



Association canadienne d'éducation
engager . écouter . échanger . enrichir depuis 1891



Étude Ontario-Québec Secteur de l'éducation

Comparaison de deux types d'approches utilisant les nouvelles technologies visant à aider les élèves à comprendre des notions abstraites du programme-cadre de Sciences

Rapport final, 2008

Préparé par

Thérèse Laferrière et équipe, Université Laval

Marion Barfurth et équipe, Ph.D. Ottawa

**Éducation,
Loisir et Sport**

Québec



Avec la participation du
ministère des Affaires municipales et des Régions



Ontario

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION

Table des matières

Liste des tableaux	5
Liste des figures	6
Introduction.....	7
Chapitre 1 : Définition du projet de recherche.....	8
Buts du projet	8
Contexte du projet	8
Interrogations et choix situés en contexte	9
Importance pour les jeunes de comprendre le concept de force (en sciences)	10
Le concept de force dans les programmes scolaires	11
Enseigner pour bien faire comprendre	12
Technologies numériques pour l'apprentissage	13
Questions de recherche	13
Pertinence de la recherche.....	14
Limites de la recherche	15
Chapitre 2 : Recension des écrits	16
Introduction.....	16
Pourquoi est-il si difficile d'apprendre la physique?.....	16
Différences entre experts et novices	18
Méthodologie (pour la recension des écrits).....	20
Simulations	21
Résultats de recherche.....	22
Résultats d'apprentissage recensés par des études méta-analytiques	25
Espaces numériques de type laboratoire (ENL).....	26
Résultats de recherche.....	28
Résultats d'apprentissage	29
Représentations (cartes) numériques de connaissances.....	30
Cartes conceptuelles	30
Cartes argumentatives	31
Technologies de collaboration et de coélaboration de connaissances	31

Vue d'ensemble des résultats d'apprentissage obtenus en sciences au premier cycle du secondaire au moyen de TIC	33
Chapitre 3 : Méthodologie	36
Situation éducative étudiée en Ontario.....	37
Situation éducative étudiée au Québec.....	38
Cueillette des données	38
Déroulement de la recherche en Ontario	39
Déroulement de la recherche au Québec.....	40
Instruments.....	41
Analyse des données	42
Chapitre 4 : Présentation des données recueillies en Ontario	43
Introduction.....	43
L'enseignant	43
Les élèves	44
Structure de l'étude	44
Durée de l'étude	44
Les activités d'apprentissages réalisées	44
Les données	45
Les résultats	46
Présentation et analyse des données	47
Chapitre 5 : Présentation des données recueillies au Québec	61
Introduction.....	61
Étude en contexte rural, 3e-4e-5e-6e année.....	61
Participants.....	61
L'intervention (design de l'activité d'apprentissage)	62
Les données	65
Les résultats	66
Étude en contexte urbain, première secondaire.....	74
L'intervention (design de l'activité d'apprentissage)	75
Les résultats	79
Chapitre 6 : Discussion des résultats	98
Constat 1 : Des différences de contexte.....	98
Constat 2 : Des choix judicieux pour réussir l'intégration des nouvelles technologies en salle de classe	100

La question de l'engagement de l'élève dans la situation d'apprentissage	101
La question de la compréhension du concept présenté comme objet d'apprentissage	101
La question du transfert des connaissances acquises à une nouvelle situation ...	102
Constat 3 : Des investissements différents	103
Conclusions et prospective	104
Références	105
ANNEXES	110
ANNEXE A	111
Calendrier du projet de recherche	111
ANNEXE B	113
Formulaires de consentement	113
ANNEXE C	118
Contexte franco-ontarien	119
Contexte québécois	120
ANNEXE D	128
Instruments de collecte de données	128

