelle dans l'enseignement du génie en contexte universitaire ? Les données collectées ne permettent pas d'apporter de réponse concluante à cette question, ni par l'affirmative ni par la négative. En effet, les étudiants de la classe traditionnelle se sont avérés être tout aussi efficaces au sens défini dans ce mémoire que ceux de la classe inversée. Même si plus d'étudiants de la classe inversée ont obtenu un indice d'efficacité positif, la différence entre les deux classes n'est pas statistiquement significative. Un tel constat n'est pas en contradiction avec ce qui est rapporté dans la méta-analyse de Lo et Hew (2019), puisque d'autres études réalisées antérieurement ont également observé peu, voire pas, de différences entre les deux classes (voir figure 1.1). Évidemment, considérant la diversité des constats rapportés par ces études antérieures, n'importe quel résultat obtenu aurait été corroboré par cette méta-analyse. Ceci nous amène donc à nous questionner sur la pertinence de vouloir tirer une conclusion unique sur la suprématie d'une stratégie pédagogique par rapport à l'autre. Nous croyons qu'il y a trop de facteurs qui peuvent influencer le verdict comme la nature du cours (mathématiques, sciences fondamentales, sciences du génie, sciences humaines, gestion, etc.), la personnalité de l'enseignant, le nombre et le type d'évaluations, le climat qu'il suscite ou sa capacité à être en relation avec les étudiants. Il semble donc plus juste de formuler la réponse à la question de recherche comme suit : les étudiants d'une classe inversée ne sont ni plus ni moins efficaces que ceux d'une classe traditionnelle lorsqu'ils suivent le cours MEC423 offert par le professeur impliqué dans la présente étude. Cependant, il est possible que la classe inversée permette de développer chez les étudiants des aptitudes qui seront bénéfiques à plus long terme telles que l'autonomie et le sens de l'organisation. Cependant, il est difficile de mesurer de telles aptitudes, surtout sur un temps relativement court.

Il serait intéressant de se questionner à savoir si la nature des savoirs abordés dans le cours ne serait pas en cause pour expliquer les similitudes entre les deux classes. Le cours MEC423 repose majoritairement sur ce que Tardif (1992) appelle des connaissances procédurales. En effet, la méthode des éléments finis enseignée dans le cours MEC423 s'avère être une procédure que les étudiants doivent adapter tout au long de la session à une multitude de structures simulées (treillis, charpentes, coques minces, solides

tridimensionnels, etc.). Il se pourrait donc que les effets de la stratégie pédagogique employée soient amplifiés si le cours reposait sur d'autres types de connaissances, soit les connaissances déclaratives ou conditionnelles. Cela dit, de nombreux cours d'un programme de génie sont fondés sur des connaissances procédurales et il ne serait pas surprenant que des résultats similaires à ceux présentés dans ce mémoire soient obtenus dans d'autres cours du programme de baccalauréat en génie mécanique.

Un autre élément qui pourrait expliquer les similitudes entre deux classes est la taille de l'échantillonnage. Comme précisé antérieurement, avant la pandémie, le cours MEC423 comptait généralement 40 à 45 étudiants par groupe. Considérant la proportion des étudiants qui se sont portés volontaires pour participer à l'étude, il est permis de croire que le nombre de participants aurait pu s'élever à environ 70. À cause des mesures liées à gestion de l'enseignement post-pandémique en présentiel, la distanciation physique imposée en classe a limité le nombre d'étudiants par groupe à environ 25, ce qui a permis de recruter seulement 41 participants au total. Comme le précise Morgan (2017), plus la taille d'un échantillon est faible, plus la puissance statistique de l'étude est réduite. Autrement dit, l'étude est moins en mesure de détecter une différence statistiquement significative même lorsqu'elle existe réellement (erreur de type II). Avec un nombre relativement faible de participants dans chaque classe, il s'avère donc difficile d'observer une différence statistiquement significative entre les classes, mais cela ne veut pas nécessairement dire que les deux stratégies pédagogiques sont aussi efficaces l'une que l'autre.

Une dernière hypothèse peut être évoquée pour justifier les similitudes entre les deux classes et elle concerne la façon dont la classe traditionnelle a été orchestrée. Il est possible que la classe traditionnelle employée dans cette étude s'avère être plus efficace qu'une classe traditionnelle reposant exclusivement sur des exposés interactifs. Rappelons qu'à l'ÉTS, les séances de cours sont offertes hebdomadairement en bloc de trois heures consécutives (excluant une pause de 30 minutes). Il est possible qu'un exposé d'une telle durée dans lequel l'enseignant introduirait continuellement de la nouvelle matière amènerait vraisemblablement les étudiants dans un état de surcharge cognitive. L'enseignant a donc prévu présenter la nouvelle matière pendant environ une heure et le temps restant (environ deux heures) est consacré à résoudre, étape par étape, un exemple faisant intervenir l'entièreté des nouveaux concepts afin de permettre aux étudiants de bien les assimiler. Cette pratique correspond à un des effets de la théorie de la charge cognitive, soit l'effet du problème résolu appelé en anglais *worked example effect*. Cet effet, publié pour la première fois par Sweller et Cooper (1985), a permis de vérifier que les étudiants apprennent mieux lorsqu'ils assistent à la résolution d'un exemple effectuée par un expert

comparativement à d'autres activités d'apprentissage où ils doivent apprendre par eux-mêmes, par exemple en leur faisant résoudre un exercice par eux-mêmes. Selon Paas, Renkl, et Sweller (2003), l'effet de l'exemple résolu s'avère particulièrement efficace pour des novices dans une matière. Il est donc possible que la planification des séances de cours théoriques de la classe traditionnelle reposant partiellement sur des exemples résolus s'avère être une stratégie très efficace comparativement à une classe traditionnelle reposant exclusivement sur des exposés. Conséquemment, l'écart entre la classe inversée et la classe traditionnelle qui aurait potentiellement pu être observé a possiblement été comblé par la planification d'exemples résolus dans la classe traditionnelle. Ainsi, la classe traditionnelle déployée dans ce projet ne pousse possiblement pas autant les étudiants vers un état de surcharge cognitive que d'autres classes traditionnelles dans lesquelles les exposés sans résolution d'exemples occupent une plus grande proportion du temps.

