

Un organisme du gouvernement de l'Ontario

Boucler la boucle de conception de la première année en génie : la modélisation et la simulation pour la conception itérative

Thomas E. Doyle, Jon-Michael J. Booth,
David M. Musson
Université McMaster



Publié par le

Conseil ontarien de la qualité de l'enseignement supérieur

1, rue Yonge, bureau 2402
Toronto (Ont.) Canada, M5E 1E5

Téléphone : 416 212-3893
Télécopieur : 416 212-3899
Site Web : www.heqco.ca
Courriel : info@heqco.ca

Citer ce document comme suit :

Doyle, T. E., Booth, J-M. J. et D.M. Musson (2015), *Boucler la boucle de conception de la première année en génie : la modélisation et la simulation pour la conception itérative*, Toronto, Conseil ontarien de la qualité de l'enseignement supérieur.



Un organisme du gouvernement de l'Ontario

Les opinions exprimées dans le présent rapport de recherche sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement le point de vue ni les politiques officielles du Conseil ontarien de la qualité de l'enseignement supérieur ou des autres organismes ou organisations ayant offert leur soutien, financier ou autre, dans le cadre de ce projet. © Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, 2015.

Table des matières

1	Synthèse	6
2	Introduction	7
3	Examen de la documentation	8
	3.1 L'enseignement de la conception en génie : la pratique et la théorie	8
	3.1.1 L'apprentissage expérientiel concret.....	8
	3.1.2 L'apprentissage expérientiel par la simulation.....	10
	3.1.3 L'apprentissage et la visualisation par projets.....	11
	3.2 Autoefficacité	11
	3.2.1 L'autoefficacité et la formation en génie.....	12
4	Mise en œuvre	14
	4.1 La forme par rapport à la fonction.....	16
	4.2 Mécanismes	16
	4.3 Démarche et modélisation des systèmes	17
	4.4 Prototypage rapide	18
	4.5 Questions de recherche	18
5	Méthodologie.....	19
	5.1 Participants	19
	5.2 Collecte des données	19
	5.2.1 Quand les données ont-elles été recueillies?	20
	5.2.2 Comment les données ont-elles été recueillies?	20
	5.2.3 Rémunération	21
	5.2.4 Retrait des participants.....	21
	5.2.5 Confidentialité	21
	5.3 Échelle d'autoefficacité.....	22
	5.3.1 Mise au point d'une échelle d'autoefficacité relative à la conception en génie	22
	5.4 Justification de l'échelle	23
	5.5 Instruments	23

5.6	Données sur le rendement.....	24
5.7	Méthodes d'analyse des données.....	24
6	Résultats.....	25
6.1	Population.....	25
6.2	Instruments d'autoefficacité.....	26
6.3	Instruments au début et à la fin de la session.....	26
6.4	Rendement.....	29
6.5	Visualisation.....	33
7	Analyse.....	34
7.1	Perception.....	35
7.2	Rendement.....	36
7.3	Visualisation.....	37
8	Conclusion.....	37
	Bibliographie.....	39

Liste des graphiques

Graphique 1: Exemple de conception et de prototype fourni par un étudiant.....	18
Graphique 2 : Autoefficacité au début et à la fin de la session	27
Graphique 3 : Données sur le rendement dans le projet recueillies auprès de 170 étudiants	30
Graphique 4 : Données sur le rendement à l'examen recueillies auprès de 170 étudiants.....	30
Graphique 5 : Données sur le rendement dans le cours recueillies auprès de 170 étudiants	31
Graphique 6 : Notes agrégées en visualisation d'une cohorte de première année à l'autre	34

Liste des tableaux

Tableau 1: Progression du cours de conception technique donné en première année : 2006, 2009, 2011, 2012	15
Tableau 2 : Statistiques de la population par session.....	25
Tableau 3 : Statistiques de la population par modalité	26
Tableau 4 : Notes de l'autoefficacité au début et à la fin de la session	27
Tableau 5 : Autoefficacité moyenne entre la période 1 et la période 2.....	28
Tableau 6 : Résultats de l'autoefficacité après l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur	28
Tableau 7 : Notes du rendement dans le projet (en pourcentage)	29
Tableau 8 : Note du rendement à l'examen final et du rendement final dans le cours.....	29
Tableau 9 : Résultats des notes du rendement après l'ANOVA à un facteur	32
Tableau 10 : Test post-hoc de Tukey des notes du rendement.....	33
Tableau 11 : Rendement en visualisation d'une cohorte à l'autre	34

Remerciements

Les auteurs tiennent à souligner l'appui du Conseil ontarien de la qualité de l'enseignement supérieur, de MapleSoft et de Studica. Ils souhaitent également remercier le corps professoral qui enseigne aux étudiants en première année du programme de génie à l'Université McMaster.

1 Synthèse

Qui dit génie dit conception. Si cette dernière aptitude est intrinsèquement comprise par les ingénieurs chevronnés, elle compte également parmi les thèmes les plus difficiles à enseigner. À l'Université McMaster, tous les étudiants de première année en génie sont tenus de suivre le cours ENG IC03 (Conception et éléments graphiques). Dans ce cours, les étudiants apprennent le dessin à la main, la modélisation solide 3D, la simulation de systèmes et le prototypage rapide 3D, puis ils s'investissent en définitive dans un projet de conception de trains d'engrenage faisant appel à un amalgame des thèmes de base du cours. Les étudiants forment eux-mêmes des équipes de trois, puis des séances en laboratoire leur sont attribuées de façon aléatoire suivant l'une des trois modalités d'achèvement du projet de conception : la simulation (SIM), où les étudiants produisent une conception puis vérifient celle-ci à l'aide d'un outil de simulation; le prototypage (PRT), où ils se servent d'une imprimante 3D pour créer le modèle plastique fonctionnel d'une conception; ou la simulation et le prototypage (SIM+PRT), où ils ont recours aux deux outils pour réaliser une conception.

Le présent document traite des résultats obtenus par les étudiants quant à leur autoefficacité et à leur rendement dans les trois modalités susmentionnées du projet de conception. L'hypothèse posée ici est la suivante : les étudiants qui exécutent un projet de conception au moyen de la simulation et du prototypage (SIM+PRT) obtiendront les notes les plus élevées dans l'une et l'autre de ces modalités.

Afin de mesurer l'autoefficacité, nous avons mis au point et validé une nouvelle échelle (autoefficacité de conception en génie). Nous avons sondé les groupes avant et après l'achèvement du projet de conception. Les données recueillies dans le cadre de l'étude en question ici avaient trait à la note de l'étudiant dans le projet, à la note du groupe dans le projet, à la note totale dans le projet ainsi qu'à la note finale dans le cours. L'analyse statistique des différences dans les données de l'enquête et sur le rendement s'est faite à l'aide d'une analyse de la variance (appelée ANOVA).

Il ressort des résultats obtenus une hausse globale de l'autoefficacité entre le début et la fin de la session quant à l'ensemble des modalités du projet de conception. Ce sont les étudiants de la modalité de la simulation (SIM) qui ont affiché le rendement le plus élevé en ce qui touche la note du groupe dans le projet et la note totale dans le projet. Il n'y avait pas de différence significative entre les modalités relatives à l'autoefficacité, à la note de l'étudiant dans le projet, à la note à l'examen final ou à la note finale dans le cours.

D'après les constatations, il y a lieu que les concepteurs de cours de génie envisagent l'ajout d'exercices d'apprentissage expérientiel comme la simulation et le prototypage, dans l'optique d'accroître l'autoefficacité, la participation professionnelle et le rendement des étudiants. Tant les concepteurs de cours de génie que les membres du personnel enseignant qui cherchent à ajouter des éléments de simulation ou de prototypage rapide aux cours de conception donnés aux étudiants de première année en génie considéreront comme pertinent le contenu du présent document.

Selon les résultats de notre étude :

1. L'apprentissage expérientiel au moyen d'un projet de conception faisant appel à une modalité de simulation ou de prototypage peut favoriser un accroissement de l'autoefficacité.
2. En ce qui concerne les projets où interviennent la modalité de la simulation (SIM), la note relative au rendement (du groupe et totale) dans le projet surpassait celle obtenue dans les projets selon la modalité de la simulation et du prototypage (SIM+PRT) ou du prototypage (PRT) seulement.
3. En ce qui touche les projets où il y a une modalité de prototypage (PRT ou SIM+PRT), les étudiants ont obtenu au chapitre de la visualisation un rendement égal ou supérieur à celui des cohortes ayant préalablement suivi le cours, les meilleurs résultats se rapportant à la modalité SIM+PRT.

Enfin, le présent document montre que l'apprentissage expérientiel au moyen d'un projet de conception faisant appel à une modalité de simulation ou de prototypage peut favoriser un accroissement de l'autoefficacité. D'après la théorie de l'autoefficacité, un sentiment accru d'autoefficacité peut entraîner une amélioration du rendement chez l'étudiant. Dans le projet de conception, les étudiants qui ont obtenu la meilleure note au chapitre du rendement sont ceux dont le projet de conception faisait intervenir la modalité de la simulation.

2 Introduction

La conception assistée par ordinateur (CAO) forme une composante importante de la trousse d'outils de chaque ingénieur. Si la CAO est habituellement perçue comme un logiciel de dessins techniques, sa description s'est élargie par suite de la récente instauration des « imprimantes tridimensionnelles » à coût moindre et pour prototypage rapide. Pendant que la CAO continue de faire progresser la modélisation des pièces et des assemblages, la capacité de tenir et mettre à l'essai de tels modèles constitue un élément fascinant auquel, à notre sens, il fallait exposer les étudiants dès les premiers stades de leur formation en génie. De coutume, la méthode d'enseignement du cours « Conception et éléments graphiques » donné aux étudiants de première année en génie était axée sur la forme. Or, lorsque les étudiants peuvent faire passer leur conception de l'étape conceptuelle à celle de la création, nous pouvons alors également envisager et évaluer la fonction.

Toutefois, étant donné l'investissement requis en ressources pour créer et appuyer un tel ajout à la méthode d'enseignement employée habituellement pour donner le cours Conception et éléments graphiques, nous avons d'abord proposé une étude pilote afin d'examiner les avantages que procurent aux étudiants de première année en génie les trois différents types ou modalités de projets de conception :

- 1) la simulation complète (SIM);
- 2) le prototypage rapide complet (PRT);
- 3) la simulation et le prototypage rapide en combinaison (SIM+PRT).

Dans l'étude de ces modalités, nous envisageons d'apprendre comment celles-ci pouvaient rehausser l'apprentissage par l'évaluation, d'une part, des perceptions des étudiants quant à leurs expériences dans chaque modalité et, d'autre part, du rendement des étudiants dans le cours.

3 Examen de la documentation

Dans les pages suivantes, l'examen de la documentation est réparti en deux sections : la première présente une analyse des tendances modernes dans l'enseignement de la conception en génie, tandis que la deuxième traite de la documentation sur l'autoefficacité en lien avec l'enseignement de la conception en génie.

3.1 L'enseignement de la conception en génie : la pratique et la théorie

L'enseignement moderne de la conception en génie porte de plus en plus sur l'apprentissage de type expérientiel. Bien que l'apprentissage prenne de nombreuses formes [(Krathwohl (2002); Mayer (2002); Pintrich (2002))], nous avons restreint notre analyse à l'apprentissage expérientiel concret et par la simulation, puisqu'il s'agit des formes les plus pertinentes dans le cadre de notre projet.

3.1.1 L'apprentissage expérientiel concret

Dans une étude réalisée par des chercheurs du Rochester Institute of Technology, il est décrit comment l'apprentissage des étudiants peut être rehaussé par l'intégration d'un modèle d'apprentissage expérientiel à un cours de thermodynamique donné à des étudiants de troisième année. La méthodologie employée dans ce cas-ci s'appuie sur le modèle d'apprentissage expérientiel de Kolb [Kolb (1984)]. Au début du cours, les étudiants présentaient divers niveaux d'expérience et en étaient peut-être au premier ou au deuxième stade de ce modèle. La salle de cours s'est révélée le lieu idéal pour donner de l'information au sujet du premier stade et du deuxième stade, de façon à ce que les niveaux d'expérience des étudiants soient semblables au bout du compte [Bailey et Chambers (2004)]. Les étudiants ont créé divers dispositifs physiques en lien avec les thèmes du cours, ce qui leur a permis de faire une expérimentation (stade quatre) et de procéder à une observation réfléchie (stade deux), plutôt que de simplement écouter une séance magistrale ou une discussion. De façon idéale, les étudiants allaient alors être en mesure d'entrevoir les résultats possibles (la conceptualisation, laquelle correspond au stade trois) [Bailey et Chambers (2002)]. D'après les évaluations des étudiants, le cours a semblé atteindre ses objectifs en matière d'apprentissage. En outre, ce cours a fait l'objet de la plus forte satisfaction des étudiants parmi tous les cours donnés au département, et les résultats relatifs à la version expérientielle améliorée du cours étaient supérieurs à ceux de la version d'origine (non expérientielle) [Bailey et Chambers (2004)].

Dans une étude sur la robotique éducative, les chercheurs ont utilisé un modèle concret expérientiel pour donner à des étudiants de niveau collégial technique, secondaire ou universitaire une formation et faire progresser leur maturité intellectuelle [Verner et Korchnoy (2005)]. Le cours de robotique par projets était fondé sur un cursus privilégiant la conception, la construction et la mise en marche de robots autonomes.