Liste des tableaux

Tableau 1 : Appréciations des affordances du module	56
Tableau 2 : Aspects appréciés du module	56
Tableau 3 : Aspects du module à améliorer	57
Tableau 4 : Exemples qui facilitent la compréhension et leur pourquoi	57
Tableau 5 : Impact des questions posées à la fin du module	58
Tableau 6: Appréciation globale du mode d'apprentissage au moyen du module	58
Tableau 7 : Données statistiques (Mesure de base de l' <i>Analytic ToolKit</i> , ATK)	67
Tableau 8 : Nombre de concepts définis correctement (prétest)	69
Tableau 9 : Résultats des élèves à l'évaluation de la tâche complexe	71
Tableau 10 : Résultats des élèves au posttest.....	72
Tableau 11 : Concepts-clés associés au concept de force	81
Tableau 12 : Répartition des exemples de situations.....	82
où s'exercent certaines forces.....	82
Tableau 13 : Répartition des définitions données par les élèves	83
au concept de force gravitationnelle.....	83
Tableau 14 : Répartition des définitions données par les élèves	83
au concept de force de tension	83
Tableau 15 : Répartition des définitions données par les élèves	84
au concept de force de compression	84
Tableau 16 : Répartition des définitions données par les élèves	84
au concept de force de cisaillement	84
Tableau 17 : Répartition des définitions données par les élèves	84
au concept de force magnétique	84
Tableau 18 : Adéquation des réponses des élèves concernant les cinq forces.....	85
Tableau 19 : Répartition des élèves selon la qualité de leur réponse à la question 3 du posttest.....	93
Tableau 20 : Répartition des élèves selon la qualité de leur réponse à la question 4 du posttest.....	94
Tableau 21 : Répartition des élèves selon leur compréhension du concept de force en tenant compte des réponses données au posttest	95

Liste des figures

FIGURE 1. Les élèves interagissant avec le module SAMFO	49
FIGURE 2. Résultats des élèves aux pré et posttests	50
FIGURE 3. Constructions des élèves.....	52
FIGURE 4. Résultats des élèves suite à leurs rapports d'activités	53
FIGURE 5. Ensemble des résultats obtenus par les élèves	54
FIGURE 6. Illustration de l'intervention	65
FIGURE 7. Deux exemples de perspectives sur les forces et les mouvements	66
FIGURE 8. Schéma de construction d'un élève.....	68
FIGURE 9. Construction des élèves dans une classe ÉÉR	70
FIGURE 10. Comparaison entre les résultats des élèves au prétest et au posttest sur les concepts reliés aux forces et mouvements	72
FIGURE 11. Exemples des idées des élèves	73
FIGURE 12. Exemple d'un questionnement émergent	73
FIGURE 13 Exemples d'idées liés aux savoirs essentiels	73
FIGURE 14. Exemple de note. URL de cette note (accès limité) :.....	76
FIGURE 15. Types de force et mouvements engendrés	78
FIGURE 16. Les élèves PROTIC en cours d'activité	80
FIGURE 17. Répartition des élèves selon la qualité de leur définition initiale du concept de force	81
FIGURE 18. Comparaison de la répartition des élèves selon la qualité de leur définition du concept de force.....	88
FIGURE 19. Comparaison des résultats par sujet	89
FIGURE 20. Réponses des élèves à une situation en appelant à leur capacité de symbolisation	90
FIGURE 21 : Exemples de transfert de connaissances	97

Introduction

Le projet *Comprendre le concept de force en sciences* est né de l'initiative des ministères de l'Éducation de l'Ontario et du Québec dans le cadre d'une entente de collaboration signée par les deux Premiers Ministres de ces provinces concernant le secteur de l'éducation ainsi que d'autres secteurs d'activité.

C'est une étude comparative, de nature collaborative et de type exploratoire, qui s'est déroulée de mai 2007 à mai 2008. Elle pourrait être suivie d'une étude plus approfondie et de plus d'envergure selon l'intérêt des résultats présentés ci-dessous de même que la disponibilité des ressources disponibles.