5.2 RETOUR SUR LES OBJECTIFS DE RECHERCHE

Le premier objectif spécifique de recherche formulé à la fin du chapitre 2 vise à comparer l'efficacité des étudiants exposés à une classe inversée ou traditionnelle en fonction de leur force académique quantifiée à partir de la moyenne cumulative. Globalement, les données collectées ne permettent pas de conclure qu'il existe une différence entre l'efficacité des étudiants de la classe inversée ou de la classe traditionnelle, et cela malgré le fait que davantage d'étudiants ont démontré un indice d'efficacité positif dans la classe inversée. De manière générale, plus un étudiant a une moyenne cumulative élevée, meilleure est son efficacité, et cela indépendamment s'il a été exposé à la classe inversée ou traditionnelle. L'efficacité d'un étudiant ne semble donc pas dépendre de la stratégie pédagogique proprement dite, mais davantage de facteurs intrinsèques tels ses aptitudes intellectuelles, sa motivation et son éthique de travail. L'analyse des données à la suite du regroupement des étudiants en trois catégories (faibles, moyens et forts) ne permet également pas de dégager des différences statistiquement significatives entre les deux classes. Par exemple, il a été observé que les étudiants faibles de la classe inversée performant de manière comparable (ni mieux ni pire) que les étudiants faibles de la classe traditionnelle. Ce constat n'est pas en accord avec ce qu'ont affirmé Bidwell (2014) et Bansal et al. (2020) voulant que les effets bénéfiques de la classe inversée se manifestent davantage auprès des étudiants faibles. Qui plus est, l'analyse corrélationnelle présentée à la figure 4.15 semble indiquer une tendance inverse. En effet, les étudiants les plus faibles semblent être plus efficaces dans la classe traditionnelle. De plus, à cause de la pente plus prononcée de la droite de régression de la classe inversée, la différence d'efficacité entre les étudiants forts et faibles semble plus marquée dans la classe inversée que dans la classe traditionnelle. La

classe traditionnelle, avec sa droite moins inclinée, s'avère donc être possiblement plus équitable et moins discriminante pour l'ensemble des étudiants.

Le second objectif spécifique vise à comparer les performances académiques des étudiants exposés à une classe inversée ou traditionnelle en fonction du niveau cognitif (selon la taxonomie de Bloom) mobilisé par les étudiants lors d'une activité d'évaluation. Pour tous les types d'évaluations (quiz composés de questions à choix multiples, examens nécessitant de la résolution de problèmes et projets de conception), les ANOVA factorielles n'ont indiqué aucune différence statistiquement significative entre les deux classes. La stratégie pédagogique à laquelle les étudiants ont été exposés ne semble pas donc avoir un impact différencié dépendant de la nature de l'évaluation. Si cela avait été le cas, un enseignement exploitant différentes stratégies pédagogiques aurait pu être planifié. Par exemple, l'enseignant aurait pu basculer d'une semaine à l'autre entre les deux stratégies pédagogiques en fonction des niveaux cognitifs que les étudiants doivent mobiliser durant les activités d'apprentissage et d'évaluation. Les résultats obtenus dans la présente étude ne permettent de recommander ni déconseiller une telle pratique. Des études plus poussées et spécifiquement dédiées à cette question devraient être réalisées pour apporter un éclairage sur cet aspect.

Le troisième et dernier objectif spécifique de ce mémoire concerne l'identification des facteurs qui pourraient expliquer la différence d'efficacité entre les étudiants des deux classes. Considérant qu'aucune différence significative n'a pu être observée, il devient évidemment difficile de faire ressortir des facteurs explicatifs. Néanmoins, les réponses des étudiants au sondage procurent des pistes qui pourraient ultérieurement être approfondies. En effet, il s'avère que les distributions des réponses aux questions 4a et 5 du sondage (voir figure 4.17) sont qualitativement différentes (malgré une absence de différence statistiquement significative), ce qui pourrait mettre en évidence des facteurs de différenciation. La question 4a semble indiquer que les étudiants de la classe traditionnelle se sentent davantage compétents pour réussir les examens que ceux de la classe inversée après une séance de trois heures de cours théorique. Considérant que cette différence s'estompe après avoir fait des exercices à la maison (voir question 4b), la classe traditionnelle semble donc permettre aux étudiants de se sentir compétents plus rapidement dans leurs apprentissages tout en atteignant, au final, une saturation similaire en ce qui a trait au sentiment de compétence. En ce qui a trait à la question 5, les liens sociaux développés dans la classe inversée semblent avoir facilité les apprentissages des étudiants, ce qui n'est pas vraiment surprenant considérant le nombre plutôt limité de relations sociales dans la classe traditionnelle. Par contre, ces

relations sociales plus prononcées dans la classe inversée ne se sont pas concrétisées par des performances académiques ou une efficacité accrue comparativement à la situation dans la classe traditionnelle. Évidemment, comme discuté antérieurement, le plein potentiel des relations sociales de la classe inversée n'a pu être pleinement exploité considérant les restrictions liées au retour en présentiel post-pandémique dans les salles de classe. L'identification des facteurs pouvant justifier les différences en utilisant un sondage est certes très limitative. Afin d'acquérir une compréhension plus juste, détaillée et profonde des divers avantages et limitations sous-jacents aux deux classes, des travaux de recherche fondés sur une approche qualitative et inductive devraient être réalisés. Il serait souhaitable par exemple de demander aux étudiants d'expliquer par écrit leur perception et de procéder ensuite à des analyses de texte ou encore de conduire des entretiens individuels ou de groupe afin de mieux comprendre la perception des étudiants.

En somme, cette étude ne permet pas de conclure qu'une classe est supérieure à l'autre tant au niveau des performances académiques des étudiants que de leur efficacité. Les données quantitatives provenant des notes aux différentes évaluations et du temps consacré aux études affichent de grandes similitudes entre les deux classes. Ceci dit, il faut quand même être conscient que la comparaison a été effectuée entre une version très performante de la classe traditionnelle reposant sur des exemples résolus et une version de la classe inversée n'ayant pas été en mesure de déployer son plein potentiel considérant des relations sociales sous-optimales.

CONCLUSION

Le but de ce mémoire est d'identifier laquelle parmi deux stratégies pédagogiques, classe inversée ou traditionnelle, a permis aux étudiants d'être le plus efficaces 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. En ce qui a trait au temps consacré aux études, aucune tendance ne se dégage, ce qui revient à affirmer que les étudiants les plus forts ne consacrent ni plus ni moins de temps à leurs études que leurs camarades les plus faibles. Conséquemment, l'indice d'efficacité semble donc essentiellement être dicté par les notes obtenues. 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, du moins pour le cours MEC423 offert par l'auteur de ce mémoire.

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 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 aucune garantie qu'une classe inversée déployée dans des conditions optimales aurait produit des résultats différents que ceux obtenus dans la présente étude.

Trois principales 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. Sinon, il serait possible de reconduire l'expérience pendant quelques sessions avec un seul enseignant. Un tel scénario s'avère être impraticable, car la possibilité d'offrir le même cours à deux groupes différents ne se présente qu'une seule fois par année. Dans ce contexte, la durée de la maîtrise deviendrait hors-norme. Enfin, en augmentant le nombre de participants à l'étude, il n'est pas certain qu'une différence entre les deux classes serait observée, puisque rien n'indique qu'il existe des disparités au niveau des notes, du temps consacré aux études ou de l'indice d'efficacité lorsque le cours MEC423 est offert en classe inversée ou traditionnelle.