Les étudiants ont employé des trousse de robotique comportant des pièces mécaniques pour construire divers robots en ayant certaines tâches à l'esprit, après quoi ils ont programmé les motions et mouvements des robots servant à l'exécution des tâches en question. Le cours avait pour objet d'intégrer la physique et la mécanique technique à un contexte général, et la robotique constituait une démarche possible à ce chapitre. Les étudiants ont acquis de l'expérience en commande des machines, en mise en pratique de la synthèse et de l'analyse des mécanismes, en perfectionnement des capacités d'imagerie spatiale et de visualisation, de même qu'en acquisition de compétences sur les plans créatif, technique et pratique [Verner et Korchnoy (2005)]. Les évaluations du cours faites par les étudiants montrent que ces derniers en sont venus à mieux comprendre les mécanismes de la modélisation physique et l'analyse s'y rapportant. L'étude des mécanismes dans un milieu axé sur la robotique et la CAO a intéressé et motivé au plus haut point les étudiants. Le rapport de l'étude en vient à la conclusion que les activités comportant du matériel de manipulation numérique peuvent favoriser la concrétisation des objectifs d'apprentissage, et que la conception et la mise en fonction d'activités pratiques à l'aide de trousse de robotique peuvent accroître chez les étudiants la compréhension des concepts de mécanique et favoriser le perfectionnement de leurs compétences en matière d'imagerie spatiale et de visualisation [Verner et Korchnoy (2005)].

Selon les chercheurs de l'Université du Michigan, la formation des ingénieurs doit aider ces derniers à devenir des innovateurs créatifs. Pour ce faire, trois programmes complémentaires d'apprentissage ont été instaurés : un programme de conception multidisciplinaire, un programme d'entrepreneuriat et un programme de génie international. Les auteurs Conger et al. (2010) avancent que si les nouveaux étudiants étaient habituellement emballés à propos des travaux de génie et de conception et des futures retombées éventuelles que ceux-ci pourraient comporter, ils avaient souvent peine à comprendre le lien entre les connaissances acquises en classe et leur future profession. Plutôt que de prêter attention aux programmes de génie et de science sous leur forme classique, les nouveaux programmes expérientiels mettaient en valeur la dimension créative du génie. Dans le programme de conception multidisciplinaire, on a intégré des expériences concrètes aux cours axés sur les expériences déterminantes et traditionnelles en génie et on a mis de l'avant sur plusieurs sessions des expériences recoupant tout le cycle conception-fabrication-mise à l'essai (CFM). Le programme d'entrepreneuriat était axé sur les programmes de participation afin que les étudiants en génie adoptent une mentalité entrepreneuriale par la prestation d'activités concrètes, lesquelles aidaient ces derniers à constater l'évolution de leurs plans jusqu'à l'étape de concrétisation. Quant au programme de génie international, il avait pour objectif d'accroître le nombre d'étudiants ayant acquis une expérience internationale par la prestation de programmes d'études, de stages, d'occasions de travail bénévole et de possibilités de recherche à l'extérieur du pays. L'objet de ces nouveaux programmes expérientiels consistait à raffermir des méthodes permettant aux étudiants d'acquérir l'expérience et la pratique nécessaires à la réalisation de leurs solutions aux problèmes mondiaux [Conger et al. (2010)].

Globalement, ces trois études révèlent quelques façons par lesquelles l'apprentissage expérientiel s'intègre aux programmes d'études postsecondaires en génie, et mettent en relief le fait que de tels ajouts ont souvent pour effet d'accroître la satisfaction des étudiants.

3.1.2 L'apprentissage expérientiel par la simulation

L'instauration de l'apprentissage par la simulation constitue un moyen possible d'intégrer la formation expérientielle à un cours de génie. L'apprentissage par la simulation (APS) fait appel à l'utilisation d'outils de conception assistés par ordinateur pour créer des modèles mathématiques complexes se rapportant à des structures et mécanismes du monde réel. Ces modèles peuvent ensuite servir à la tenue d'expérimentations au sein d'un environnement virtuel dans l'ordinateur, ce qui se révèle particulièrement utile dans les domaines où la création d'un modèle ou d'un prototype du monde réel risque de coûter trop cher ou d'être trop dangereuse.

Une étude s'est penchée sur les perceptions des étudiants quant à l'apprentissage par simulation et son rapport avec les résultats d'apprentissage. Les chercheurs ont constaté que, parmi toutes les méthodes pédagogiques assistées par ordinateur, l'apprentissage par la simulation (APS) était généralement perçu comme l'une des plus souples et fructueuses. Cette étude révèle également que les résultats d'apprentissage d'un étudiant sont étroitement liés à l'attrait qu'exerce l'outil d'apprentissage par la simulation chez ce dernier, et que la compréhension de l'outil et de son usage sont en forte corrélation avec la participation [Lin et al. (2012)]. Un outil d'apprentissage par la simulation dont l'attrait est davantage perçu se traduira donc par une participation accrue chez l'étudiant qui se sert de cet outil, ce qui pourra ensuite entraîner une amélioration du résultat d'apprentissage [Lin et al. (2012)].

Selon une autre étude réalisée en 2010, l'ajout de laboratoires virtuels à l'aide d'une simulation 3D interactive aux processus pédagogiques classiques peut également comporter des avantages appréciables quant à l'apprentissage des étudiants [Koh et al. (2010)]. En un tel contexte, l'apprentissage autonome peut rehausser la motivation et la participation des étudiants, atténuer les besoins en ressources et en locaux, et diminuer les coûts comparativement à l'utilisation de laboratoires non virtuels [Koh et al. (2010)]. Les environnements simulés permettent de reproduire à peu de choses près un environnement propre au monde réel et ont pour avantage de donner l'occasion d'étudier des situations qui, autrement, se révéleraient difficiles, dangereuses ou malcommodes à approfondir. En règle générale, l'apprentissage par la simulation peut accroître le savoir-faire des étudiants et favoriser l'apprentissage en toute autonomie, pendant que la simulation par ordinateur qui est source d'expériences d'apprentissage interactives et de première main peut également augmenter la motivation des étudiants et accroître leur maîtrise des aptitudes [Koh et al. (2010)]. Les constatations semblent indiquer que les besoins fondamentaux des étudiants en matière de savoir-faire, de mise en correspondance et d'autonomie étaient comblés, et elles portent à croire que l'apprentissage par la simulation peut potentiellement accroître leur esprit de discipline en ce qui touche la motivation de même qu'augmenter leurs capacités de compréhension et de mise en application [Koh et al. (2010)]. D'autres constatations révèlent que les effets de l'apprentissage par la simulation ont varié selon les antécédents scolaires des étudiants, leur sexe et leur bonne connaissance de la technologie, et que ces facteurs risquent de nuire à l'efficacité de la mise en œuvre.

3.1.3 L'apprentissage et la visualisation par projets

En ce qui concerne l'apprentissage par projets (APP), à ne pas confondre avec l'apprentissage par la résolution de problèmes (ARP), la documentation s'y rapportant révèle qu'il est de plus en plus adopté à l'étranger dans la formation en génie. Toutefois, des enquêtes auprès du corps professoral font état d'une réticence à mettre en œuvre l'APP d'ici à ce que son efficacité théorique soit attestée. Les auteurs sont d'avis que les études comme celles relatées ici contribueront à orienter le recours à l'APP dans une gamme élargie de thèmes relatifs au génie.

Dans leur article sur la perception visuelle, les auteurs Cölln et al. (2012) ont constaté que les étudiants ayant manipulé des modèles tridimensionnels interactifs de CAO réussissaient mieux que ceux qui n'avaient manipulé que des dessins techniques bidimensionnels ou tridimensionnels statiques de CAO. Voilà de quoi appuyer l'hypothèse selon laquelle l'apprentissage par la simulation au moyen de modèles tridimensionnels interactifs peut rehausser le rendement de l'étudiant en matière de visualisation.

3.2 Autoefficacité

Les concepts d'autoefficacité et de confiance en soi suscitent souvent des malentendus. Le concept de confiance en soi, d'ordre général, mesure la vigueur à laquelle un particulier croit en ses propres capacités, tandis que le concept d'autoefficacité se rapporte plus précisément à la conviction du particulier quant à sa capacité de parvenir à un certain niveau de réussite. L'autoefficacité peut constituer un paramètre solide de prévision des changements comportementaux et influencer sur les choix effectués par le particulier, la quantité d'efforts qu'il consacrera à une tâche, de même que le temps qu'il continuera d'investir dans l'exécution d'une tâche lorsqu'il fera face à des obstacles [Stretcher et al. (1986)].

Il peut être difficile d'évaluer l'autoefficacité. Albert Bandura, l'un des premiers à étudier le concept d'autoefficacité [Bandura (1977)], a également conçu un guide servant à l'élaboration d'échelles d'autoefficacité et dans lequel il énonce que les mesures polyvalentes ou universelles de l'autoefficacité perçue n'existent pas [Pajares et Urdan (2006)]. Les échelles d'ordre général sont restreintes quant à leurs capacités prédictives et à leurs valeurs explicatives puisqu'elles sont détachées du milieu où l'autoefficacité est mesurée. Voilà pourquoi le créateur d'une échelle d'autoefficacité doit adapter sur mesure les questions relatives au domaine particulier à mesurer [Pajares et Urdan (2006)]. Il faut également comprendre que l'autoefficacité perçue diffère des autres construits que sont l'estime de soi (la confiance en soi, l'autovalorisation), les résultats escomptés (le résultat perçu d'une voie d'action particulière plutôt que la conviction en la capacité de suivre cette voie), et le foyer de contrôle (la conviction du particulier perceuteur selon laquelle il est en mesure d'exercer un contrôle sur les circonstances et que celles-ci ne sont pas le produit de forces externes). Une échelle d'autoefficacité convenablement conçue permettra de mesurer les forces et limites de la capacité perçue en matière de fonctionnement et de fournir un niveau élevé de prévisibilité des résultats. De cette façon, la conception du programme pourra s'adapter aux besoins particuliers des participants [Pajares et Urdan (2006)].

3.2.1 L'autoefficacité et la formation en génie

Les élèves qui font précocement des expériences liées aux concepts de génie peuvent ensuite s'intéresser beaucoup à ce domaine au point où ils feront des études s'y rapportant; un grand nombre de collèges et d'universités cherchent donc à accroître les inscriptions par des investissements dans des programmes de niveau précollégial de génie comme des visites guidées du campus ou des programmes de vulgarisation donnés l'été (comme le LEAP [programme de progrès et d'enrichissement de l'apprentissage] destiné aux élèves de niveau secondaire ou le VSEC [camp de projets en sciences et en génie – leap.mcmaster.ca] à l'intention des écoliers de la 1^{re} à la 8^e année, lesquels se déroulent à l'Université McMaster). Les effets à long terme des expériences précollégiales en génie sur l'autoefficacité ont fait l'objet d'études dans diverses disciplines de génie, l'hypothèse posée ici étant que l'autoefficacité ayant trait aux études en génie augmentera à la suite d'une hausse du nombre d'expériences précollégiales en génie [Fantz et al. (2011)]. Parmi les sources d'exposition aux concepts de génie, il y avait les jouets et les passe-temps dont l'élève a peut-être fait l'expérience et qui se rapportent à une discipline en génie, comme les blocs LEGO ou Lincoln Logs en lien avec le génie civil, les jouets Erector Sets en lien avec le génie mécanique, les fusées Estes et les modèles réduits d'avion en lien avec le génie aérospatial, les microscopes en lien avec le génie biologique, les nécessaires de jeux électroniques en lien avec le génie électrique, ou la production de jeux vidéo en lien avec le génie informatique.

L'autoefficacité des étudiants de première année en génie révèle bien les effets à long terme des expériences précollégiales en génie et elle peut servir à jauger la mesure dans laquelle des étudiants préparés ont le goût de faire des études universitaires en génie [Fantz et al. (2011)]. D'autres résultats de l'étude montrent que les étudiants ayant vécu une expérience précollégiale (entre la maternelle et la 12^e année) relative au génie ont obtenu des notes supérieures quant à l'autoefficacité en génie [Fantz et al. (2011)]. Fait à souligner, ceux qui ont suivi des cours de génie ou de technologie à l'école secondaire ou qui avaient pour passe-temps la programmation, l'électronique, la production de jeux vidéo, la robotique ou les modèles réduits de fusée ont obtenu des notes passablement supérieures au chapitre de l'autoefficacité en génie [Fantz et al. (2011)]. Les constatations donnent à penser qu'une expérience précollégiale en génie peut accroître l'autoefficacité de même que le rendement des étudiants en génie et hausser la persévérance scolaire dans les programmes de génie [Fantz et al. (2011)].