Le volet ontarien de ce projet a mobilisé des ressources spécifiquement dédiées aux fins de la présente étude confiée à l'Association canadienne d'éducation par la Direction des politiques et programmes d'éducation en langue française. Le projet a été réalisé en concertation avec le Service d'apprentissage médiatisé franco-ontarien (SAMFO). Le volet québécois s'inscrivait dans le contexte de l'initiative École éloignée en réseau (ÉÉR, Phase 3) financée par le ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS) et il était sous la coordination du Centre francophone d'informatisation des organisations (CEFRIO).

L'étude confiée aux deux chercheuses, l'une œuvrant en Ontario et l'autre au Québec, a été réalisée en étroite collaboration. Les chercheuses ont appliqué le devis de recherche de manière à impliquer les enseignants volontaires et à obtenir des données denses sur leurs façons respectives d'intégrer les technologies de l'information et de la communication (TIC) dans leur contexte de classe. Le choix des TIC qui font l'objet de cette recherche ainsi que de leurs contextes d'utilisation a été effectué de manière consensuelle par les membres du Comité, qui a coordonné la collaboration entre les deux Ministères et leurs partenaires, et à qui un rapport d'étape et un rapport final ont été remis.

Chapitre 1 : Définition du projet de recherche

Buts du projet

Le projet *Comparaison de deux types d'approches utilisant les nouvelles technologies visant à aider les élèves à comprendre des notions abstraites du programme-cadre de Sciences* poursuivait une double visée :

1. L'établissement d'une collaboration productive entre le Québec et l'Ontario concernant une exploration de l'apport des nouvelles technologies de l'information et de la communication à l'enseignement et à l'apprentissage en classe primaire ou secondaire; et
2. La comparaison de deux types d'usage de nouvelles technologies visant à aider les élèves à comprendre le concept de «force» du programme-cadre de Sciences.

Contexte du projet

L'Ontario et le Québec développent leur infrastructure technologique. De plus en plus de citoyens utilisent Internet à des fins d'information et de participation, que ce soit à la maison ou au travail. En matière d'économie, élaborant sur la réflexion de Florida (2005) à l'effet que le monde n'est pas tant plat (*flat*), comme le prétend Friedman (2005) qu'« en épingles » (*spiky*), Seely Brown et Adler (2008) font observer que « les endroits qui sont globalement concurrentiels sont ceux qui ont des écosystèmes locaux robustes de ressources qui soutiennent l'innovation et la productivité » (p. 16). Le développement de tels écosystèmes est, entre autres, lié à l'éducation, plus encore, à l'expérience d'apprentissage des jeunes.

Les ressources et les outils numériques se multiplient dans le secteur de l'éducation. Toutefois, prudence oblige puisque leur intégration dans les classes primaires et secondaires est sujette à d'importants investissements et que leur apport pour l'enseignement et l'apprentissage fait encore l'objet de peu de certitudes. Ainsi, un

nombre croissant de classes disposent d'au moins un ordinateur relié à Internet comme équipement de base mais nous sommes loin de la norme du un pour un qui prévaut concernant les manuels scolaires. Toutefois, la sous-utilisation en classe d'ordinateurs (personnels ou autres) est constatée (Cuban, 2001). Une récente étude internationale (OCDE, 2005) montre qu'au Canada, l'usage fait en classe de l'ordinateur est moindre que dans d'autres pays dont les écoles sont souvent moins bien équipées. Ainsi, en 2003-2004, 29 % des étudiants canadiens de quinze ans ont tiré profit des ordinateurs pour réaliser, à chaque jour ou plusieurs fois par semaine, leurs travaux scolaires alors qu'une proportion semblable (28%) a avoué ne jamais utiliser un ordinateur à cette fin. Ces résultats soulèvent une grande préoccupation en matière de fossé numérique, à savoir que des étudiants s'éduquent (ou sont éduqués) à l'utilisation de l'ordinateur à la maison et à l'école pour faire leurs études et d'autres ne le sont pas. Non seulement le développement personnel et professionnel de tels jeunes risque-t-il d'en souffrir, tout comme leur participation à la vie démocratique à l'ère d'Internet, mais aussi le développement d'écosystèmes pour faire fructifier l'économie. Il n'est pas étonnant alors que la question de l'utilisation des TIC en classe ait suscité l'attention pour une étude collaborative Ontario-Québec dans le secteur de l'éducation primaire et secondaire.