La seconde limitation a trait à la généralisation des résultats à d'autres cours du programme de génie de l'ÉTS ou d'autres institutions. Nous croyons que les résultats obtenus dans ce mémoire ne peuvent pas simplement être généralisés, puisqu'un cours possède sa propre « personnalité » qui dépend de ses spécificités (matière couverte, endroit dans le cheminement, cours obligatoire ou optionnel, nombre

d'étudiants, etc.) ainsi que du savoir-faire et du savoir-être de l'enseignant. Il est donc possible que des résultats fort différents puissent être obtenus en reconduisant l'étude dans le même cours offert par un autre enseignant. Malgré cette affirmation, nous croyons que les présents travaux conservent leur utilité d'abord pour un enseignant en particulier qui se questionne sur ses pratiques (ce qui fut l'élément déclencheur de ce mémoire de maîtrise), mais aussi pour alimenter la littérature scientifique qui peut ensuite dégager des tendances globales en regroupant une multitude d'initiatives ponctuelle au sein d'une méta-analyse.

La troisième 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 à la suite des entretiens individuels ou de groupe. Par exemple, même si le temps consacré aux études s'est avéré être quantitativement similaire dans les deux classes, est-ce que les étudiants ont ressenti davantage de pression ou d'anxiété dans une classe comparativement à l'autre ? Est-ce que les étudiants de la classe traditionnelle étaient souvent distraits pendant les séances de trois heures de cours théoriques à un point tel qu'ils vauaient à d'autres activités ? Est-ce que les étudiants de la classe inversée percevaient le travail en équipe comme étant formateur pour leur formation ? Est-ce que les meilleurs étudiants de la classe inversée avaient l'impression de perdre leur temps à aider leurs équipiers ou est-ce qu'ils avaient l'impression d'approfondir leur compréhension de la matière ? Pourquoi les étudiants choisiraient-ils la classe inversée ou traditionnelle pour suivre un cours similaire dans le futur ? Bref, le nombre de thèmes qui pourraient être abordés lors de ces entretiens est très élevé et la conduite de ceux-ci requiert des données préliminaires comme celles obtenues dans la présente étude afin d'orchestrer efficacement le déroulement des entretiens. Nous croyons qu'il a été néanmoins approprié d'opter pour une recherche exclusivement quantitative pour les raisons suivantes :

- Il y avait une absence de données existantes liées à la clientèle de l'ÉTS 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.

- Les ressources humaines et financières étaient limitées pour mener des entretiens de manière confidentielle, surtout dans un contexte où il existait un lien d'autorité empêchant le professeur de mener lui-même de tels entretiens.
- La préparation, la conduite et le codage des entretiens auraient conduit à un dépassement des délais normalement prévus pour la réalisation d'un mémoire de maîtrise.

Les données collectées dans ce projet pourront servir à d'autres études dans le cadre d'une utilisation secondaire de celles-ci. En effet, il serait possible de vérifier si la façon dont les étudiants distribuent leur temps consacré aux études a une influence sur leurs performances académiques. Par exemple, on pourrait vérifier si un étudiant qui étudie cinq heures par semaine lors des quatre semaines qui précèdent un examen (donc 20 heures au total) obtient des notes similaires à un étudiant ayant une moyenne cumulative comparable qui concentre ses 20 heures d'étude dans la semaine précédant l'examen. Il serait aussi possible d'investiguer si les différentes activités pédagogiques réalisées par les étudiants ont le même impact sur leurs performances académiques. Par exemple, est-ce qu'un étudiant qui a davantage consacré son temps d'études à résoudre des exercices obtient des notes similaires à un étudiant qui a consacré autant de temps à lire les notes de cours ou à être présent aux séances de cours théoriques ?

D'autres projets de recherche pourraient être entrepris sur une thématique similaire, mais ceux-ci pourraient s'attarder à l'expérience vécue par l'enseignant, plutôt que de collecter exclusivement des données liées aux étudiants. De tels projets pourraient concerner divers aspects comme le temps requis pour développer les activités pédagogiques proposées aux étudiants, le temps de consultation consacré aux étudiants à l'extérieur des séances de cours ou la perception de l'impact que peut avoir l'enseignant sur les apprentissages des étudiants.

En terminant, si un enseignant demande quelle stratégie pédagogique entre la classe inversée ou la classe traditionnelle maximise les apprentissages des étudiants, une recommandation précise ne pourrait malheureusement pas être formulée. En effet, selon l'expérience relatée dans ce mémoire, aucune des deux stratégies pédagogiques ne s'est avérée significativement supérieure à l'autre. La recommandation serait donc de choisir celle avec laquelle il se sent le plus confortable et engagé. En effet, la motivation et le dynamisme de l'enseignant auront probablement plus d'impact sur l'apprentissage des étudiants que la formule pédagogique proprement dite.

ANNEXE A - COPIE DES CERTIFICATS D'APPROBATION ÉTHIQUE

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE plurifacultaire) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la *Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains* (Janvier 2016) de l'UQAM.

Titre du projet:	Comparaison des performances académiques d'étudiants exposés à une classe traditionnelle ou à une classe inversée dans un cours universitaire en ingénierie.
Nom de l'étudiant:	Patrick TERRIAULT
Programme d'études:	Maîtrise en éducation (concentration didactique)
Direction de recherche:	Anastassis KOZANITIS
Codirection:	Patrice FARAND

Modalités d'application

Toute modification au protocole de recherche en cours de même que tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité de la recherche doivent être communiqués rapidement au comité.

La suspension ou la cessation du protocole, temporaire ou définitive, doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat est valide pour une durée d'un an à partir de la date d'émission. Au terme de ce délai, un rapport d'avancement de projet doit être soumis au comité, en guise de rapport final si le projet est réalisé en moins d'un an, et en guise de rapport annuel pour le projet se poursuivant sur plus d'une année. Dans ce dernier cas, le rapport annuel permettra au comité de se prononcer sur le renouvellement du certificat d'approbation éthique.



Raoul Graf
Président du CERPE plurifacultaire
Professeur, Département de marketing

Le 18 juin 2021

Projet : **Comparaison des performances académiques d'étudiants exposés à une classe traditionnelle ou à une classe inversée dans un cours universitaire en ingénierie.**

Chercheur responsable : **Patrick Terriault, Professeur au département de génie mécanique – École de technologie supérieure (ÉTS); Étudiant à la maîtrise en éducation – Université du Québec à Montréal (UQÀM)**

Superviseur : **Anastassis Kozanitis, Professeur au département de didactique – UQÀM**

Référence : **H20210410**

Demande : **Nouvelle**

APPROBATION FINALE

Monsieur Terriault,

Nous accusons réception du formulaire d'information et de consentement modifié selon les recommandations émises par le Comité d'éthique de la recherche (CÉR) dans sa lettre du 16 juin 2021. Après révision, le dossier est jugé conforme aux exigences éthiques. J'ai donc le plaisir de vous informer que **votre projet est approuvé et que vous pouvez procéder au recrutement de vos participants.**

Vous trouverez, jointe à la présente, une copie du formulaire d'information et de consentement **approuvé par le CÉR** (*version PDF datée du 18 juin 2021*). Veillez utiliser cette version du document pour le recrutement.