D'autres études ont permis d'évaluer les facteurs qui peuvent agir sur l'autoefficacité des étudiants en des environnements technologiques et dans un contexte de formation en génie. Dans une étude réalisée au Canada, on s'est penché sur l'autoefficacité dans l'utilisation d'un ordinateur ou, de façon générale, les convictions des particuliers quant à leur propre capacité de se servir des ordinateurs avec compétence. Il appert que l'autoefficacité dans l'utilisation d'un ordinateur influe considérablement sur le temps et la fréquence d'utilisation des ordinateurs, les réactions émotives des particuliers face aux ordinateurs comme l'inquiétude, et les résultats escomptés relativement à l'utilisation d'un ordinateur [Compeau et Higgins (1995-1996)]. Les chercheurs ont constaté que le soutien d'un groupe, notamment l'utilisation des ordinateurs par autrui et les encouragements en provenance d'autrui, influe favorablement sur l'autoefficacité des particuliers et les résultats escomptés par ces derniers quant à l'utilisation d'un ordinateur [Compeau et Higgins (1995-1996)]. En outre, ce sont les participants ayant obtenu une note

d'autoefficacité élevée en ce qui concerne l'utilisation d'un ordinateur qui tiraient la plus grande satisfaction de cette utilisation, étaient les moins inquiets face à l'utilisation des ordinateurs dans l'ensemble, et se servaient des ordinateurs plus longtemps et plus souvent que les particuliers ayant obtenu une note moindre à ce chapitre [Compeau et Higgins (1995-1996)].

Les étudiants de première année en génie à l'Université Purdue ont répondu à une enquête servant à déterminer les facteurs relatifs aux convictions d'autoefficacité chez l'étudiant. Bien que les principales constatations donnent à penser que la responsabilité de combler les besoins d'avenir en main-d'œuvre technologique en veillant à une forte persévérance scolaire des étudiants doit incomber aux programmes de sciences et de génie [Hutchison et al. (2006)], ladite enquête révèle également que les étudiants classent les catégories suivantes comme étant les plus importantes dans leur réussite :

- i) la volonté et la motivation pour parvenir à la réussite;
- ii) l'apprentissage et la compréhension de la matière;
- iii) la capacité de se servir d'un ordinateur.

Le premier élément de cette liste est justement en étroite corrélation avec l'autoefficacité.

Dans une étude qualitative de suivi faite en 2008 à l'Université Purdue, les auteurs Hutchison-Green et al. se sont penchés sur les convictions d'autoefficacité en génie des étudiants inscrits à leur premier cours du programme. Les entrevues menées avant le début de la session ont révélé chez les nouveaux étudiants un niveau élevé de confiance relativement au génie, ce qui concorde avec la théorie de l'autoefficacité puisque les étudiants en question ont choisi de faire carrière dans un domaine éprouvant et exigeant [Hutchison-Green et al. (2008)]. Les participants ont déclaré invariablement que l'expérience des concepts connexes au génie qu'ils avaient vécue à l'école secondaire était le facteur qui influait le plus sur la confiance en soi liée au génie. Les facteurs ayant influé sur la note obtenue en autoefficacité étaient la vitesse à laquelle les étudiants pouvaient exécuter diverses tâches comparativement aux autres étudiants, le degré de l'apport individuel perçu dans le travail en groupe, la quantité de matière préalable que le particulier maîtrisait, de même que les notes en début de programme du particulier [Hutchison-Green et al. (2008)]. Les étudiants ont évalué leur taux de confiance ayant trait à certains thèmes en comparant leurs convictions quant à leurs propres capacités par rapport à celles de leurs collègues en classe.

La tendance à recenser les moyens par lesquels les étudiants apprennent le mieux, de façon à adapter sur mesure les méthodes pédagogiques pour favoriser un apprentissage fructueux, est en augmentation dans la formation en génie [Carberry (2010); Booth et al. (2012), (2013), (2014); Fleming et Mills (1992)].

Les auteurs Carberry et al. (2010) ont mis au point puis validé un instrument de mesure de la conception de soi propre à certaines tâches (comme l'autoefficacité, l'inquiétude, la motivation et les résultats escomptés relativement au génie). Ces auteurs définissent la conception de soi propre à certaines tâches comme une variable se rapportant à l'autocompréhension d'un particulier face à une tâche donnée. Ils avancent également que l'envie ou le manque d'envie d'exécuter une tâche donnée est fonction de l'autocompréhension, et que les étapes du processus de conception peuvent servir de niveaux de réussite aux fins de la mesure de la conception de soi propre à certaines tâches perçue (comme l'autoefficacité) [Carberry et al. (2010)]. Enfin, ces auteurs ont également constaté dans leur étude de fortes corrélations

entre l'autoefficacité, l'inquiétude, la motivation et les résultats escomptés quant à la conception en génie, ce qui contribue grandement à confirmer les concepts théoriques de la théorie de l'autoefficacité [Carberry et al. (2010)].

Pour leur part, les auteurs Booth et al. se sont penchés en 2012 et en 2013 sur le rapport entre l'autoefficacité et les résultats d'apprentissage à partir des projets de conception des étudiants en génie. L'auteur Booth a conçu puis validé en 2014 une échelle d'autoefficacité de conception en génie dont nous nous servons dans le présent document.

Par ailleurs, les auteurs Fleming et al. ont élaboré en 1992 le questionnaire VARK (Visuel; Auditif/oral; liRe/écRiRe; Kinesthésique) à propos des styles d'apprentissage afin d'aider les étudiants à déterminer leurs préférences à ce chapitre.

4 Mise en œuvre

En sa qualité d'enseignant principal du cours de conception technique donné aux étudiants de première année en génie à l'Université McMaster, Thomas Doyle (Ph. D.) a tenté plusieurs itérations du cursus, mû par un examen et une réflexion quant au sens que prend l'enseignement de la conception. À partir de ses propres expériences, M. Doyle a réorienté le cours axé habituellement sur la forme pour adopter une démarche de modélisation des systèmes qui privilégie la dimension fonctionnelle de la conception. Étant donné la tendance mondiale en plein essor qui consiste à intégrer la formation expérientielle aux cursus en génie, tous niveaux confondus [Roach, Hussain et Burdet (2012); Ruth Graham (2011); Tseng, Chang, Lou et Chen (2011)], l'objectif consistait à instaurer une démarche par projets où les étudiants accompliraient un cycle de conception complet.

Afin de parvenir à cette transformation, M. Doyle a modifié un projet de dissection mécanique [Doyle (2009)] qui faisait préalablement partie du cursus pour en faire un projet exigeant le rattrapage de rétroingénierie d'un train d'engrenage existant [Doyle, Smith et Ieta (2011)]. Le tableau 2 fait état de l'évolution du cours entre 2006 et 2012. Histoire de bien analyser et évaluer un tel projet, une application logicielle de modélisation physique multidomaines [MapleSoft (2013)] a été adoptée dans le cours pour donner aux étudiants de première année l'occasion de vivre une interaction expérientielle par la simulation tridimensionnelle de leurs conceptions. L'interaction en temps réel a permis aux étudiants de boucler la boucle de conception au moyen d'une vérification de la théorie et des étapes intermédiaires de conception, assortie d'une validation complète de la fonction opératoire. Certains étudiants ont cependant eu peine à visualiser la conception résultante, laquelle demeurerait alors numériquement abstraite. Selon l'hypothèse posée, l'intégration de l'impression à prototypage rapide 3D permettrait à tous les étudiants d'effectuer un passage allant du mode numérique abstrait au mode physique [Doyle (2013)] pour ensuite tirer parti d'une amélioration de la perception, du rendement et de la visualisation du produit final. La fabrication des modèles physiques s'est faite à l'aide des imprimantes tridimensionnelles auxquelles les étudiants de première année avaient accès dans la classe d'innovations et de jeux expérientiels (EPIC) liée au programme

Engineering 1 (Génie 1) de l'Université McMaster [programme Engineering 1 (Génie 1) de l'Université McMaster (2013)].

Tableau 1: Progression du cours de conception technique donné en première année : 2006, 2009, 2011, 2012

Cours	2006	2009	2011	2012
Thèmes	<ul style="list-style-type: none"> • CAO de modélisation solide • Dessin à la main • Dessins techniques 	<ul style="list-style-type: none"> • CAO de modélisation solide • Dessin à la main • Dessins techniques • Projet de dissection • Compétition dans le cours 	<ul style="list-style-type: none"> • CAO de modélisation solide • Dessin à la main • Dessins techniques • Mécanismes/trains d'engrenage • Dissection dirigée • Projet de conception par la simulation • Compétition dans le cours 	<ul style="list-style-type: none"> • CAO de modélisation solide • Dessin à la main • Dessins techniques • Mécanismes/trains d'engrenage • Dissection dirigée • Modalité de projet attribuée • Compétition dans le cours
Inscription en 1 ^{re} année	857	1083	1304	850
Sections	8	4	4	4
Examen final	2 h	2 h	3 h	3 h
Contenu de l'examen final	<ul style="list-style-type: none"> • À choix multiples (visualisation) • Dessin isométrique • Dessin multi-vues 	<ul style="list-style-type: none"> • À choix multiples (visualisation) • Dessin isométrique • Dessin multi-vues 	<ul style="list-style-type: none"> • À choix multiples (visualisation) • À choix multiples (conception du train d'engrenage) • Dessin isométrique • Dessin multi-vues 	<ul style="list-style-type: none"> • À choix multiples (visualisation) • À choix multiples (conception du train d'engrenage) • Dessin isométrique • Dessin multi-vues
Enseignant(s)	Doyle/Elkott	Doyle	Doyle	Doyle

Puisqu'il s'agissait d'un cours d'initiation à la conception en génie, nous sommes partis du principe que les étudiants ne possédaient pas de connaissances préalables en la matière. Ces derniers ont d'abord pris connaissance des concepts de la modélisation solide et, tout juste avant que le cours soit à mi-chemin, dès qu'ils ont acquis de solides compétences de base en assemblage de modélisation, le cours a alors porté sur la compréhension et l'application de mécanismes simples. Le projet de conception en équipe a été lancé puis, au fur et à mesure que le cours a évolué, les équipes ont pu mettre en application sur-le-champ la matière nouvellement acquise à leur projet. Les thèmes et le projet se sont déroulés dans l'ordre suivant pour former une boucle de conception complète :

1. les mécanismes simples;
2. les engrenages idéaux et les engrenages (les calculs et la modélisation solide);

3. le ratio et les normes d'engrenage (les outils de modélisation solides en vue de la conception des engrenages – l'accélérateur de conception d'Autodesk Inventor);
4. la simulation des engrenages (la simulation 3D interactive et en temps réel – MapleSim de Maplesoft);
5. la conception de trains d'engrenage à plusieurs stades;
6. la validation et la vérification de la conception;
7. la fabrication (l'impression en 3D).

4.1 La forme par rapport à la fonction

La plupart des étudiants sont passés maîtres dans l'art de se servir du logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO), mais parce que l'évaluation est axée de coutume sur la forme de la conception, de nombreux étudiants acquièrent une faible compréhension fonctionnelle des pièces et assemblages qui entrent dans leur modélisation. Voilà qui fait ressortir le problème posé par l'enseignement sous sa forme classique donné dans de nombreux cours en graphisme : au chapitre de l'évaluation, l'importance est accordée à la forme mécanique plutôt qu'à la fonction.

Cette situation résulte en partie de l'accroissement du nombre d'étudiants dans le cours, des ressources limitées et des outils insuffisants. L'intégration d'un outil de modélisation des systèmes pour fins de visualisation et de simulation à l'enseignement sous sa forme classique de la conception et du graphisme donne aux étudiants un aperçu de la fonction mécanique des mécanismes qu'ils créent. Une application logicielle de modélisation des systèmes faciliterait également l'évaluation de la fonction d'un assemblage mécanique.

4.2 Mécanismes

Afin de réorienter le cours, les étudiants sont initiés aux mécanismes simples puis ils apprennent en quoi ces assemblages se trouvent dans tous les domaines technologiques. Les étudiants de première année sont surpris de constater qu'un simple concept de mécanisme bielle-manivelle [Kinematic Models for Design Digital Library (2013b)] s'observe facilement dans le démarrage d'un mouvement à pistons et à vilebrequin à l'intérieur d'un moteur ordinaire à combustion interne [Kinematic Models for Design Digital Library (2013a)]. La prestation d'outils servant à mettre à profit et à orienter la curiosité intellectuelle des étudiants donne à ces derniers la capacité d'expérimenter à l'aide de différentes conceptions.

Les mécanismes présentés consistent en des combinaisons de roues droites cylindriques, de vis sans fin et de crémaillères. L'analyse passe rapidement de l'intuition à la théorie des mécanismes simples servant au transfert du mouvement. Une fois présentées les notions de base des calculs à la main et des paramètres de conception (p. ex., le ratio d'engrenage, le pas diamétral, etc.), l'étudiant peut créer le modèle solide de CAO. Le processus itératif suivi par l'étudiant dans la conception du mécanisme fonctionnel est illustré dans le graphique 1.

4.3 Démarche et modélisation des systèmes

Le processus de modélisation des systèmes combine la forme et la fonction de la conception en un outil interactif en temps réel grâce auquel l'étudiant peut fermer la boucle de conception au moyen de la vérification itérative. Par cette démarche, où des connaissances tirées du cours servent à une mise en application pratique, l'étudiant peut expérimenter et avoir davantage confiance en ses moyens.