Interrogations et choix situés en contexte

L'accès facile à un ordinateur n'étant pas la seule condition importante, l'adoption de ressources et d'outils numériques en classe pose des défis et des enjeux pédagogiques. Ceux-ci passent à l'avant-plan lorsque les défis et les enjeux liés à l'acquisition d'une capacité au plan technologique s'estompent. La grande majorité des enseignantes et enseignants tiennent à faire du bon travail et l'usage de moyens reconnus fait partie de leurs stratégies. Les interrogations sont nombreuses quant à « qu'est-ce qui permet quoi ? » et « qu'est-ce qui donne quoi ? ». C'est pourquoi les acteurs du présent projet n'ont pas opté pour une étude générale sur l'apport des TIC à l'enseignement et à l'apprentissage mais plutôt pour une étude qui apportera une contribution au sujet de l'usage en contexte de certaines technologies spécifiques.

Les méta-analyses de Kulik (1994, 2003), qui nous informent sur plusieurs types de technologies numériques, laissent entrevoir un apport substantiel de certaines d'entre elles dans le domaine des mathématiques et celui des sciences. Puisqu'en général,

l'usage des TIC est plus fréquent pour l'apprentissage des sciences que des mathématiques et ce, notamment dans les classes du Québec et de l'Ontario, notre choix s'est posé sur les sciences comme domaine sur lequel nous pencher pour investiguer l'apport des TIC.

Bien qu'étant conscients que l'apprentissage des sciences puisse se produire hors du contexte de classe, incluant par l'intermédiaire d'activités, de modules et de cours en ligne, nous avons opté pour une étude qui devait examiner le contexte de classe et ce, en ciblant les notions et concepts des programmes scolaires de fin d'ordre primaire ou début d'ordre secondaire. Toutefois, les ressources et les outils numériques pouvaient être soit endogènes ou exogènes à la vie de la classe.

La consultation effectuée auprès d'informateurs afin de retenir une portion de matière particulièrement importante dans les débuts de l'apprentissage des sciences et qui se prêtait à l'utilisation des TIC, du fait de sa disponibilité en langue française et de sa pertinence par rapport au curriculum, nous a fait nous pencher sur le concept de force. De plus, il s'agit d'une notion scientifique complexe, c'est-à-dire qu'elle exige l'engagement de l'apprenant afin de dépasser le stade de la mémorisation, d'atteindre un niveau de compréhension approfondi et de pouvoir transférer les connaissances acquises dans une nouvelle situation incluant une situation de la vie courante.

Importance pour les jeunes de comprendre le concept de force (en sciences)

Le concept de force est associé au concept de mouvement. On désignera alors la force comme étant une action capable de modifier la forme ou le mouvement d'un corps. Ces deux concepts sont au centre de l'étude de la physique et cette science fait l'objet de nombreuses conceptions erronées ou aléatoires chez les jeunes. Par exemple, une étude réalisée entre autres auprès d'étudiants de l'Université Harvard a montré plusieurs conceptions erronées au sujet des saisons¹.

Parmi les conceptions erronées fréquentes, citons l'association de la gravité à une forme de force magnétique. De même, certaines personnes inféreront que l'attraction

¹ Voir la vidéo (en anglais) à l'adresse suivante :
<http://msteacher.org/epubs/science/science7/misconceptions.aspx>)

gravitationnelle terrestre est fonction du poids des objets attirés sur la Terre et elles énonceront alors que les objets lourds tombent plus vite que les objets légers. Plusieurs élèves croient que les objets immobiles— tels une table ou une chaise— ne peuvent exercer une force ou qu'aucune force n'est exercée sur ces objets. Cette conception est en lien étroit avec celle qui veut que si un objet est en mouvement, une force agit sur cet objet. S'il est immobile, aucune force ne devrait alors agir sur lui.