L'approbation éthique de votre projet est valable pour une année à compter de la date d'approbation finale. Selon l'état d'avancement de votre projet à la date mentionnée ci-dessous, vous devrez fournir au CÉR un rapport de suivi annuel pour demander le renouvellement de l'approbation éthique ou la fermeture du dossier.

En acceptant la présente approbation éthique, vous vous engagez à :

- Observer une **conduite responsable** tout au long de vos travaux de recherche;
- Informer dès que possible le CÉR de **tout changement** apporté au projet ou **tout évènement imprévu** qui surviendrait au cours d'une séance de collecte de données;
- Respecter les **conditions de confidentialité et de protection des renseignements et des données**, telles qu'énoncées dans le dossier et approuvées par le CÉR;
- Conserver cette approbation éthique **valide au moins jusqu'à la publication des premiers résultats** de la recherche.

Si vous avez des questions ou des préoccupations éthiques au cours de votre projet, veuillez contacter le CÉR par courriel à l'adresse cer@etsmtl.ca ou par téléphone au **(514) 396-8800 poste 7807**.

Veillez agréer, Monsieur Terriault, l'expression de mes sentiments les meilleurs.



Erika Olivaux, M.A.
Coordonnatrice, Comité d'éthique de la recherche
École de technologie supérieure

ÉCHÉANCE DE L'APPROBATION ÉTHIQUE
(Date limite pour la remise du rapport annuel)
18 juin 2022

cc : Ghislain Gagnon, Doyen de la recherche
Mathias Glaus, Président du CÉR

pj : Formulaire d'information et de consentement approuvé

p.2/2

ANNEXE B - FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

TITRE DU PROJET DE RECHERCHE

Comparaison des performances académiques d'étudiants exposés à une classe traditionnelle ou à une classe inversée dans un cours universitaire en ingénierie

CHERCHEUR RESPONSABLE

Patrick Terriault, Professeur au département de génie mécanique – École de technologie supérieure; Étudiant à la maîtrise en éducation concentration didactique, Faculté des sciences de l'éducation – Université du Québec à Montréal (UQÀM)

DIRECTEURS DE RECHERCHE

Anastassis Kozanitis, Directeur, Professeur au département de didactique – UQÀM

Patrice Farand, Codirecteur, Maître d'enseignement au département de génie chimique – Polytechnique Montréal

COLLABORATRICE

Julienne Bissou Billong, Assistante de recherche, doctorante à la Faculté d'éducation de l'Université de Sherbrooke

INTRODUCTION

Nous vous invitons à participer à un projet de recherche. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet et de signer ce formulaire d'information et de consentement, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable de ce projet ou à un membre de l'équipe de recherche, et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

NATURE ET OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

L'enseignement du génie peut être effectué de plusieurs façons. Une d'entre elles, la classe traditionnelle (CT), repose essentiellement sur des exposés magistraux pour transmettre la matière. Une autre, la classe inversée (CI), demande aux étudiants de prendre contact avec la nouvelle matière avant les séances de cours par le biais de lectures, visionnement de vidéos, etc. Les séances de cours sont alors utilisées pour la réalisation de travail en équipe.

Malheureusement, il manque encore des données dans la littérature scientifique pour bien comprendre les avantages et les inconvénients des deux approches et le projet de recherche vise à produire des données probantes à ce sujet.

Pour mener à bien ce projet, nous recruterons environ 50 participants, hommes et femmes, âgés de 18 ans et plus, inscrits comme étudiants au cours MEC423. Vous serez aléatoirement assigné(e) à un des deux groupes constitués : le groupe CT ou le groupe CI. Les deux groupes seront sous la responsabilité du chercheur responsable, qui a déjà enseigné le cours sous les deux formats. Les deux groupes recevront donc la même matière.

DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

1. Lieu de réalisation du projet de recherche et durée de la participation

Ce projet de recherche se déroulera à l'ÉTS durant la session d'Automne 2021. Votre participation à ce projet sera répartie sur l'ensemble de la session.

2. Nature de votre participation

Votre participation au projet consiste à remplir une feuille de temps à chaque semaine de la session. Cette feuille de temps permet de recenser le temps que vous avez passé à étudier en dehors des séances de cours et de travaux pratiques, ainsi que le temps de présence aux cours et aux travaux pratiques. Le remplissage de cette feuille est estimé à 2 minutes par semaine.

Lors du dernier cours, nous vous demanderons également de compléter un questionnaire portant sur le développement de vos apprentissages durant la session. La durée de remplissage de ce questionnaire est estimée à 5 minutes.

Enfin, votre participation à ce projet implique que vous fournissiez à l'équipe de recherche votre moyenne cumulative. Celle-ci sera recueillie lors de votre consentement.

Veillez noter qu'en aucun temps, le professeur ne pourra faire le lien entre votre moyenne cumulative, vos réponses aux questionnaires et votre identité. Seule l'assistante de recherche aura accès à la clé qui permet de faire le lien entre vos données et votre identité.

AVANTAGES ET BÉNÉFICES ASSOCIÉS AU PROJET DE RECHERCHE

Il se peut que vous retiriez un bénéfice personnel de votre participation à ce projet de recherche, mais nous ne pouvons vous l'assurer. Par ailleurs, les résultats obtenus contribueront à l'avancement des connaissances scientifiques dans ce domaine de recherche.

INCONVÉNIENTS ASSOCIÉS AU PROJET DE RECHERCHE

Le temps nécessaire à la participation constitue le principal inconvénient associé au projet de recherche.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET DROIT DE RETRAIT

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Vous pouvez également vous retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en informant l'équipe de recherche.

Votre décision de participer ou non à ce projet de recherche, ou de vous en retirer, n'aura aucune conséquence sur votre cheminement académique.

Le chercheur responsable de ce projet de recherche, le Comité d'éthique de la recherche de l'École de technologie supérieure ou le Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Montréal peuvent mettre fin à votre participation, sans votre consentement. Cela peut se produire si de nouvelles découvertes ou informations indiquent que votre participation au projet n'est plus dans votre intérêt, si vous ne respectez pas les consignes du projet de recherche ou encore s'il existe des raisons administratives d'abandonner le projet.

Si vous vous retirez du projet ou êtes retiré(e) du projet, l'information et le matériel déjà recueillis dans le cadre de ce projet seront néanmoins conservés, analysés ou utilisés pour assurer l'intégrité du projet.