La complexité d'une application logicielle de modélisation et de simulation des systèmes est non triviale, et son intégration à un cours de conception donné en première année ne s'est pas déroulée sans une prise en considération sérieuse. L'objectif ne consistait pas à ajouter un autre outil ayant pour effet de distraire de l'objectif du cours, à savoir enseigner la conception fonctionnelle. Pour leur permettre de demeurer concentrés sur la résolution du problème, les étudiants reçoivent des modules génériques d'engrenages par paires (roue droite cylindrique – roue droite cylindrique; vis sans fin – vis sans fin; vis sans fin – crémaillère) à adapter sur mesure à l'aide de calculs à la main et de géométries de modèles solides. Au moyen de ces modules, l'enseignement fournit l'échafaudage nécessaire à la focalisation sur la résolution du problème de conception, plutôt que de commencer au niveau de base de l'application logicielle. La résolution du problème de conception nécessite le raccordement en cascade des modules fournis pour en arriver à un train d'engrenages beaucoup plus complexe, assorti de contraintes particulières en matière d'espace et de temps.

Dès que les étudiants ont terminé leur vérification itérative des stades de fonctionnement de leurs conceptions, ils peuvent passer à la conception définitive et à la validation complète. Les illustrations a, b et c du graphique 1 montrent la présentation par un étudiant d'un modèle d'assemblage de CAO, d'un modèle et d'une simulation de système, et d'un exemple de la mesure par sonde virtuelle du déplacement linéaire par rapport au temps. Au moyen de cette rétroaction, les étudiants peuvent ensuite procéder au prototypage rapide de leur modèle physique.

Graphique 1: Exemple de conception et de prototype fourni par un étudiant

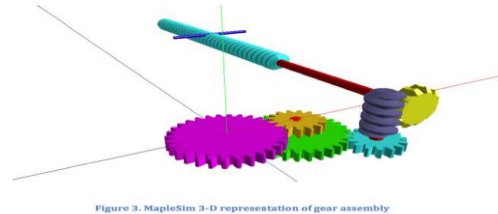
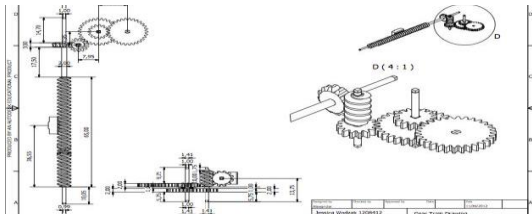
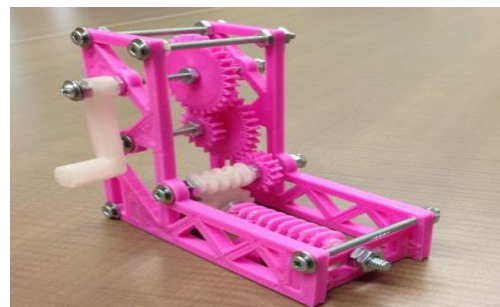
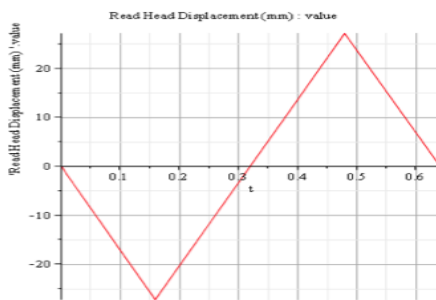


Figure 3. MapleSim 3-D representation of gear assembly

a) Modèle solide de CAO

b) Modèle et simulation de système



c) Validation de la simulation du système

d) Prototype de modèle physique

4.4 Prototypage rapide

Le stade final du projet de conception dans le cours consiste en la fabrication du modèle à l'aide d'une imprimante tridimensionnelle pour le prototypage rapide. À ce stade, l'étudiant effectue une transition, où le modèle abstrait passe de la simulation numérique à l'état tangible. L'avènement d'imprimantes pour prototypage rapide à faible coût [Bowyer, Giacalone et Howyer (2013)] permet aux étudiants d'interagir directement avec les appareils. L'illustration d au graphique 5 est une photographie du modèle physique définitif après la modélisation solide et du système.

4.5 Questions de recherche

Compte tenu de l'intervention du prototypage rapide dans la conception en génie, nous avons étudié l'avantage d'ordre pédagogique (mesuré selon les perceptions et le rendement des étudiants) que présente l'intégration d'imprimantes (3D) pour prototypage rapide à l'apprentissage par projets. Structuré de cette façon, le cours donne au nouvel étudiant en génie l'occasion de faire l'expérience d'une boucle complète de conception, allant de l'étape conceptuelle à celle de la création.

Nos questions de recherche dans ce cas-ci étaient les suivantes :

- 1) Les étudiants auxquels est attribuée la modalité de la simulation et du prototypage (SIM+PRT) obtiendront-ils une note supérieure à celle des étudiants suivant la modalité SIM ou PRT en ce qui touche :
 - l'autoefficacité dans la conception en génie?
 - le rendement dans le projet de compétition?
 - l'examen final?
 - la note finale dans le cours?
 - le rendement le plus amélioré en matière de visualisation?

- 2) Les étudiants auxquels est attribuée une modalité de prototypage (PRT ou SIM+PRT) obtiendront-ils le rendement le plus amélioré en matière de visualisation comparativement aux étudiants des cohortes précédentes?

5 Méthodologie

Afin de recueillir les données sur l'autoefficacité précisément liées au contexte du cours, nous avons mis au point et validé une échelle d'autoefficacité, laquelle fait partie de l'annexe 1. Nous avons également comparé les données sur le rendement dans le cours, pour lesquelles l'anonymat était préservé, afin de déterminer si une modalité particulière présentait un avantage sur le plan pédagogique.

5.1 Participants

Tous les étudiants inscrits au cours « Engineering 1C03 Design & Graphics » (Conception et éléments graphiques en génie IC03, ou ENG IC03) donné en première année à l'Université McMaster pouvaient participer à l'étude. Au total, 800 étudiants se sont inscrits au cours, à raison d'environ 400 étudiants/session (à l'automne 2012 et à l'hiver 2013).

5.2 Collecte des données

Le chercheur et étudiant de cycle supérieur Jon-Michael Booth (qui n'est ni AE, ni affilié d'une autre façon au cours) a présenté l'enquête sur l'autoefficacité aux étudiants durant les séances de laboratoire. La collecte des données de l'enquête s'est faite au moyen d'un formulaire en ligne. Quant à la collecte des données sur le rendement (les notes), elle a eu lieu auprès du département Engineering 1 (Génie 1).

Le comité d'éthique de la recherche de l'Université McMaster (MREB) a approuvé l'étude relatée dans le présent document (n° 2012039).

5.2.1 Quand les données ont-elles été recueillies?

Deux enquêtes sur l'autoefficacité se sont déroulées au cours de chaque question (2 sessions, d'où un total de quatre enquêtes) durant le cours ENG 1C03 : une avant la présentation du projet, et l'autre après celle-ci. Chaque étudiant était invité à prendre part aux deux enquêtes. Il n'y avait pas de différence entre ce que les étudiants devaient exécuter à chaque session.

La première enquête a eu lieu durant la première semaine des séances de laboratoires. Bien que leur durée habituelle soit de trois heures, la première séance était exceptionnelle : on y faisait essentiellement la démonstration des renseignements préliminaires, et elle ne durait que 90 minutes. Durant le temps supplémentaire, les étudiants étaient libres de quitter les lieux ou de rester pour écouter un exposé donné par M. Booth au sujet de l'étude proposée puis répondre à la première enquête en ligne à l'aide des ordinateurs dans le laboratoire.

La deuxième enquête a été annoncée dans le site Web du cours, puis les participants admissibles ont reçu par courriel un rappel à cet égard. Les étudiants devaient répondre en ligne à cette enquête durant leurs temps libres au cours de la semaine 12 du cours ENG 1C03, une fois le projet de conception terminé mais avant l'examen final.

Nous avons recueilli deux ensembles de données, lesquels comportaient les mêmes renseignements, la seule différence se rapportant à la période pendant laquelle les étudiants allaient répondre à l'enquête. L'ensemble de données 1 a été recueilli au cours de la session 1, durant laquelle la première enquête a eu lieu en septembre 2012 et la deuxième, en décembre 2012. L'ensemble de données 2 a été recueilli au cours de la session 2, durant laquelle la première enquête a eu lieu en janvier 2013 et la deuxième, en avril 2013.

En outre, nous avons recueilli les données sur le rendement (les notes) tout au long du cours. Ces données ont été fournies par l'enseignant, une fois obtenue la permission du département Engineering 1 (Génie 1). Les données recueillies sur le rendement avaient trait à l'évaluation des devoirs, des séances de laboratoire, des examens et des réponses en classe au moyen des iclickers. Nous avons obtenu la permission des étudiants au moyen d'une lettre de consentement éclairé.

5.2.2 Comment les données ont-elles été recueillies?

Enquêtes en ligne : Les étudiants ont répondu en ligne aux deux enquêtes. Celles-ci comportaient de 25 à 30 questions fermées selon l'échelle de Likert et de 3 à 5 questions à réponse courte. Les étudiants ont pris connaissance de l'enquête au moyen du système de gestion de l'apprentissage en ligne de l'Université McMaster, où se trouvait également la lettre de consentement éclairé.

Données administratives : Nous avons également recueilli tout au long du cours les données sur le rendement (les notes) et des données administratives. Aux fins de l'étude, les données d'identification ont été retirées puis remplacées par un numéro de code. Ce processus, automatisé, s'est déroulé sur le serveur à l'étape de la présentation.

Les données sur le rendement avaient trait à l'évaluation des devoirs, des séances de laboratoire, des examens et des réponses en classe au moyen des iclickers. Elles ont été obtenues avec la permission donnée par l'étudiant au moyen de la lettre de consentement éclairé, puis mises en lien avec les données de l'enquête au moyen du même numéro de code mentionné ci-dessus.

5.2.3 Rémunération

Les répondants à chaque enquête devaient préciser s'ils souhaitaient participer à un tirage pour remporter une imprimante 3D identique à celle utilisée dans le cours. Ceux qui ont répondu « oui » à la question se rapportant à l'une ou l'autre des enquêtes pouvaient participer à ce tirage une fois pour remporter le prix. Les étudiants qui répondaient aux deux enquêtes participaient deux fois et avaient donc deux chances de gagner. Le prix consistait en un ensemble pour imprimante 3D (non assemblé) d'une valeur de 669,00 \$.

Conformément à l'exigence du comité d'éthique de la recherche de l'Université McMaster, les étudiants qui avaient entrepris de répondre à l'une ou l'autre des enquêtes participaient au tirage, peu importe s'ils avaient ou non mené ce processus à bien.

5.2.4 Retrait des participants

Les participants ont appris au cours de l'exposé donné initialement sur l'étude qu'ils n'étaient pas tenus de mener à bien l'une ou l'autre des enquêtes. S'ils choisissaient de se retirer de l'une ou l'autre de celles-ci, ils pouvaient cliquer sur un bouton en ligne au moyen duquel les réponses à l'enquête étaient effacées, après quoi leur session en ligne prenait fin sans que les réponses soient présentées. Cependant, dès que les étudiants menaient à bien une enquête, ils ne pouvaient plus s'en retirer.

Les étudiants qui ne souhaitaient pas voir leurs données comprises pouvaient tout simplement se retirer en ne menant pas l'enquête à bien. Parce que la recherche dont fait état le présent document n'était pas liée aux travaux du cours, les étudiants qui se retiraient de l'enquête ou ne la menaient pas à bien ne subissaient ni sanction, ni baisse de note. Les étudiants ont appris qu'ils pouvaient seulement participer au tirage s'ils répondaient « oui » à la question s'y rapportant dans l'une ou l'autre des enquêtes.

5.2.5 Confidentialité

Les données permettant d'identifier les participants ont été retirées puis remplacées par un code unique.

Les étudiants ont inscrit leur code MACID et leur numéro d'étudiant lorsqu'ils ont répondu à l'enquête. Une fois le formulaire d'enquête présenté par les étudiants, il y a eu vérification du numéro d'étudiant et du code MACID par rapport à une liste maîtresse pour faire en sorte que les étudiants ayant répondu à l'enquête soient bel et bien inscrits au cours.

À la suite de cette vérification, le serveur a produit un « code de hachage » stocké dans la base de données avec les réponses à l'enquête. Ce « code de hachage » permettait d'identifier précisément chaque répondant à l'enquête, mais il ne pouvait être décodé pour révéler le numéro d'étudiant ou le code MACID du participant. Ce code en tant que tel résultait de l'algorithme de hachage SHA-1, conçu pour stocker en toute sécurité les renseignements bancaires.

Les données des participants ont été stockées à l'aide d'une base de données sécurisée que le département Engineering 1 (Génie 1) a gérée. Seul M. Booth avait accès aux notes des participants et aux réponses données par ces derniers à l'enquête, et il a assuré le caractère confidentiel de ces données. Seules les données agrégées sont relatées dans le présent document et aucun élément d'identification n'est utilisé.

5.3 Échelle d'autoefficacité

L'un des principaux buts de l'étude dont il est question ici consistait à déterminer les effets des modalités du projet de conception sur l'autoefficacité. À cette fin, il était d'abord nécessaire de mettre au point un instrument au moyen duquel mesurer l'autoefficacité. Nous nous sommes penchés sur plusieurs échelles d'autoefficacité existantes, dont l'échelle générale d'autoefficacité [Schwarzer et Jerusalem (1995)], mais nous les avons exclues parce qu'elles ne se rapportaient pas précisément à nos objectifs de recherche.