Le concept de force dans les programmes scolaires

Les programmes scolaires des deux provinces dans laquelle s'est déroulée l'étude accordent de l'importance à la compréhension du concept de force.

Programme scolaire de l'Ontario

En Ontario, le concept de force est abordé en 7^e année. Le programme-cadre précise de façon détaillée ce que l'on souhaite voir acquérir chez l'enfant. On y évoque que l'élève doit être en mesure de montrer sa compréhension du rapport entre l'efficacité des structures et les forces qui agissent sur elles et à l'intérieur d'elles. La conception et la fabrication de diverses structures sont parmi les activités préconisées en classe afin que les élèves puissent reconnaître les forces qui agissent sur les structures et qu'ils puissent explorer le rapport entre la conception de structures et leur fonction. La construction d'une structure solide ou d'une structure à ossature (pont par exemple) ou même, d'une structure à coque (dôme d'air, structure géodésique) sont parmi les options proposées dans le programme-cadre. L'élève devrait pouvoir décrire, par ses observations, des façons selon lesquelles différentes forces peuvent influencer sur la stabilité d'une structure (forces provoquant le gauchissement, le cisaillement ou la déformation d'une structure). De même, l'élève devrait pouvoir identifier les forces inhérentes à une structure (compression, torsion, cisaillement, tension) et expliquer comment celles-ci seraient modifiées par des forces externes.

Programme scolaire du Québec

Au Québec, le contenu de formation du premier cycle du secondaire est divisé en quatre univers que sont l'univers du vivant, la Terre et l'espace, l'univers matériel et l'univers technologique. C'est dans ce dernier univers que s'inscrit le concept de force. Il faut dégager ici que l'on vise à développer chez l'élève, par l'étude des forces, des mouvements et des transformations de l'énergie, la compréhension du fonctionnement

de certains systèmes technologiques, afin, ultimement, de pouvoir réinvestir ces concepts dans la conception et la fabrication d'un prototype d'objet technique. Le MELS (2006, p.283) propose d'exploiter le concept avec les élèves par l'analyse d'objets techniques, ceux-ci se voulant des manifestations concrètes de la présence de forces et de mouvements. On peut alors lire : « Les forces qui agissent sur les pièces d'un mécanisme sont susceptibles de modifier leurs mouvements et d'exercer des contraintes mécaniques pouvant parfois provoquer des déformations ou des ruptures ». Dans ce prolongement, l'étude des forces et des mouvements permet de saisir le fonctionnement des mécanismes de transmission (engrenages, poulies, vis sans fin, etc.) et de transformation du mouvement (came, bielles, etc.). Bref, l'application du concept de force permet de mieux comprendre certaines machines simples et leur utilisation.

Enseigner pour bien faire comprendre

L'éclairage conceptuel concernant la compréhension de concepts provient des sciences de l'apprentissage qui, elles, tirent leurs racines des sciences cognitives (Bransford, Brown, & Cocking, 1999; Geier et al, 2004; Sawyer, 2005). L'élève doit être activement engagé dans l'apprentissage du concept à l'étude et l'enseignant doit aussi être actif en échafaudant l'apprentissage de l'élève, du petit groupe ou de l'ensemble de la classe. Les travaux réalisés dans le cadre du Projet Zéro à Harvard (Stone-Wiske, 1998) ont permis de distinguer quatre niveaux de compréhension :

- Le **niveau naïf** : la pensée de l'élève est basée sur des connaissances intuitives ;
- Le **niveau novice** : la pensée de l'élève suit le scénario d'apprentissage ;
- Le **niveau apprenant** : la pensée de l'élève reflète des connaissances et des modes de pensée de la discipline ;
- Le **niveau expert** : la pensée de l'élève est intégrée, créative et critique.