Toute nouvelle connaissance acquise durant le déroulement du projet qui pourrait avoir un impact sur votre décision de continuer à participer à ce projet vous sera communiquée rapidement.

CONFIDENTIALITÉ

Durant votre participation à ce projet de recherche, le chercheur responsable ainsi que les membres de l'équipe de recherche recueilleront, dans un dossier de recherche, les renseignements vous concernant et nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques de ce projet de recherche.

Ces renseignements peuvent comprendre votre nom, votre moyenne cumulative ainsi que les réponses aux questionnaires collectées dans le cadre du projet.

Tous les renseignements recueillis demeureront confidentiels, dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver votre identité et la confidentialité de vos renseignements, un numéro de code vous sera attribué. La clé du code reliant votre nom à votre dossier de recherche sera conservée par la collaboratrice de ce projet de recherche. Cette clé sera supprimée lorsque les notes finales auront été déposées au Bureau du registraire. De cette façon, le chercheur responsable n'aura accès qu'à des données dénominalisées.

Ces données de recherche seront conservées pendant au moins 10 ans par le chercheur responsable de ce projet de recherche.

Les données de recherche pourront être publiées ou faire l'objet de discussions scientifiques, mais il ne sera pas possible de vous identifier.

À des fins de surveillance, de contrôle, de protection, de sécurité, votre dossier de recherche pourra être consulté par une personne mandatée par des organismes réglementaires ainsi que par des représentants de l'École de technologie supérieure, de l'Université du Québec à Montréal ou des Comités d'éthique de la recherche. Ces personnes et ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

Vous avez le droit de consulter votre dossier de recherche pour vérifier les renseignements recueillis et les faire rectifier au besoin.

UTILISATION SECONDAIRE DES DONNÉES DE RECHERCHE

Le chercheur responsable souhaite utiliser vos données de recherche pour réaliser d'autres projets de recherche dans le domaine de l'éducation en ingénierie.

Ces projets de recherche seront évalués et approuvés par le Comité d'éthique de la recherche avant leur réalisation. De plus, le Comité en assurera le suivi. Vos données de recherche seront conservées de façon sécuritaire sur des serveurs de l'École de technologie supérieure. Afin de préserver votre identité et la confidentialité de vos données de recherche, vous ne serez identifié(e) que par un numéro de code.

Vos données de recherche seront conservées aussi longtemps qu'elles peuvent avoir une utilité pour l'avancement des connaissances scientifiques. Lorsqu'elles n'auront plus d'utilité, vos données de recherche seront détruites. Par ailleurs, notez qu'en tout temps, vous pouvez demander la non-utilisation de vos données de recherche en vous adressant au(à la) chercheur(e) responsable de ce projet de recherche.

COMPENSATION

Vous ne recevrez pas de compensation financière pour votre participation à ce projet de recherche.

EN CAS DE PRÉJUDICE

En acceptant de participer à ce projet de recherche, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez le chercheur responsable, l'École de technologie supérieure et l'Université du Québec à Montréal de leur responsabilité civile et professionnelle.

SUIVI ÉTHIQUE

Les Comités d'éthique de la recherche de l'École de technologie supérieure et de l'Université du Québec à Montréal ont approuvé ce projet de recherche et en assurent le suivi.

PERSONNES-RESSOURCES

Pour toute question en lien avec le projet de recherche, vous pouvez communiquer avec les responsables du projet : Anastassis Kozanitis (514-987-3000 poste 0829, kozanitis.anastassis@uqam.ca), Patrice Farand (514-340-4711, poste 3934, patrice.farand@polymtl.ca) ou Patrick Terriault (514-396-8518, patrick.terriault@etsmtl.ca).

Pour toute question en lien avec vos droits en tant que participant à la recherche, vous pouvez contacter le Comité d'éthique de la recherche de l'École de technologie supérieure par courriel à l'adresse CER@etsmtl.ca. Vous pouvez également contacter la conseillère du Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Montréal Caroline Vrignaud par courriel à l'adresse cerpepluri@uqam.ca ou par téléphone au 514-987-3000 poste 6188.



CONSENTEMENT

Participant(e)

J'ai lu le présent formulaire de consentement et j'ai disposé de suffisamment de renseignements et du temps nécessaire pour prendre ma décision. Après réflexion, je consens volontairement à participer à ce projet de recherche, aux conditions énoncées.

Nom

Signature

Date

Moyenne cumulative à l'ÉTS (sur 4.3) : _____

Autorisez-vous l'utilisation secondaire de vos données ?

OUI NON

Avez-vous déjà suivi en totalité ou en partie le cours MEC423 dans le passé ?

OUI NON

Personne qui obtient le consentement (si différente du chercheur responsable)

J'ai expliqué au(à la) participant(e) tous les aspects pertinents de la recherche et j'ai répondu aux questions qu'il(elle) m'a posées.

Julienne Bissou Billong

Nom

Signature

Date

Signature et engagement du chercheur responsable de ce projet de recherche

Je certifie qu'on a expliqué au(à la) participant(e) le présent formulaire d'information et de consentement, que l'on a répondu aux questions qu'il(elle) avait.

Je m'engage, avec l'équipe de recherche, à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement et à remettre une copie signée du présent formulaire au(à la) participant(e).

Patrick Terriault

Nom

Signature

Date



ANNEXE C – FEUILLES DE TEMPS

Feuille de temps – Classe inversée (groupe 1)

Prénom et nom : _____

Semaine	Travail à l'extérieur des séances de cours et de travaux pratiques (en heures)					Présence aux séances de cours (en heures)	Présence aux séances de travaux pratiques (en heures)
	Cahiers (lecture et exemples)	Visionnement de vidéos sur YouTube	Résolution de problèmes	Réalisation du projet	Autre		
30 août – 5 sept.				X		Cours 1	Pas de TP
6 sept. – 12 sept.				X		Cours 2	TP 1
13 sept. – 19 sept.				X		Cours 3	TP 2
20 sept. – 26 sept.				X		Cours 4	TP 3
27 sept. – 3 oct.				X		Cours 5	TP 4
4 oct. – 10 oct.				X		Cours 6	Examen Intra 1
11 oct. – 17 oct.				X		Cours 7	Pas de TP
18 oct. – 24 oct.				X		Cours 8	TP 5
25 oct. – 31 oct.						Cours 9	TP 6
1 nov. – 7 nov.						Pas de cours	Examen Intra 2
8 nov. – 14 nov.						Cours 10	TP 7
15 nov. – 21 nov.						Cours 11	TP 8
22 nov. – 28 nov.						Cours 12	TP 9
29 nov. – 5 déc.						Examen Intra 3	TP 10
6 déc. – 16 déc. (examen final)				X		Pas de cours	Pas de TP

Si vous avez indiqué des heures de travail sous la catégorie « Autre », veuillez préciser le type d'activités dont il est question : _____