L'autoefficacité est considérée comme propre à un domaine, ce qui signifie que les échelles s'y rapportant doivent être conçues précisément en fonction du domaine d'études qu'elles cherchent à mesurer. Il est possible que les notes d'autoefficacité varient beaucoup d'un domaine à l'autre puisque les personnes ne maîtrisent pas tous les domaines. À ce titre, il n'existe pas de mesure « universelle » de l'autoefficacité.

5.3.1 Mise au point d'une échelle d'autoefficacité relative à la conception en génie

Puisque l'autoefficacité se rapporte très précisément aux résultats escomptés dans le cours, nous avons convenu de la nécessité d'en arriver à une échelle conçue sur mesure. Les éléments de l'échelle étaient constitués de facteurs de domaine représentatifs des quatre domaines d'autoefficacité répertoriés par Bandura, à savoir les expériences de maîtrise, les expériences vicariantes, les persuasions sociales et les états physiologiques, ainsi que d'un cinquième domaine souvent inclus, à savoir la volonté et la motivation.

Le domaine discerné en première année de conception en génie a été le projet fondamental de conception [Doyle (2011)], lequel porte sur le rattrapage et la reconception d'un train d'engrenage.

Selon Bandura, une bonne connaissance de la matière du domaine est essentielle à l'élaboration d'une bonne échelle d'autoefficacité [Bandura (2006)]. Les questions doivent avoir trait directement au domaine à l'étude et cibler des facteurs comportant des retombées directes sur ce domaine. Les échelles doivent englober divers niveaux de difficulté, comme ceux définis ci-après.

Ingéniosité : La mesure dans laquelle un projet diffère des autres projets semblables.

Effort : La mesure dans laquelle des efforts ont été consentis au projet.

Exactitude : La mesure dans laquelle un projet se rapproche de l'atteinte d'un ou de plusieurs paramètres cibles.

Productivité : La mesure dans laquelle, et la vitesse à laquelle, une quantité peut être produite.

Persévérance : La mesure dans laquelle un particulier se consacre longtemps à un projet sous pression.

L'autoefficacité doit permettre de mesurer le degré de difficulté qu'un particulier estime pouvoir surmonter lorsqu'il travaille à la concrétisation d'une tâche particulière.

Nous avons choisi une échelle de réponse selon Likert [Likert (1932)] pour les questions, puis nous avons échelonné les réponses de 0 à 10, où 0 correspondait à l'énoncé « Je suis fortement en désaccord », 5 à « Je suis neutre ou ça m'est égal » et 10 à « Je suis fortement d'accord ». L'échelle complète d'autoefficacité de conception en génie figure à l'annexe 1. Les éléments 1 et 2 ont servi à évaluer l'autoefficacité d'après les expériences de maîtrise, lesquelles correspondent à des convictions liées aux réalisations du participant. Les éléments 3 et 4 ont servi à évaluer l'autoefficacité en fonction des expériences vicariantes, lesquelles se rapportent aux convictions quant aux réalisations d'autrui. Les éléments 5 et 6 ont servi à évaluer l'autoefficacité selon les persuasions sociales, lesquelles sont liées aux convictions axées sur le jugement verbal des pairs. Les éléments 7 et 8 ont servi à évaluer l'autoefficacité d'après l'état physiologique, lequel a trait aux convictions fondées sur l'état mental du participant. Enfin, les éléments 9 et 10 ont servi à évaluer l'autoefficacité d'après la volonté et la motivation, lesquelles correspondent à des convictions fondées sur le désir de s'améliorer.

5.4 Justification de l'échelle

Nous avons mis à l'essai la fiabilité et la validité de la nouvelle échelle. Il importe de souligner que la fiabilité et la validité sont une question de degré. Il est possible de mesurer et de quantifier l'une et l'autre, mais les opinions divergent quant à ce qui peut être considéré comme « fiable » ou « valide ».

5.5 Instruments

Le cours ENG IC03 (Conception et éléments graphiques) est obligatoire pour tous les étudiants de première année en génie. Près de la moitié des étudiants suivent ce cours à chacune des séances d'automne et d'hiver. Les différences dans les données recueillies entre les sessions se sont révélées négligeables.

Les données sur les étudiants ont été recueillies essentiellement au moyen des enquêtes. Deux instruments semblables mais distincts (pour chaque question) ont été créés, à savoir l'échelle d'autoefficacité de même que les points supplémentaires d'intérêt.

Nous avons appliqué le premier instrument à la deuxième semaine du cours. Il s'agissait de la deuxième semaine des séances magistrales, mais de la première semaine des séances de laboratoire et des tutorats. Nous avons instauré cet instrument à la fin des séances de laboratoire de chacun des 10 groupes d'étudiants durant cette semaine. Un exposé préparé d'avance avec diapositives a été donné à chacun des 10 groupes d'étudiants pour garantir l'uniformité des directives. Nous avons expliqué le but de l'étude aux étudiants,

après quoi ces derniers ont eu le choix de prendre part à l'évaluation, laquelle avait lieu en ligne. Les étudiants étaient libres de mener cette évaluation à bien durant leur séance hebdomadaire de laboratoire ou en tout temps au cours de la semaine suivante. Puisque l'évaluation se déroulait en ligne, les étudiants pouvaient se servir des ordinateurs du laboratoire, d'ordinateurs portatifs ou même de leur ordinateur à domicile pour la mener à bien. Les données tirées de la première enquête se rapportaient à l'intérêt manifesté envers la simulation, à l'intérêt manifesté envers le prototypage rapide (impression 3D), à l'autoefficacité, à la participation professionnelle, et à la motivation scolaire.

Nous avons appliqué le second instrument à la douzième semaine du cours. Il s'agissait de l'avant-dernière semaine des séances magistrales et de la dernière semaine des séances de laboratoire et des tutorats. Les étudiants devaient répondre à la deuxième enquête, encore une fois en ligne, après avoir terminé l'exposé oral de leur projet de conception dans le cours. Le site Web de l'enquête est demeuré fonctionnel durant les deux semaines précédant l'examen final, mais il a été fermé avant la tenue de l'examen en tant que tel. Les données tirées de la seconde enquête traitaient de la confiance envers la simulation, de la confiance envers le prototypage, de l'autoefficacité, de la participation professionnelle, et de la préférence en matière d'apprentissage.

5.6 Données sur le rendement

Après avoir recueilli les données sur le rendement auprès des participants consentants, nous avons analysé celles-ci en vue de leur utilisation dans l'étude. Les données sur le rendement recueillies se rapportaient à la note de l'étudiant dans le projet, à la note du groupe dans le projet, à la note totale dans le projet de même qu'à la note à l'examen final, sous forme de pourcentage. Les autres données sur le rendement recueillies avaient trait à la note finale dans le cours au moyen de l'échelle de la MPC de 12 points en vigueur à l'Université McMaster.

5.7 Méthodes d'analyse des données

Dans le cadre de la présente étude, nous avons choisi une valeur alpha de 0,05 aux fins du test de signification.

Pour faire une juste utilisation de l'ANOVA, nous sommes partis du principe que les ensembles de données sont composés de deux groupes indépendants ou plus (dans notre cas, nous avons eu recours à la modalité du projet de construction en guise de délimiteur) et d'une variable dépendante (comme l'autoefficacité ou le rendement), et que la variable dépendante fait l'objet d'une distribution à peu près normale. L'ANOVA est relativement solide et peut être habituellement employée même si les données ne sont pas absolument normales.

L'ANOVA relate habituellement la signification statistique de la différence entre les groupes au chapitre de la *valeur p* ou de la probabilité aléatoire. Elle ne permet cependant pas de discerner parmi les groupes ceux qui présentent une différence statistiquement significative lorsqu'il y a plus de deux groupes. À cette fin, nous nous sommes servis du test post-hoc de Tukey [Tukey (1977)] pour repérer les groupes ayant une

différence statistiquement significative. Ce test se compose de plusieurs tests de comparaisons simples afin d'isoler les groupes.

6 Résultats

La présente section montre les résultats de l'analyse faite des données d'enquête tirées du cours ENG IC03 (Conception et éléments graphiques) donné à la session d'automne 2012 et d'hiver 2013.

6.1 Population

En raison du taux de réponse à l'enquête et du nombre subséquent de participants à part entière dans chaque session, nous avons décidé de combiner les résultats de chacune des sessions en un vaste ensemble unique de données. Les résultats qui suivent sont fondés sur les données combinées, ce qui correspond à un total de 170 répondants.

Tableau 2 : Statistiques de la population par session

	Total des étudiants dans le groupe	Ceux qui ont mené l'enquête à bien	
Session 1	427	93	21,78 %
Session 2	373	77	20,64 %
TOTAL	800	170	21,25 %

Le registraire a attribué aléatoirement les sections de laboratoire aux étudiants. Dans ces sections de laboratoire, il y avait ensuite l'attribution aléatoire d'une modalité sur trois, de sorte que parmi les 10 sections de laboratoire possibles pour chaque session, la modalité de la simulation (SIM) a été attribuée à 6 sections, celle du prototypage (PRT) a été attribuée à 2 sections et celle de la simulation et du prototypage (SIM+PRT), à 2 sections. Le tableau 6 montre le nombre total d'étudiants ayant fait l'objet d'une attribution en fonction de chaque modalité de même que le total d'étudiants ayant mené volontairement à bien les enquêtes.

Tableau 3 : Statistiques de la population par modalité

	Total des étudiants par modalité	Ceux qui ont mené l'enquête à bien	
SIM	468	90	19,23 %
PRT	181	50	27,62 %
SIM+PRT	151	30	19,87 %
TOTAL	800	170	21,25 %

6.2 Instruments d'autoefficacité

Un instrument d'autoefficacité à 10 éléments, conçu pour l'étude dont il est question ici, a été mis en application aux participants au début et à la fin du cours. À 167 réponses, la fiabilité de l'instrument d'autoefficacité à 10 éléments à la période 1 a permis une bonne corrélation entre les éléments et révélé un bon niveau de fiabilité, le coefficient alpha de Cronbach se situant à 0,74. À la période 2, où il y a eu 160 réponses, la fiabilité de l'instrument d'autoefficacité à 10 éléments affiche un résultat semblable : $\alpha = 0,72$.

Il est possible de valider l'échelle à l'aide de la validité du contenu et de la validité apparente [Bandura (1977)] puisque tous les domaines de la théorie de Bandura sur l'autoefficacité (expériences de maîtrise; expériences vicariantes; persuasions sociales et états physiologiques) sont représentés. Quatre membres de la faculté de génie à l'Université McMaster, de même qu'un spécialiste en sciences sociales de la faculté des sciences de la santé de l'Université McMaster, ont passé en revue cette échelle. Tous ont convenu du fait que l'échelle a semblé mesurer l'autoefficacité de la conception en génie. À partir de ce fait, nous pouvons avancer qu'il s'agit d'une échelle valide.

La plus forte corrélation constatée se situait entre l'échelle et la note de l'étudiant dans le projet. Le coefficient de corrélation de Pearson se situait à 0,133; $p = 0,087$ ($N = 167$), ce qui ne constitue pas une valeur statistiquement significative au niveau $p = 0,05$.

6.3 Instruments au début et à la fin de la session

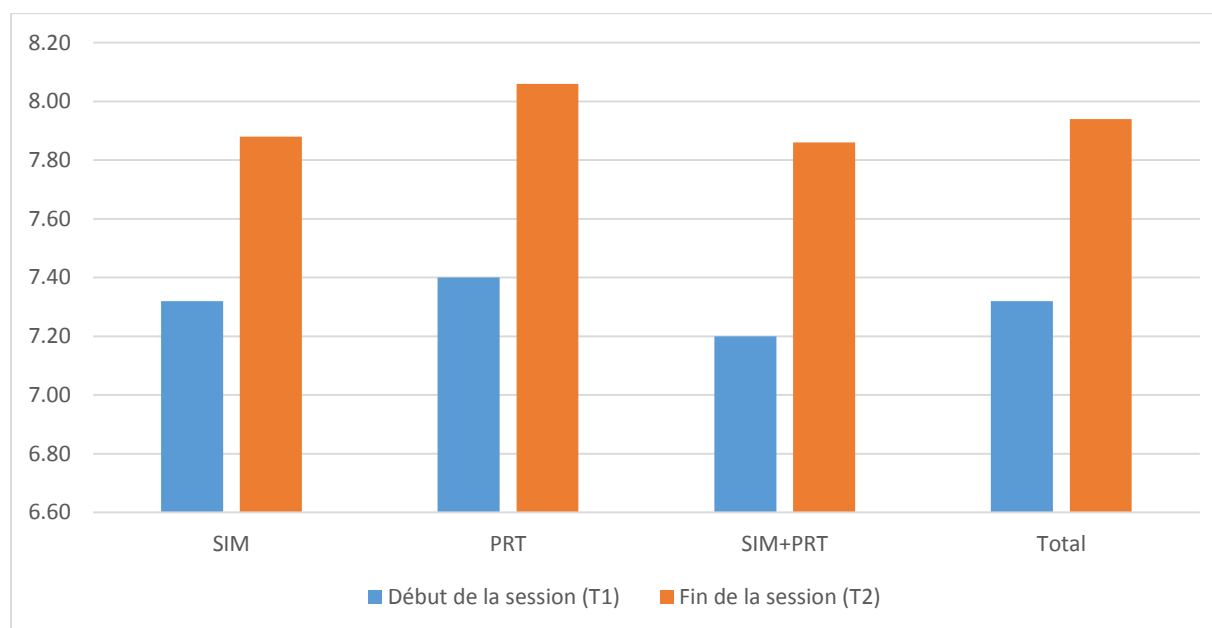
L'instrument à 10 éléments a été appliqué au début du cours, puis de nouveau à la fin du cours. Les résultats des deux évaluations de même que les différences moyennes dans les notes figurent au tableau 7.