Wiske, Rennebohm et Breit (2004) suggèrent différentes manières pour un enseignant d'utiliser la technologie pour engager l'élève sur les thèmes importants d'une discipline (mathématiques, sciences) et les leur faire comprendre en profondeur. Ces manières de faire s'inscrivent dans la tradition des travaux du projet Zéro (voir Perkins, Schwartz, West, & Wiske, 1995).

Technologies numériques pour l'apprentissage

Par technologies numériques, nous entendons les ressources et les outils qui requièrent l'usage d'un ordinateur. Pensons aux ressources disponibles sur cédérom, DVD, clé USB, sur un réseau intranet ou sur Internet. Elles peuvent présenter ou non un contenu organisé. Un contenu structuré prend la forme d'une activité, d'un scénario, d'un module, d'un cours ou d'un système d'apprentissage. Certains modules ou systèmes d'apprentissage sont dotés d'un niveau d'adaptabilité à l'apprenant permettant d'individualiser davantage l'apprentissage. Pensons aussi aux animations interactives qui rendent moins monotone un contenu donné et qui amusent tout en instruisant ou encore aux simulations qui concrétisent un contenu abstrait. Pensons enfin à des outils tels les logiciels de production (le traitement de texte, l'éditeur html, l'idéateur, le blogue ou le wiki), de conversation (écrite ou orale, synchrone ou asynchrone) ou d'expérimentation (laboratoires virtuels).

Les interactions entre les personnes (enseignant ou élève) avec ou au moyen de l'ordinateur en réseau sont de deux ordres : l'interaction personne-machine et l'interaction personne-personne avec le support d'un ordinateur en réseau, soit un ordinateur branché en réseau local ou connecté à Internet. Les résultats de la recherche dans le domaine spécifique de l'apprentissage en collaboration², qui s'appliquent dans le cas de l'interaction personne-personne avec l'ordinateur en réseau, seront aussi éclairants.

Questions de recherche

L'utilisation des technologies numériques est ici envisagée comme ayant un effet positif³ sur la compréhension des élèves qui étudient les sciences en les aidant, par exemple, à se représenter l'activité scientifique, à concentrer leur attention sur des concepts abstraits fondamentaux ou à visualiser plus clairement des processus. Pour mieux cerner, en contexte, cet effet au regard de l'apprentissage du concept de force, la

² Voir les travaux du domaine *Computer-supported collaborative learning*.

³ À noter que les logiciels interactifs n'ont pas la même valeur éducative et que certains sont même susceptibles d'interférer avec l'apprentissage – voir Selwyn (2003, 2004) sur l'idée que se font les jeunes des TIC (par ex., MSN, My Space, YouTube).

présente étude s'est penchée sur la manière (le comment) dont certaines technologies offraient un soutien à l'enseignant qui cherchait à faire comprendre aux élèves ce phénomène abstrait.

Nous avons apporté une attention particulière aux facteurs se situant les plus à proximité de la situation d'apprentissage spécifique (*domain-specific processing*) vu leur effet (voir Seidel & Shavelson, 2007) sur les résultats d'apprentissage: l'activité en lien avec la matière (résolution de problème, démarche scientifique ou stratégies de lecture et d'écriture), la régulation et l'évaluation de l'apprentissage. Toutefois, des facteurs plus éloignés de la situation d'apprentissage spécifique (contexte social, temps d'apprentissage et organisation/gestion de classe) ont été considérés.

Que ce soit dans les situations d'apprentissage personne-machine ou personne-personne au moyen de la machine, trois questions ont été étudiées dans différents environnements d'apprentissage. Ce sont les suivantes :

- La question de l'engagement de l'élève dans la situation d'apprentissage présentée
- La question de la compréhension du concept présenté comme objet d'apprentissage
- La question du transfert des connaissances acquises à une nouvelle situation présentée

Pertinence de la recherche

Rappelons que ce projet de recherche visait d'abord l'établissement d'une collaboration productive entre le Québec et l'Ontario concernant une exploration de l'apport des nouvelles technologies de l'information et de la communication à l'enseignement. À cette fin, nous avons choisi d'effectuer une comparaison de deux types d'usage de nouvelles technologies visant à aider les élèves à comprendre le concept de «force» du programme-cadre de Sciences.