Feuille de temps – Classe traditionnelle (groupe 2)

Prénom et nom : _____

Semaine	Travail à l'extérieur des séances de cours et de travaux pratiques (en heures)					Présence aux séances de cours (en heures)	Présence aux séances de travaux pratiques (en heures)
	Cahiers (lecture et exemples)	Visionnement de vidéos sur YouTube	Résolution de problèmes	Réalisation du projet	Autre		
30 août – 5 sept.				X		Cours 1	Pas de TP
6 sept. – 12 sept.				X		Cours 2	Pas de TP
13 sept. – 19 sept.				X		Cours 3	TP 1
20 sept. – 26 sept.				X		Cours 4	TP 2
27 sept. – 3 oct.				X		Cours 5	TP 3
4 oct. – 10 oct.				X		Examen Intra 1	TP 4
11 oct. – 17 oct.				X		Cours 6	Pas de TP
18 oct. – 24 oct.				X		Cours 7	TP 5
25 oct. – 31 oct.						Cours 8	TP 6
1 nov. – 7 nov.						Cours 9	Examen Intra 2
8 nov. – 14 nov.						Cours 10	TP 7
15 nov. – 21 nov.						Cours 11	TP 8
22 nov. – 28 nov.						Cours 12	TP 9
29 nov. – 5 déc.						Examen Intra 3	TP 10
6 déc. – 16 déc. (examen final)				X		Pas de cours	Pas de TP

Si vous avez indiqué des heures de travail sous la catégorie « Autre », veuillez préciser le type d'activités dont il est question : _____

ANNEXE D – SONDAGES

SONDAGE - CLASSE INVERSÉE (GROUPE 1)

Prénom et nom : _____

Q1. Avez-vous assisté à des séances de cours dans un autre groupe de MEC423 : OUI NON

Pour les questions Q2 à Q7, encerclez le chiffre compris entre 1 et 9 qui représente le mieux dans quelle mesure vous êtes en désaccord (1 = Fortement en désaccord) ou en accord (9 = Fortement en accord) avec les affirmations suivantes :

	Fortement en désaccord		En désaccord		Ni en accord ni en désaccord		En accord		Fortement en accord
	↓		↓		↓		↓		↓
Q2. J'étais en mesure d'assimiler toute la nouvelle matière en lisant les notes de cours et en visionnant les vidéos avant les cours.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q3. 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.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q4. Je me sentais compétent-e pour réussir les examens après avoir ...									
a) ... lu les notes de cours et visionné les vidéos.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
b) ... résolu les exercices.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q5. Les liens sociaux développés avec mes collègues de classe et mon professeur durant les séances de cours ont facilité mon apprentissage.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q6. Il était facile pour moi de résoudre les exercices ...									
a) ... à l'extérieur des heures de cours et de TP.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
b) ... durant les séances de cours ou de TP.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q7. Je suis satisfait-e du cours MEC423.	1	2	3	4	5	6	7	8	9

SONDAGE - CLASSE TRADITIONNELLE (GROUPE 2)

Prénom et nom : _____

Q1. Avez-vous assisté à des séances de cours dans un autre groupe de MEC423 : OUI NON

Pour les questions Q2 à Q7, encerclez un chiffre compris entre 1 et 9 qui représente le mieux dans quelle mesure vous êtes en désaccord (1 = Fortement en désaccord) ou en accord (9 = Fortement en accord) avec les affirmations suivantes :

	Fortement en désaccord		En désaccord		Ni en accord ni en désaccord		En accord		Fortement en accord
	↓		↓		↓		↓		↓
Q2. J'étais en mesure d'assimiler toute la nouvelle matière en assistant aux exposés magistraux du professeur.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q3. J'avais l'impression d'avoir une certaine autonomie sur le déroulement de mes apprentissages lors des exposés magistraux du professeur.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q4. Je me sentais compétent-e pour réussir les examens après avoir ...									
a) ... assisté aux exposés magistraux du professeur.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
b) ... résolu les exercices.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q5. Les liens sociaux développés avec mes collègues de classe et mon professeur durant les séances de cours ont facilité mon apprentissage.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q6. Il était facile pour moi de résoudre les exercices ...									
a) ... à l'extérieur des heures de cours et de TP.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
b) ... durant les séances de cours ou de TP.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q7. Je suis satisfait-e du cours MEC423.	1	2	3	4	5	6	7	8	9

RÉFÉRENCES

- Abeysekera, L., et 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. <http://dx.doi.org/10.1080/07294360.2014.934336>
- Al Jassmi, H., Ramesh, S., El-Maaddawy, T., Alqahtani, O., et Ahmed, W. K. (2019). *A Pilot Study on Civil Engineering Students Acceptance to a Flipped Classrooms Pedagogy*. Communication présentée 2019 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET).
- Al Mamun, M. A., Azad, M. A. K., et Boyle, M. (2021). Review of flipped learning in engineering education: Scientific mapping and research horizon. *Education and Information Technologies*, 1-26. <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.1007/s10639-021-10630-z>
- Bansal, S., Bansal, M., Ahmad, K. A., et Pandey, J. (2020). Effects of a flipped classroom approach on learning outcomes of higher and lower performing medical students: A new insight. *Advances in Educational Research and Evaluation*, 1(1), 24-31. <http://dx.doi.org/10.25082/AERE.2020.01.005>
- Barbeau, D. (1994). *Analyse de déterminants et d'indicateurs de la motivation scolaire d'élèves du collégial*: Collège de Bois-de-Boulogne; Programme d'aide à la recherche sur l ...
- Beattie, I. R., et Thiele, M. (2016). Connecting in Class? College Class Size and Inequality in Academic Social Capital. *The Journal of Higher Education*, 87(3), 332-362. <http://dx.doi.org/10.1080/00221546.2016.11777405>
- Bidwell, A. (2014). Flipped classroom may help weaker STEM students. *US News and World Report*.
- Bloom, B. S. (1956). Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. *Cognitive domain*.
- Brewe, E., Dou, R., et Shand, R. (2018). Costs of success: Financial implications of implementation of active learning in introductory physics courses for students and administrators. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), 010109.
- Brewer, R., et 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. <http://dx.doi.org/10.1111/jcal.12250>
- Butt, A. (2014). Student views on the use of a flipped classroom approach: Evidence from Australia. *Business Education & Accreditation*, 6(1), 33-43.