Tableau 4 : Notes de l'autoefficacité au début et à la fin de la session

Modalité du projet	N	Période 1		Période 2		Différence moyenne
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	
SIM	80	7,30	1,098	7,88	0,84	0,60
PRT	47	7,39	1,248	8,06	0,99	0,72
SIM+PRT	30	7,19	1,197	7,86	1,04	0,66
Total	157	7,31	1,156	7,93	0,92	0,65

Au début de la session (période 1), il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les notes relativement à chaque modalité du projet de conception, ce qui ne témoigne d'aucun biais d'autoefficacité avant l'attribution de la modalité. À la fin de la session (période 2), toutes les modalités révèlent une hausse à la moyenne des notes d'autoefficacité de même qu'une baisse de l'écart-type. Ces résultats apparaissent dans le graphique 9.

Graphique 2 : Autoefficacité au début et à la fin de la session



Nous avons procédé à une analyse statistique de la population complète afin de comparer l'autoefficacité moyenne à la période 1 et à la période 2. Les statistiques descriptives à ce chapitre se trouvent dans le

tableau 5. Nous avons utilisé un test t dépendant (test t d'échantillons appariés) pour comparer les moyennes de l'autoefficacité à la période 1 et à la période 2, ce qui nous a révélé une hausse statistiquement significative de l'autoefficacité entre la période 1 et la période 2 (valeur de $t = -7,236$; $N = 157$; $p = 0,0001$). Le coefficient de corrélation de Pearson se fixait à $0,437$; $p = 0,0001$ ($N = 157$), ce qui témoigne également d'une corrélation statistiquement significative entre les notes.

Tableau 5 : Autoefficacité moyenne entre la période 1 et la période 2

	Moyenne	Écart-type	N
Autoefficacité moyenne à la P1	7,31	1,16	167
Autoefficacité moyenne à la P2	7,93	0,92	160

Tableau 6 : Résultats de l'autoefficacité après l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur

		Somme des carrés	Df	Carré moyen	F	Signification
Moyenne de l'autoefficacité à la P1	Entre les groupes	0,72	2	0,36	0,27	0,77
	Dans les groupes	221,22	164	1,35		
	Total	221,95	166			
Moyenne de l'autoefficacité à la P2	Entre les groupes	1,12	2	0,56	0,65	0,52
	Dans les groupes	134,23	157	0,86		
	Total	135,35	159			
Différence moyenne	Entre les groupes	0,46	2	0,23	0,18	0,84
	Dans les groupes	196,61	154	1,28		
	Total	197,07	156			

Afin de tester la signification des notes entre les modalités, une ANOVA à un facteur a été effectuée. Les résultats qui apparaissent dans le tableau 6 ne révèlent pas de signification statistique entre les groupes en ce qui touche l'autoefficacité à la période 1, à la période 2 ou à la différence moyenne entre les périodes.

6.4 Rendement

Les données sur le rendement recueillies auprès des participants se rapportaient à la note de l'étudiant, à la note du groupe et à la note totale dans le projet de conception, de même qu'à la note à l'examen final et à la note finale dans le cours. Les résultats du rendement dans le projet figurent au tableau 7, tandis que les résultats du rendement à l'examen final et du rendement final dans le cours apparaissent dans le tableau 8. Seules les données des participants consentants ont fait l'objet d'une collecte et d'une analyse.

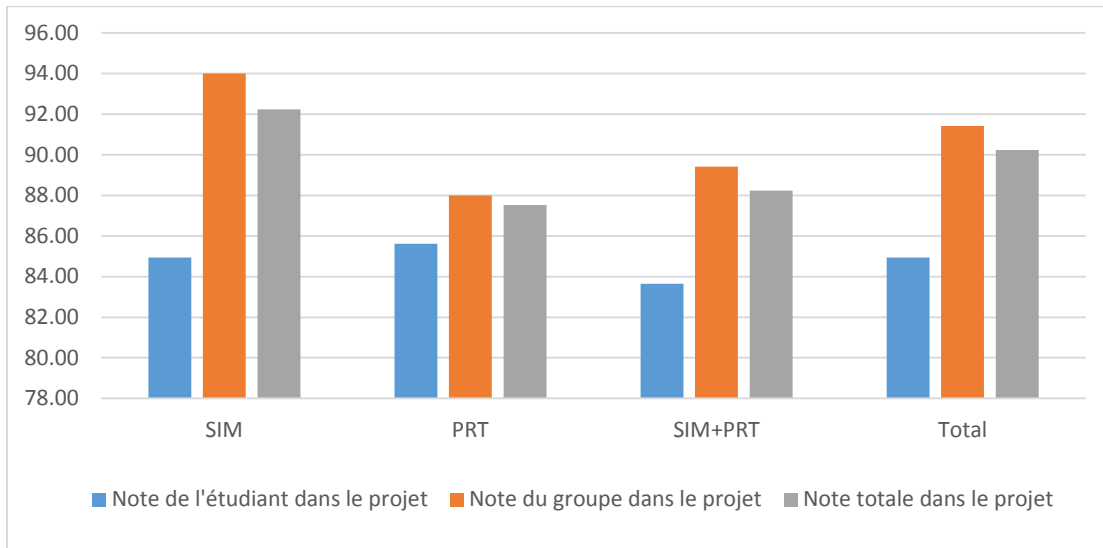
Tableau 7 : Notes du rendement dans le projet (en pourcentage)

	N	Note de l'étudiant dans le projet		Note du groupe dans le projet		Note totale dans le projet	
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
SIM	90	84,94	13,17	94,04	8,27	92,22	7,51
PRT	50	85,60	10,72	88,04	9,32	87,55	7,94
SIM+PRT	30	83,67	12,99	89,42	8,87	88,27	7,89
Total	170	84,91	12,41	91,46	9,08	90,15	7,97

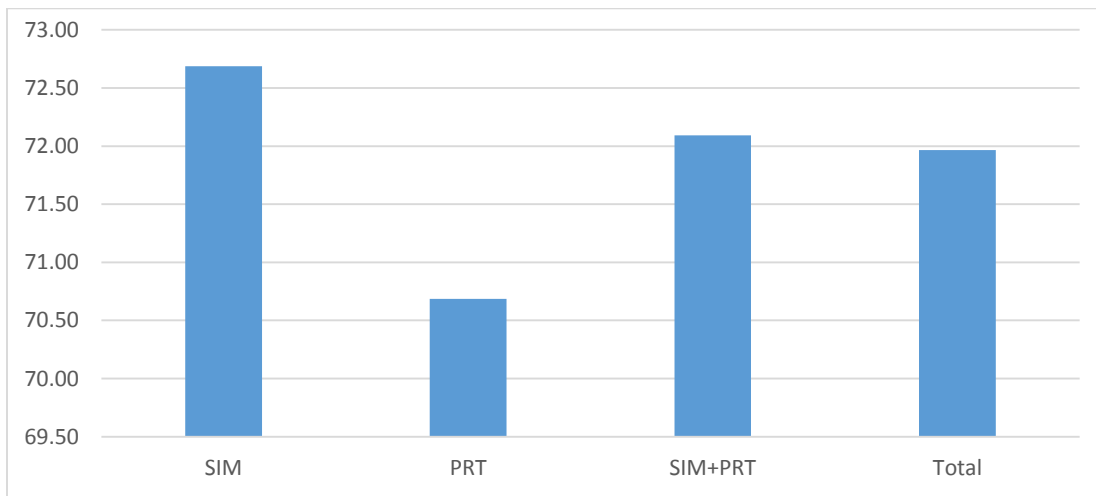
Tableau 8 : Note du rendement à l'examen final et du rendement final dans le cours

	N	Note à l'examen final		Note finale dans le cours	
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
SIM	90	72,69	15,08	10,01	2,18
PRT	50	70,67	12,17	9,54	2,03
SIM+PRT	30	72,09	9,14	9,90	1,37
Total	170	71,99	13,34	9,85	2,02

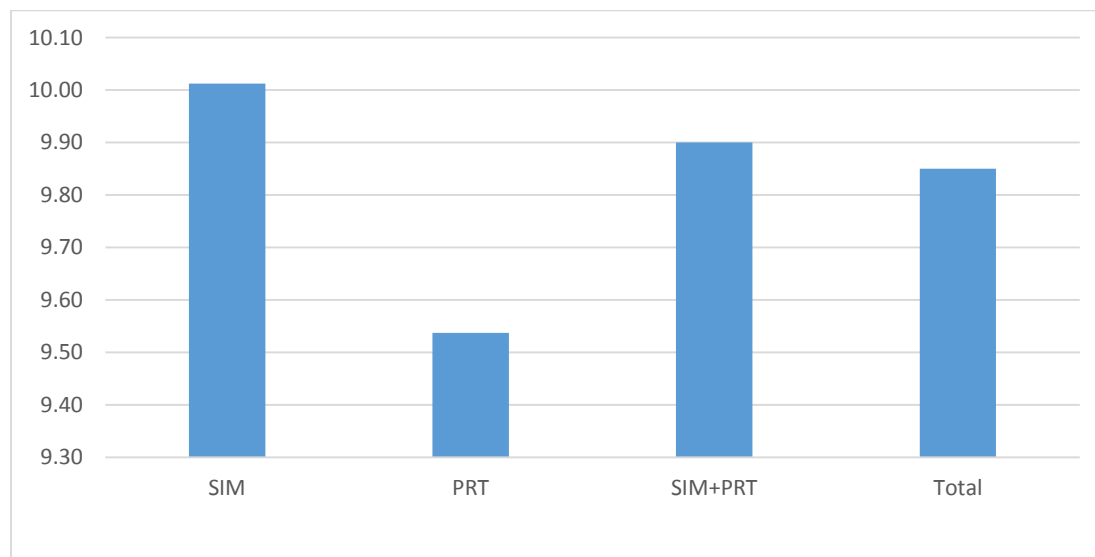
Graphique 3 : Données sur le rendement dans le projet recueillies auprès de 170 étudiants



Graphique 4 : Données sur le rendement à l'examen recueillies auprès de 170 étudiants



Graphique 5 : Données sur le rendement dans le cours recueillies auprès de 170 étudiants



Les résultats du rendement dans le projet figurent au graphique 3. Les étudiants qui ont exécuté un projet de conception au moyen de la modalité de simulation (SIM) avaient obtenu la note du groupe dans le projet et la note totale dans le projet les plus élevées et ils révélaient l'écart-type le plus faible dans les deux cas. En ce qui touche la note de l'étudiant dans le projet, les étudiants ayant mené à bien le projet de conception au moyen de la modalité du prototypage (PRT) affichaient les meilleurs résultats et l'écart-type le plus faible.

Les résultats du rendement à l'examen final figurent au graphique 4. Les étudiants ayant exécuté un projet de conception au moyen de la modalité de la simulation (SIM) affichaient la plus forte note à l'examen final, mais ils accusaient également l'écart-type le plus élevé. Les étudiants ayant mené à bien un projet de conception au moyen de la modalité du prototypage (PRT) avaient obtenu la plus basse note à l'examen final.

Les résultats du rendement final dans le cours se trouvent dans le graphique 5. Les étudiants ayant exécuté un projet de conception au moyen de la modalité de la simulation (SIM) affichaient la plus forte note finale dans le cours, assortie de l'écart-type le plus marqué. Les étudiants ayant mené à bien un projet de conception à l'aide de la modalité du prototypage (PRT) avaient obtenu la plus basse note finale dans le cours.

Pour tester la signification des notes entre modalités, nous avons traité les données recueillies sur le rendement à l'aide d'une ANOVA à un facteur. Les résultats, qui figurent au tableau 9, révèlent une signification statistique entre les modalités relativement à la note du groupe dans le projet ($p = 0,001$) et à la note totale dans le projet ($p = 0,001$).

Nous avons fait un test post-hoc de Tukey pour ce qui est de la note du groupe dans le projet et de la note totale dans le projet afin de déterminer les différences catégoriques qui révèlent une signification statistique. Les résultats, qui se trouvent dans le tableau 10, montrent une signification statistique ($p = 0,05$) entre les modalités de la simulation (SIM) et du prototypage (PRT), de même qu'entre les modalités de la simulation (SIM) et de la simulation et du prototypage (SIM+PRT), tant en ce qui touche la note du groupe dans le projet que la note totale dans le projet.