Ce n'est pas le fait que les élèves de l'Ontario et du Québec ne réussissaient pas en science qui a suscité ce projet de recherche. Les élèves canadiens de 15 ans se sont classés au troisième rang, après la Finlande et Hong-Kong, aux résultats 2006 du

Programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA), qui se veut un effort collectif des pays membres de l'OCDE pour évaluer sur une base régulière et par un test international commun. Toutefois les résultats du PISA ont montré des signes que des pays sont en voie d'amélioration, ce qui n'est pas le cas du Canada.

Diversifier les façons de faire pour apprendre un concept difficile est présumé être bénéfique pour l'acquisition d'une compréhension en profondeur d'un concept. La présente étude a permis de voir les possibilités et les limites d'environnements d'apprentissage distincts et leurs caractéristiques.

Du point de vue scientifique, la recherche voulait permettre de jeter les bases d'un projet plus substantiel qui comparerait, sur une plus grande échelle, les niveaux d'engagement des élèves, leurs niveaux de compréhension des concepts ainsi que leurs capacités à transférer et à utiliser leurs connaissances nouvellement acquises dans une situation nouvelle. En outre, des processus comme l'individualisation, qui tire profit de l'interaction personne-machine, et la collaboration, qui tire profit de l'interaction personne-personne via Internet, pourraient être investigués.

Limites de la recherche

Cette recherche est d'abord limitée par la complexité des questions abordées, sa nature exploratoire ainsi que les ressources limitées qui y ont été consacrées. Elle est ensuite limitée par les choix méthodologiques qui ont été effectués et principalement par le très faible nombre de participants.

Pour contrer ces limites, nous avons tenu à réaliser une recension importante des écrits (chapitre 2) touchant l'enseignement et l'apprentissage des sciences au moyen de technologies numériques, entre autres les nouvelles technologies ayant fait l'objet d'expérimentations.

Chapitre 2 : Recension des écrits⁴

Introduction

Faire de la science, c'est essentiellement se poser des questions, explorer et étudier des hypothèses au moyen d'expérimentations dans le monde réel ou dans celui de la pensée, analyser les résultats et en tirer des conclusions à tout le moins provisoires. L'étude de la manière d'apprendre à penser scientifiquement, particulièrement en matière de physique, est difficile (Bransford, Brown, & Cocking, 1999). Au cœur de ce chapitre, on retrouve des préoccupations concernant la façon, au moyen des technologies de l'information et de la communication (TIC), de comprendre le concept de force et les notions adjacentes comme celle du mouvement. Le concept de force est incontournable pour une compréhension de la physique newtonienne à l'école secondaire et par la suite. Nous commençons cette recension des écrits par un examen des raisons possibles à cette difficulté qu'ont tant d'étudiants à apprendre la physique. Ensuite, nous explorons des technologies spécifiques et leur apport à la compréhension que les étudiants se font de la physique : nous examinons des études sur les simulations, les laboratoires virtuels, les représentations (cartes) numériques de connaissances et les technologies de collaboration et de coélaboration de connaissances. En conclusion, nous réfléchissons sur les défis que pose la réalisation d'évaluations bien documentées sur les TIC.

Pourquoi est-il si difficile d'apprendre la physique?

Le développement de la capacité chez les élèves de raisonner de manière à faire évoluer leur pensée au sujet de phénomènes et de problèmes rencontrés dans leur vie quotidienne est un objectif important en apprentissage des sciences. Cela soulève des défis dans plusieurs domaines dont la cinématique, qui s'intéresse à la description du mouvement sans considérer les forces qui engendrent le mouvement (Von Pfuhl, 1980).