- Chamberland, G., Lavoie, L., et Marquis, D. (1995). *20 formules pédagogiques*: Presses de l'Université du Québec.
- 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.
- Cho, H. J., Zhao, K., Lee, C. R., Runshe, D., et 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. <http://dx.doi.org/10.1186/s40594-021-00302-2>
- Deci, E. L., et Ryan, R. M. (2015). Self-Determination Theory *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition* (pp. 486-491).
- Deci, E. L., Vallerand, R. J., Pelletier, L. G., et Ryan, R. M. (1991). Motivation and education: The self-determination perspective. *Educational psychologist*, 26(3-4), 325-346.
- Demers, S. (2016). L'efficacité: une finalité digne de l'éducation? *McGill Journal of Education/Revue des sciences de l'éducation de McGill*, 51(2), 961-971.
- Docherty, P. D., Zaka, P. A., et Fox-Turnbull, W. (2021). A quantitative analysis of the short-term and mid-term benefit of a flipped classroom for foundational engineering dynamics. *Research Papers in Education*, 1-15. <http://dx.doi.org/10.1080/02671522.2020.1864773>
- Dumont, A., et Berthiaume, D. (2016). *La pédagogie inversée: Enseigner autrement dans le supérieur par la classe inversée*: De Boeck Supérieur.
- FLN, F. L. N. (2014). The Four Pillars of F-L-I-P.
- Fortin, M. F., et Gagnon, J. (2016). Fondements et étapes du processus de recherche: méthodes quantitatives et qualitatives. 3e édition ed. *Montréal: Chenelière éducation*.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., et Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Gaudreau, L. (2011). *Guide pratique pour créer et évaluer une recherche scientifique en éducation*: Guérin.
- Gilboy, M. B., Heinerichs, S., et Pazzaglia, G. (2015). Enhancing student engagement using the flipped classroom. *J Nutr Educ Behav*, 47(1), 109-114. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jneb.2014.08.008>

- Goedhart, N., Blignaut-van Westrhenen, N., Moser, C., et Zweekhorst, M. (2019). The flipped classroom: supporting a diverse group of students in their learning. *Learning Environments Research*, 22(2), 297-310. <http://dx.doi.org/10.1007/s10984-019-09281-2>
- Goldstein, E. B. (2014). *Cognitive psychology: Connecting mind, research and everyday experience*: Nelson Education.
- Gómez-Tejedor, J. A., Vidaurre, A., Tort-Ausina, I., Molina-Mateo, J., Serrano, M.-A., Meseguer-Dueñas, J. M., . . . Riera, J. (2020). Effectiveness of flip teaching on engineering students' performance in the physics lab. *Computers & Education*, 144, 103708. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103708>
- Guilbault, M., et Viau-Guay, A. (2017). La classe inversée comme approche pédagogique en enseignement supérieur: état des connaissances scientifiques et recommandations. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 33(33-1).
- Han, J., et Yin, H. (2016). Teacher motivation: Definition, research development and implications for teachers. *Cogent Education*, 3(1), 1217819. <http://dx.doi.org/10.1080/2331186X.2016.1217819>
- Harris, J., et Park, C. (2016). A case study on blended learning in engineering education. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*.
- Hassan, M. H. A., et Othman, N. A. (2021). Flipped Classroom Approach in Rigid Body Dynamics: A Case Study of Five-Semester Observation. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 11(1). <http://dx.doi.org/10.3991/ijep.v11i1.15005>
- Karabulut-Ilgu, A., Jaramillo Cherez, N., et 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. <http://dx.doi.org/10.1111/bjet.12548>
- Karaca, C., et Ocak, M. (2017). Effect of flipped learning on cognitive load: A higher education research. *Journal of Learning and Teaching in Digital Age*, 2(1), 20-27.
- Kiat, P. N., et Kwong, Y. T. (2014). *The flipped classroom experience*. Communication présentée 2014 IEEE 27th Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE&T).
- King, A. (1993). From sage on the stage to guide on the side. *College teaching*, 41(1), 30-35.
- Kirschner, F., Paas, F., et Kirschner, P. A. (2011). Task complexity as a driver for collaborative learning efficiency: The collective working-memory effect. *Applied Cognitive Psychology*, 25(4), 615-624. <http://dx.doi.org/10.1002/acp.1730>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., Kirschner, F., et Zambrano, J. (2018). From cognitive load theory to collaborative cognitive load theory. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 13(2), 213-233. <http://dx.doi.org/10.1007/s11412-018-9277-y>

- Koska, S., et Condra, L. (2018). More time for hands-on learning: Flipping the engineering classroom in a polytechnic. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*.
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into practice*, 41(4), 212-218. http://dx.doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2
- Lage, M. J., Platt, G. J., et Treglia, M. (2000). Inverting the classroom: A gateway to creating an inclusive learning environment. *The Journal of Economic Education*, 31(1), 30-43.
- Lee, S., et Lee, D. K. (2018). What is the proper way to apply the multiple comparison test? *Korean journal of anesthesiology*, 71(5), 353. <http://dx.doi.org/10.4097/kja.d.18.00242>
- Lo, C. K., et 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. <http://dx.doi.org/10.1002/jee.20293>
- Love, B., Hodge, A., Grandgenett, N., et Swift, A. W. (2014). Student learning and perceptions in a flipped linear algebra course. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 45(3), 317-324. <http://dx.doi.org/10.1080/0020739X.2013.822582>
- Mainardes, E., Alves, H., et Raposo, M. (2014). Using expectations and satisfaction to measure the frontiers of efficiency in public universities. *Tertiary Education and Management*, 20(4), 339-353. <http://dx.doi.org/10.1080/13583883.2014.978358>
- Mason, G. S., Shuman, T. R., et Cook, K. E. (2013). Comparing the effectiveness of an inverted classroom to a traditional classroom in an upper-division engineering course. *IEEE transactions on education*, 56(4), 430-435.
- Mayer, R. E. (2019). Thirty years of research on online learning. *Applied Cognitive Psychology*, 33(2), 152-159. <http://dx.doi.org/10.1002/acp.3482>
- Messier, G. (2014). Proposition d'un réseau conceptuel initial qui précise et illustre la nature, la structure ainsi que la dynamique des concepts apparentés au terme méthode en pédagogie: Université du Québec à Montréal.
- Moffett, J. (2015). Twelve tips for “flipping” the classroom. *Medical teacher*, 37(4), 331-336. <http://dx.doi.org/10.3109/0142159X.2014.943710>
- Mohamed, A. (2020). *Evaluating the Effectiveness of Flipped Teaching in a Mixed-Ability CS1 Course*. Communication présentée Proceedings of the 2020 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education.
- Mok, H. N. (2014). Teaching tip: The flipped classroom. *Journal of information systems education*, 25(1), 7.