Tableau 9 : Résultats des notes du rendement après l'ANOVA à un facteur

		Somme des carrés	df	Carré moyen	F	Signification
Note de l'étudiant dans le projet	Entre les groupes	70,28	2	35,14	0,23	0,80
	Au sein des groupes	25953,39	167	155,41		
	Total	26023,68	169			
Note du groupe dans le projet	Entre les groupes	1308,72	2	654,36	8,66	0,00
	Au sein des groupes	12622,75	167	75,59		
	Total	13931,46	169			
Note totale dans le projet	Entre les groupes	829,61	2	414,81	6,99	0,00
	Au sein des groupes	9916,51	167	59,38		
	Total	10746,12	169			
Note à l'examen final	Entre les groupes	130,91	2	65,46	0,37	0,70
	Au sein des groupes	29929,40	167	179,22		
	Total	30060,32	169			
Note finale dans le cours	Entre les groupes	7,22	2	3,61	0,89	0,41
	Au sein des groupes	680,11	167	4,07		
	Total	687,32	169			

Tableau 10 : Test post-hoc de Tukey des notes du rendement

			Différence moyenne	Signification	Int. de conf. de 95 %	
					Lim. inf.	Lim. sup.
Note du groupe dans le projet	SIM	PRT	6,00*	0,00	2,37	9,63
		SIM+PRT	4,62*	0,03	0,29	8,96
	PRT	SIM	-6,00*	0,00	-9,63	-2,37
		SIM+PRT	-1,37	0,77	-6,12	3,37
	SIM+PRT	SIM	-4,62*	0,03	-8,96	-0,29
		PRT	1,37	0,77	-3,37	6,12
Note totale dans le projet	SIM	PRT	4,67*	0,00	1,45	7,88
		SIM+PRT	3,96*	0,04	0,11	7,80
	PRT	SIM	-4,67*	0,00	-7,88	-1,45
		SIM+PRT	-0,71	0,92	-4,92	3,50
	SIM+PRT	SIM	-3,96*	0,04	-7,80	-0,11
		PRT	0,71	0,92	-3,50	4,92

*. La différence moyenne est significative au niveau 0,05.

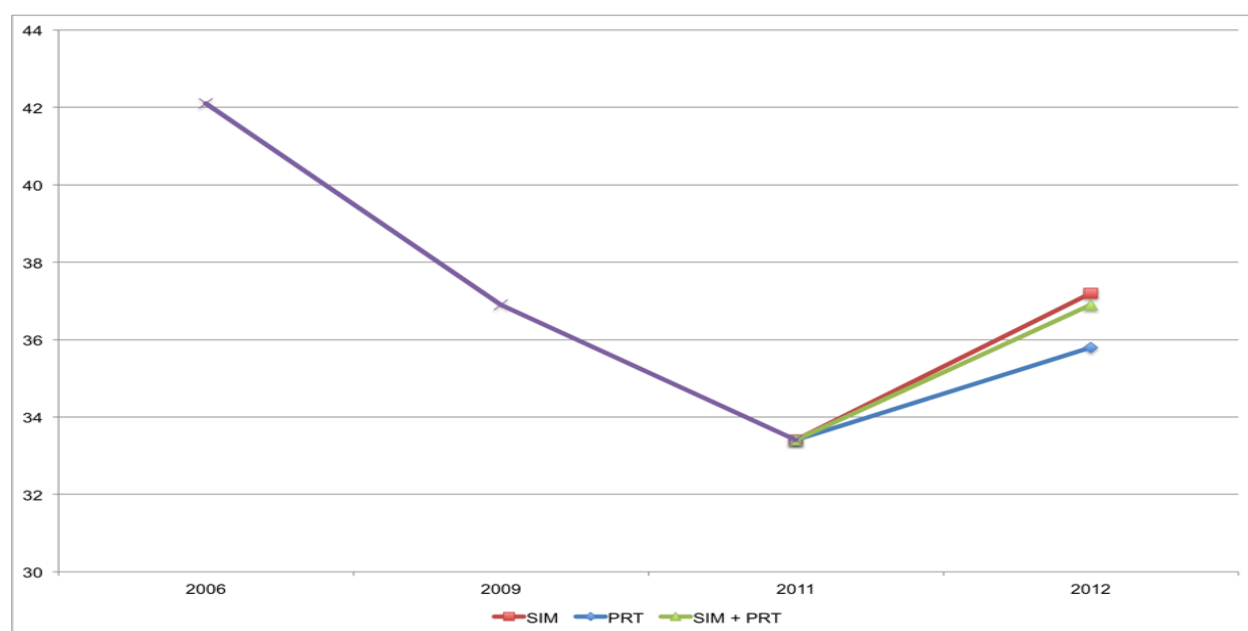
6.5 Visualisation

La méthodologie choisie a permis d'examiner le rendement des étudiants en fonction de deux types de visualisation standard : les dessins isométriques et multi-vues. La moyenne de la note agrégée (isométrique + multi-vues = note/57) tirée de l'examen final a servi à comparer le rendement des étudiants de première année des cohortes 2006, de 2009, de 2011 et de 2012. D'après le tableau 2, l'évolution du cours de conception technique suivi par les étudiants de première année en génie a été la suivante : il a été donné sous sa forme classique en 2006, il s'est caractérisé par une dissection en 2009, il a englobé l'apprentissage par la simulation en 2011, et il a recoupé les trois modalités en 2012. La moyenne du rendement en visualisation a diminué de 2006 à 2011, pendant que la variance des cohortes n'a cessé d'augmenter. À partir de 2012, la performance selon les trois modalités révélait une amélioration de la performance en visualisation, pendant que la variance reculait sensiblement.

Tableau 11 : Rendement en visualisation d'une cohorte à l'autre

Année	Moyenne	Écart-type
2006	42,1	6,9
2009	36,9	7,3
2011	33,4	10,6
2012 (SIM)	37,2	8,6
2012 (PRT)	35,8	9,1
2012 (SIM+PRT)	36,9	8,7

Graphique 6 : Notes agrégées en visualisation d'une cohorte de première année à l'autre



7 Analyse

Bien que l'enquête ait été proposée à 800 étudiants, la participation à celle-ci était volontaire de sorte que 170 d'entre eux (21,25 %) ont répondu en bonne et due forme aux deux enquêtes et pouvaient être inclus dans l'étude en question ici. Nous avons décidé de combiner les données des deux sessions en un seul ensemble de données. Parce que les techniques de collecte de données de l'enquête en matière de rendement étaient identiques d'une session à l'autre, il n'en a pas résulté de biais en ce qui touche les résultats. Il se peut que les données tirées de la deuxième session témoignent de légères variances puisque les étudiants avaient bénéficié de quatre mois supplémentaires de scolarité, mais ces petites différences ont un effet négligeable puisque tous les résultats sont moyennés et nous ne tirons pas de conclusion d'une session à l'autre. Le faible nombre de participants à l'enquête risque d'occasionner un biais inconnu dans les

résultats et, dans les futures études, il sera peut-être salutaire d'élaborer de nouvelles idées et méthodes pour faire en sorte que le taux de participation du groupe d'étudiants soit davantage exhaustif.

7.1 Perception

Une des principales attentes en lien avec l'étude en question ici était que la modalité attribuée dans le projet de conception influencerait sur l'autoefficacité. En ce qui touche l'ensemble des modalités, il y a eu une importante hausse statistiquement significative de l'autoefficacité moyenne entre le début de la session (période 1) et la fin de la session (période 2). Un tel résultat est compréhensible parce que les étudiants en apprennent sur les thèmes de la simulation, du prototypage et de la conception de trains d'engrenage tout au long du cours. Ils en viennent à mieux connaître ces thèmes-là à la fin de la session, de sorte qu'ils ont davantage confiance en leurs moyens lorsque vient le temps de travailler sur ces thèmes-là et de répondre à des questions connexes.

Une fois distinguée selon les modalités, la hausse moyenne de l'autoefficacité ne révèle pas de différence significative d'une modalité à l'autre. Voilà un point intéressant, car les imprimantes 3D constituaient l'ajout le plus récent au cours, ce qui aurait pu susciter beaucoup d'emballement chez les étudiants.

Les étudiants qui exécutaient le projet de conception selon la modalité de la simulation (SIM) n'étaient pas tenus de se servir des imprimantes 3D pour le projet de conception et, en raison des contraintes de temps imposées par le projet et de la disponibilité restreinte des périodes de laboratoire vers la fin du cours, ils n'étaient habituellement pas en mesure d'avoir accès aux imprimantes 3D à la suite de la première unité d'impression de deux semaines, pendant les semaines 4 et 5. À ce chapitre, nous avons prévu comme résultat que ces étudiants auraient pu se sentir délaissés lorsqu'on leur a attribué un projet qui ne nécessitait pas l'utilisation des imprimantes, et que ce facteur aurait pu être à l'origine d'une moindre augmentation de l'autoefficacité.

Nous avons également prévu que les étudiants de la modalité de la simulation et du prototypage (SIM+PRT) afficheraient la hausse la plus marquée de l'autoefficacité, puisqu'ils allaient être exposés dans une plus grande mesure aux technologies de base du cours en raison de l'exigence à ce chapitre dans les précisions du projet de conception. Le recours au logiciel de simulation faisait l'objet de peu de restrictions, car tous les étudiants y avaient accès dans le laboratoire et la plupart des étudiants en avaient également acheté une copie. Un grand nombre des groupes auxquels la modalité du prototypage (PRT) était attribuée dans le cadre du projet ont également utilisé le logiciel de simulation pour vérifier leur conception, même si ce procédé ne faisait pas partie des consignes de leur projet. En outre, tous les étudiants du cours avaient appris des notions de base de la simulation et du prototypage avant l'attribution du projet de conception. Voilà qui explique peut-être également le manque de constatations significatives en ce qui touche l'autoefficacité.

7.2 Rendement

Nous nous attendions à ce que les étudiants ayant exécuté un projet de conception selon la modalité de la simulation et du prototypage (SIM+PRT) obtiennent des notes de rendement supérieures à celles des étudiants menant à bien un projet de conception selon une autre modalité. Or, les résultats à la section 6.4 montrent que les étudiants dans la modalité du prototypage (PRT) obtiennent (par une très faible marge) la plus forte note de l'étudiant dans le projet, pendant que ceux dans la modalité de la simulation (SIM) sont les plus forts en ce qui touche la note du groupe dans le projet, la note totale dans le projet, la note à l'examen final et la note finale dans le cours.

En ce qui touche la note de l'étudiant dans le projet, les valeurs sont très semblables et il n'y a pas de différence statistiquement significative. Voilà un résultat satisfaisant, car les différences significatives entre les groupes ont pu révéler un biais de modalité dans les exigences ou la notation du projet plutôt qu'une différence entre les connaissances des étudiants d'une modalité à l'autre. Les questions posées à cette partie de l'évaluation verbale étaient en quelque sorte d'ordre général et comportaient des éléments portant sur l'ensemble des connaissances du cours relativement à la conception de trains d'engrenage, à la simulation et au prototypage, mais parce que les évaluateurs étaient en mesure de choisir les questions d'après les points forts du particulier, il est alors logique que les étudiants obtiendraient un bon rendement, quelle que soit la modalité en cause.

Pour ce qui est de la note du groupe dans le projet et de la note totale dans le projet, il y a une différence statistiquement significative au chapitre du rendement, les étudiants de la modalité de la simulation (SIM) étant en tête de peloton. Il se peut que la différence nécessaire dans le barème de correction employé pour les étudiants qui ont utilisé les imprimantes 3D (les modalités du prototypage [PRT] et de la simulation et du prototypage [SIM+PRT]) ait influé sur ce résultat. Voilà un point qui indique peut-être que les étudiants qui n'avaient pas à consacrer de temps aux imprimantes 3D étaient plus libres d'expérimenter à l'aide du logiciel de simulation, de sorte qu'ils pouvaient passer davantage de temps à s'en servir. Les futurs travaux sur ce thème pourront englober une évaluation qualitative à l'aide de questions ouvertes pour permettre aux étudiants d'exprimer leurs opinions tranchées, s'il y a lieu, quant à l'intégration des imprimantes 3D au cours et à l'équité de la procédure de notation d'une modalité à l'autre.

Quant à la note à l'examen final et à la note finale dans le cours, bien qu'elles ne soient pas significatives, elles ont révélé des notes de rendement supérieures chez les étudiants dans les modalités de la simulation (SIM) et de la simulation et du prototypage (SIM+PRT) comparativement à ceux dans la modalité du prototypage (PRT) seule. Le plus grand nombre d'étudiants ayant répondu à l'enquête provenaient également de la modalité de la simulation (SIM) : plus de la moitié de tous les participants (52,9 %) exécutaient un projet en pure simulation (SIM). Voilà un facteur qui pourrait également contribuer à expliquer les résultats.

Dans l'ensemble du groupe d'étudiants, il y avait encore plus de la moitié (58,5 %) des étudiants qui avaient exécuté le projet selon la modalité de la simulation (SIM). Les étudiants qui travaillaient d'après cette modalité avaient le plus accès à l'aide des autres étudiants parce que ces derniers étaient disponibles en

nombre accru. Si nous prenons en compte les étudiants dans la modalité de la simulation et du prototypage (SIM+PRT), l'accès disponible total à l'aide par les pairs s'établissait à 77,4 % de la population pour la modalité de la simulation et à seulement 41,5 % de la population pour la modalité du prototypage.

De plus, on a consacré davantage de temps à l'apprentissage de la simulation dans les séances magistrales, de laboratoire et de tutorat qu'au moyen des imprimantes 3D. La plus grande partie des connaissances en matière de prototypage ont été acquises par essais et erreurs avec les imprimantes 3D à la suite d'une leçon rapide sur les façons de démarrer celles-ci. Pareille situation se serait traduite par une courbe d'apprentissage plus abrupte chez les étudiants ayant utilisé les imprimantes 3D. Dans ce cas-ci, les modalités du prototypage (PRT) de même que de la simulation et du prototypage (SIM+PRT) seraient en cause, quoique les étudiants décontenancés par les échecs éprouvés dans l'utilisation des imprimantes ont peut-être pu ou non passer à une autre partie du projet (c.-à-d. la simulation) pour se sentir valorisés, selon la modalité qui leur était attribuée. Voilà qui pourrait expliquer par ailleurs certaines des différences entre la modalité du prototypage (PRT) et celle de la simulation et du prototypage (SIM+PRT).

La théorie de l'autoefficacité avance que les étudiants ayant l'autoefficacité la plus élevée obtiendront le rendement le plus élevé [Bandura (1977)]. Or, les étudiants dans la modalité de la simulation et du prototypage (SIM+PRT) ont affiché la plus forte croissance d'autoefficacité, mais leur rendement n'était pas le plus élevé, quelle que soit la catégorie. D'autres travaux sont nécessaires à ce chapitre, en ayant comme point de mire une concordance appropriée entre les mesures d'autoefficacité et de rendement ainsi qu'une hausse de la population des répondants à l'enquête, de façon à ce qu'une analyse juste entre les modalités puisse être effectuée.

7.3 Visualisation

Une analyse approfondie des résultats de visualisation révèle que le recul progressif de la moyenne de visualisation et l'accroissement de la variance étaient attribuables de manière disproportionnée aux élèves les plus faibles qui avaient du mal à composer avec une hausse du contenu de cours et possiblement le caractère abstrait du logiciel de simulation. En raison du faible taux de réponse et du format restreint de l'étude dont il est question ici dans l'ensemble, il n'y a pas suffisamment de données pour évaluer si le fait de travailler à un projet de prototypage (selon la modalité PRT ou SIM+PRT) a permis d'améliorer la visualisation des étudiants préalablement en difficulté. Toutefois, la tendance montre que les résultats les plus élevés sont issus d'un agencement de la simulation et du prototypage (modalité SIM+PRT).

8 Conclusion

Le présent document relate les retombées de la simulation et du prototypage rapide instaurés durant l'exécution d'un projet de conception par les étudiants de première année en génie dans le cours ENG IC03 (Conception et éléments graphiques). Les projets étaient attribués selon trois modalités : simulation; prototypage; simulation et prototypage. Les auteurs ont étudié les différences entre les équipes auxquelles

chaque modalité de projet de conception était attribuée en ce qui touche leur autoefficacité et rendement de conception en génie.

1. L'apprentissage expérientiel par un projet de conception dans lequel intervient ou bien la simulation, ou bien le prototypage, peut favoriser un accroissement de l'autoefficacité chez les étudiants de première année en génie.
2. Les étudiants qui ont exécuté un projet faisant appel à la simulation (SIM) obtenaient, en ce qui concerne la note du groupe dans le projet et la note totale dans le projet, un rendement supérieur à celui des étudiants des modalités de la simulation et du prototypage (SIM+PRT) ou du prototypage (PRT).
3. Les étudiants dont le projet faisait intervenir le prototypage (modalités PRT ou SIM+PRT) affichaient en visualisation un rendement égal ou supérieur à celui des cohortes précédentes d'étudiants, ceux de la modalité SIM+PRT révélant les meilleurs résultats à ce chapitre.

D'après la théorie de l'autoefficacité, cette augmentation de l'autoefficacité pourrait se traduire par une amélioration du rendement chez les étudiants. Ce sont les étudiants faisant appel à la simulation dans leurs projets de conception (modalité SIM ou SIM+PRT) qui ont obtenu les notes les plus élevées dans le projet de conception en ce qui touche le rendement.

La hausse du rendement à l'examen final et en visualisation issue de l'expérience en prototypage est encourageante parce que les étudiants manifestent la capacité de synthétiser autant, sinon plus, de contenu de cours, ce qui fait intervenir à la fois un accroissement de l'autoefficacité en fonction d'un rendement égal ou supérieur.

Parmi les limites de l'étude, il y a le faible taux de réponse et les légères différences dans les exigences de présentation entre les modalités de projet (p. ex., le modèle simulé par rapport au modèle prototypé).

À la suite de la présente étude, l'Université McMaster a élargi ses voies de recours en lien avec le prototypage rapide (epiclab.mcmaster.ca) à l'intention des étudiants de première année en génie, pendant que le projet de conception dans le cours ENG IC03 (Conception et éléments graphiques) est désormais axé sur la modalité SIM+PRT.

Les travaux ultérieurs permettront d'étudier la méthode classique d'enseignement de la visualisation ainsi que le rôle que joue le prototypage rapide dans l'acquisition des compétences en visualisation.

Bibliographie

- Bailey, M. et J. Chambers (2004), Using the experiential learning model to transform an engineering thermodynamics course, *Proceedings of the 34th Annual Frontiers of Education Conference*.
- Bandura, A. (1977), « Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change », dans *Psychological Review*, vol. 84 n° 2, p. 191-215. Extrait de : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/847061>
- Bandura, A. (2006), « Guide for constructing self-efficacy scales », dans F. Pajares et T. Urdan (éd.), *Self-efficacy Beliefs of Adolescents* (vol. 5, p. 307-337), Greenwich (Connecticut), Information Age Publishing.
- Bloom, B. S., Engelhart, M., Furst, E. J., Hill, W. H. et D.R. Krathwohl (1956), *Taxonomy of Educational Objectives: Handbook I: Cognitive domain*, New York, David McKay.
- Booth, J.-M. J., et T.E. Doyle (2012), Importance of first-year engineering design projects to self-efficacy: Do first-year students feel like engineers?, *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association*.
- Booth, J.-M. J., Doyle, T. E. et D.M. Musson (2013), Influence of learning preference on self-efficacy and performance in mixed-modality first-year engineering design, *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association*.
- Booth, J.-M. J. (2014), *Experiential Learning through Simulation and Prototyping in First Year Engineering Design*, thèse de maîtrise, Université McMaster, Hamilton (Ontario), Canada.
- Bowyer, A., Giacalone, J. et S. Howyer (2013), *Reprappro*. Extrait de : <http://reprappro.com/>
- Carberry, A. R., Lee, H. S. et M.W. Ohland (2010), « Measuring engineering design self-efficacy », dans *Journal of Engineering Education*, vol. 99 n° 1, p. 71-79.
- Cölln, M. C., Kusch, K., Helmert, J. R., Kohler, P., Velichkovsky, B. M. et S. Pannasch (2012), « Comparing two types of engineering visualizations: Task-related manipulations matter », dans *Applied Ergonomics*, vol. 43 n° 1, p. 48-56.
- Compeau, D. R. et C.A. Higgins (1995-1996), « Computer self-efficacy: Development of a measure and initial test », dans *Management Information Systems Quarterly*, vol. 19 n° 2, p. 189-211.
- Conger, A., Gilchrist, B., Holloway, J., Huang-Saad, A., Sick, V. et T. Zurbuchen (2010), *Experiential Learning Programs for the Future of Engineering Education. IEEE Transforming Engineering Education: Creating Interdisciplinary Skills for Complex Global Environments*. Extrait de : <http://dx.doi.org/10.1109/TEE.2010.5508822>

- Doyle, T. E. (2009), Cornerstone Design: Product Dissection in a Common First-Year Engineering Design and Graphics Course, *Proceedings of the American Society of Engineering Education Conference*.
- Doyle, T. E. (2011), Closing the design loop in freshman engineering, *Proceedings of the American Society of Engineering Education Conference*.
- Doyle, T. E. (2013), Closing the Design Loop: Using CAD, Simulation, and 3D Prototype Models in First-Year Engineering Design and Innovation Projects, *Proceedings of the International Conference on Engineering Education and Research*.
- Doyle, T. E., Smith, W. S. et A. Ieta (2011), Closing the design loop in freshman engineering, *Proceedings of the American Society of Engineering Education Conference*.
- Fantz, T. D., Siller, T. J. et M.A. Demiranda (2011), « Pre-collegiate factors influencing the self-efficacy of engineering students », dans *Journal of Engineering Education*, vol. 100 n° 3, p. 604-623.
- Fleming, N. D. et C. Mills (1992), *Not another inventory, rather a catalyst for reflection*. Extrait de : <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1245&context=podimproveacad>
- Hutchison, M. A., Follman, D. K., Sumpter, M. et G.M. Bodner (2006), « Factors influencing the self-efficacy beliefs of first-year engineering students », dans *Journal of Engineering Education*, vol. 95 n° 1, p. 39-47.
- Hutchison-Green, M. A., Follman, D. K. et G.M. Bodner (2008), « Providing a voice: Qualitative investigation of the impact of a first-year engineering experience on students' efficacy beliefs », dans *Journal of Engineering Education*, vol. 97 n° 2, p. 177-190.
- Kinematic Models for Design Digital Library (2013a), Car Engine. Extrait de : <http://kmoddl.library.cornell.edu/resources.php?id=177>
- Kinematic Models for Design Digital Library (2013b), Reuleaux c.02 Slider Crank Mechanism. Extrait de : <http://kmoddl.library.cornell.edu/resources.php?id=1652>
- Koh, C., Tan, H. S., Tan, K. C., Fang, L., Fong, F. M., Kan, O., Lin Wee, A. et al. (2010), « Investigating the effect of 3D simulation-based learning on the motivation and performance of engineering students », dans *Journal of Engineering Education*, vol. 99 n° 3, p. 237-251.
- Kolb, D. (1984), *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*, Englewood Cliffs (New Jersey), Prentice Hall. Extrait de : <http://www.learningfromexperience.com/images/uploads/process-of-experiential-learning.pdf>

Krathwohl, D. R. (2002), « A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview », dans *Theory into Practice: Revising Bloom's Taxonomy*, vol. 41, The Ohio State University: College of Education.

leap.mcmaster.ca (s.d.), The Learning Enrichment Advancement Program 2013. Extrait de : <http://leap.mcmaster.ca/>

Likert, R. (1932), « A technique for the measurement of attitudes », dans *Archives of Psychology*, vol. 22 n° 140, p. 35.

Lin, P.-C., Wang, S.-M. et H.-K. (2012), « Examining the effects of and students' perception toward the simulation-based learning », dans *Advances in Intelligent and Soft Computing*, vol. 144 n° 1, p. 349-354.

MapleSoft (2013), Maplesim software application. Extrait de : <http://www.maplesoft.com/products/maplesim/>

Mayer, R. E. (2002), « Rote versus meaningful learning », dans *Theory into Practice: Revising Bloom's Taxonomy*, vol. 41, The Ohio State University: College of Education.

McMaster University Engineering 1 (2013), Experiential playground and innovation classroom (epic) (classe d'innovations et de jeux expérientiels). Extrait de : <http://epiclab.mcmaster.ca/>

Pajares, F. et T. Urdan (2006), *Self-efficacy beliefs of adolescents*, Greenwich (Connecticut), Information Age Publishing. Extrait de : <http://books.google.ca/books?id=KMzUU9aTdYOC>

Pintrich, P. R. (2002), « The role of metacognitive knowledge in learning, teaching and assessing », dans *Theory into Practice: Revising Bloom's Taxonomy*, vol. 41, The Ohio State University: College of Education.

Roach, N., Hussain, A. et E. Burdet (2012), « Learning to Design Rehabilitation Devices through the H-CARD Course: Project-Based Learning of Rehabilitation Technology Design », dans *Pulse, IEEE*, vol. 3 n° 6, p. 51-58.

Ruth Graham, E. C. (2011), « Making projects work: a review of transferable best practice approaches to engineering project-based learning in the UK », dans *Engineering Education: Journal of the Higher Education Academy Engineering Subject Centre*, vol. 5 n° 2, p. 41-49.

Schwarzer, R. et M. Jerusalem (1995), « Generalized self-efficacy scale », dans S. W. J. Weinman et M. Johnston (éd.), *Measures in Health Psychology: A user's portfolio. Causal and control beliefs* (p. 35-37), Windsor (Royaume-Uni), NFER-NELSON.

Strecher, V. J., McEvoy DeVellis, B., Becker, M. H. et I.M. Rosenstock (1986), « The role of self-efficacy in achieving health behavior change », dans *Health Education & Behavior*, vol. 13 n° 1, p. 73-92. Extrait de : <http://heb.sagepub.com/content/13/1/73.abstract>

Tseng, K.-H., Chang, C.-C., Lou, S.-J. et W.-P. Chen (2011), « Attitudes towards science, technology, engineering and mathematics (STEM) in a project-based learning (PjBL) environment », dans *International Journal of Technology and Design Education*, vol. 23 n° 1, p. 87-102.

Tukey, J. W. (1977), « Exploratory data analysis », dans *Addison-Wesley Series in Behavioral Science: Quantitative Methods*, Reading (Massachusetts).

Verner, I. M. et E. Korchnoy (2005), Experiential learning and teacher training through designing robots and generating motion behaviors, *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, p. 6187-6194.