- Morgan, C. J. (2017). Use of proper statistical techniques for research studies with small samples. *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, 313(5), L873-L877. <http://dx.doi.org/10.1152/ajplung.00238.2017>
- Morin, M. B., Kecskemety, K. M., Harper, K. A., et Clingan, P. A. (2013). The inverted classroom in a first-year engineering course. *age*, 23, 1.
- Nelson, N. (2014). Flipping the engineering classroom. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*.
- Nelson, N., et Brennan, R. (2018). A snapshot of engineering education in Canada. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*.
- Nyamapfene, A. (2010). Does class attendance still matter? *engineering education*, 5(1), 64-74. <http://dx.doi.org/10.11120/ened.2010.05010064>
- O'Flaherty, J., et Phillips, C. (2015). The use of flipped classrooms in higher education: A scoping review. *The internet and higher education*, 25, 85-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iheduc.2015.02.002>
- olde Scholtenhuis, L., Vahdatikhaki, F., et Rouwenhorst, C. (2020). Flipped microlecture classes: satisfied learners and higher performance? *European Journal of Engineering Education*, 1-22. <http://dx.doi.org/10.1080/03043797.2020.1819961>
- Orru, G., et Longo, L. (2018). *The evolution of cognitive load theory and the measurement of its intrinsic, extraneous and Germane loads: a review*. Communication présentée International Symposium on Human Mental Workload: Models and Applications.
- Paas, F., Renkl, A., et Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational psychologist*, 38(1), 1-4. http://dx.doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1
- Paas, F., et Sweller, J. (2012). An evolutionary upgrade of cognitive load theory: Using the human motor system and collaboration to support the learning of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 24(1), 27-45. <http://dx.doi.org/10.1007/s10648-011-9179-2>
- Paas, F. G., et 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.
- Pallant, J. (2020). *SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using IBM SPSS*: Routledge.
- Péladeau, N., Forget, J., et Gagné, F. (2005). Le transfert des apprentissages et la réforme de l'éducation au Québec: quelques mises au point. *Revue des sciences de l'éducation*, 31(1), 187-209. <http://dx.doi.org/10.7202/012364ar>

- Poellhuber, B., Roy, N., Caron, F., Chouinard, R., Meyer, F., Lison, C., Laberge, V., Fortin, M.N., Tremblay, C., Bouchoucha, I. (2017). La classe inversée : une recherche-action-formation pour développer une approche ayant un impact sur l'engagement, la motivation et la réussite. *Fonds de recherche, société et culture du Québec - Programme Actions concertées*, 270.
- Prégent, R. (1990). *La préparation d'un cours*: Presses inter Polytechnique.
- Ramsden, P. (2003). *Learning to teach in higher education*: Routledge.
- Roberts, D. (2019). Higher education lectures: From passive to active learning via imagery? *Active Learning in Higher Education*, 20(1), 63-77. <http://dx.doi.org/10.1177/1469787417731198>
- Roegiers, X. (2012). Quelles réformes pédagogiques pour l'enseignement supérieur?: l'intégration des acquis, une piste pour placer l'efficacité au service de l'humanisme.
- Ryan, R. M., et Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American psychologist*, 55(1), 68. <http://dx.doi.org/10.1037110003-066X.55.1.68>
- Seery, M. K., et Donnelly, R. (2012). The implementation of pre-lecture resources to reduce in-class cognitive load: A case study for higher education chemistry. *British Journal of Educational Technology*, 43(4), 667-677. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8535.2011.01237.x>
- Selvakumar, S., et Sivakumar, P. (2019). The Impact of Blended Learning Environment on Academic Achievement of Engineering Students. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(12), 3782-3787. <http://dx.doi.org/10.35940/ijitee.L3825.1081219>
- Sergis, S., Sampson, D. G., et Pelliccione, L. (2018). Investigating the impact of Flipped Classroom on students' learning experiences: A Self-Determination Theory approach. *Computers in Human Behavior*, 78, 368-378. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2017.08.011>
- Shannon, J. (1936). A comparison of three means for measuring efficiency in teaching. *The Journal of Educational Research*, 29(7), 501-508.
- Sharples, M., Adams, A., Ferguson, R., Mark, G., McAndrew, P., Rienties, B., . . . Whitelock, D. (2014). *Innovating pedagogy 2014: exploring new forms of teaching, learning and assessment, to guide educators and policy makers*: The Open University.
- Simko, T., Pinar, I., Pearson, A., Huang, J., Mutch, G., Patwary, A. S., . . . Ryan, K. (2019). Flipped learning—a case study of enhanced student success. *Australasian Journal of Engineering Education*, 24(1), 35-47. <http://dx.doi.org/10.1080/22054952.2019.1617650>

- Stover, S., et Houston, M. (2019). Designing Flipped-Classrooms to be Taught with Limited Resources: Impact on Students' Attitudes and Learning. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 19(3). <http://dx.doi.org/10.14434/josotl.v19i2.23868>
- Strayer, J. F. (2012). How learning in an inverted classroom influences cooperation, innovation and task orientation. *Learning Environments Research*, 15(2), 171-193. <http://dx.doi.org/10.1007/s10984-012-9108-4>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science*, 12(2), 257-285.
- Sweller, J. (2016). Cognitive load theory, evolutionary educational psychology, and instructional design *Evolutionary perspectives on child development and education* (pp. 291-306): Springer.
- Sweller, J., et Cooper, G. A. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and instruction*, 2(1), 59-89.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J., et Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 1-32. <http://dx.doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J., et Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Talbert, R. (2017). *Flipped learning: A guide for higher education faculty*: Stylus Publishing, LLC.
- Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique : l'apport de la psychologie cognitive*. Montréal: Éditions Logiques.
- Taylor, D. (2018). A Case-Control Study of Student Performance in a Blended Learning Environment. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*.
- Terriault, P. (2019). Apprentissage actif fondé sur la classe inversée dans un cours de génie mécanique. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*.
- Tournier, M. (1978). *Typologies des formules pédagogiques*: Griffon d'argile.
- Tremblay-Wragg, É. (2018). Utilisation de stratégies pédagogiques diversifiées par quatre formateurs universitaires: quelle participation à la motivation à apprendre de leurs étudiants?
- Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. *Revue de Psychologie de l'Éducation*, 3, 37-64.
- Turan, Z., et Goktas, Y. (2016). The Flipped Classroom: instructional efficiency and impact of achievement and cognitive load levels. *Journal of e-learning and knowledge Society*, 12(4).

Viau, R. (2009). *La motivation à apprendre en milieu scolaire*: Erpi.

Wagner, D., Laforge, P., et Cripps, D. (2013). Lecture material retention: A first trial report on flipped classroom strategies in electronic systems engineering at the University of Regina. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*.

Wills-Gordon, M. (2016). Flipping My Class; A Shift in Perspective. *ORTESOL Journal*, 33, 60-62.

Wilson, E. (2017). Will social media replace face-to-face interaction in higher education? Repéré à <https://blogs.lse.ac.uk/lti/2017/10/03/will-social-media-replace-face-to-face-interaction-in-higher-education/>

Yough, M., Merzdorf, H. E., Fedesco, H. N., et Cho, H. J. (2019). Flipping the classroom in teacher education: Implications for motivation and learning. *Journal of Teacher Education*, 70(5), 410-422. <http://dx.doi.org/10.1177/002248711774288>