⁴ Pour l'élaboration de ce chapitre nous tenons à remercier Mary Lamon, Ph.D. et ex-coordonnatrice du programme *School for Thought* financé par la National Science Foundation aux États-Unis.

Duncan (2007) soutient que pour développer un enseignement efficace, nous devons avoir une solide compréhension des connaissances reconnues essentielles. Dans les lignes qui suivent, nous passons brièvement en revue les connaissances spécifiques d'un domaine, celles qu'utilisent les élèves qui raisonnent sur des problèmes de science physique.

Apprendre la physique implique de développer une nouvelle manière de parler et de penser au sujet du monde naturel en référant à des concepts spécifiques, des théories, des lois, des outils mathématiques et des conventions. Il s'agit de la manière de penser et de parler que la communauté scientifique a développée et validée, une manière fidèle au savoir accumulé (observations et mesures et leur interprétation). Vygotsky (1986) attirait notre attention sur l'idée que le langage utilisé par les gens au quotidien pour parler de la science reflète, en ce domaine, leurs conceptions spontanées. Cependant, cette science est vue à l'école de manière souvent différente.

Prenons un exemple concret : Si on échappe une balle, pourquoi tombe-t-elle ? Une idée courante est que la balle tombe parce qu'elle est lourde. D'un point de vue scientifique, la balle tombe en raison de la force gravitationnelle de la Terre. Cette différence entre deux outils conceptuels – le concept de lourdeur et le concept de gravité – révèle une autre différence, relative celle-là aux perceptions de base que les humains ont de la nature du monde physique. L'explication courante est à l'effet qu'il existe une force de contact entre la personne et la balle alors que l'explication scientifique suppose la présence d'une action qui a lieu à distance : l'attraction terrestre. Il existe également des différences dans le type de connaissances que ces façons de penser révèlent : l'explication courante n'est pas généralisable alors que l'explication scientifique permet d'expliquer les phénomènes de chute des objets, du mouvement des marées et des orbites planétaires. Ainsi, apprendre des notions de physique implique de développer une nouvelle façon de penser et de s'exprimer au sujet du monde naturel et celle-ci se trouve alors en contradiction avec la façon courante de penser et de parler au quotidien. Pour parler des façons de penser d'ordre courant, les chercheurs utilisent les termes de « conceptions alternatives » ou « conceptions erronées ».

Un premier objectif clair en enseignement des sciences consiste à repérer les conceptions erronées des élèves. Apprendre quelque chose, c'est effectuer un changement dans sa mémoire à long terme (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006). Le

changement conceptuel est donc globalement défini comme un processus d'apprentissage qui transforme certaines conceptions préexistantes. Cela présuppose donc que l'apprenant a déjà une certaine représentation de l'objet (à apprendre) mais qu'elle n'est pas nécessairement apparente. Chi (1993) soutient qu'un concept comme celui de la gravité requiert un changement conceptuel puisqu'il reflète une attraction mutuelle (sans cause apparente) entre les noyaux de masse des deux objets. Autrement dit, il n'existe pas de cause directe à cette force, du moins dans les conceptions mécaniques classiques. Une idée majeure provient des études scientifiques des trente dernières années : la recherche au sujet du changement conceptuel montre des différences marquantes entre la manière dont les experts et les novices posent un problème de physique (Bransford, Brown, & Cocking, 1999).

Différences entre experts et novices

La recherche s'est intéressée aux différences dans la façon dont les experts résolvent des problèmes de physique comparativement aux novices. Les experts font des analogies significatives entre des problèmes qui, en apparence, sont différents alors que les novices ne les font pas. À titre d'exemple, les physiciens constatent que le phénomène du courant dans une rivière implique des principes similaires à celui des vents contraires, soit le principe des vitesses relatives. Cependant, les novices arrivent habituellement à décrire des équations qui pourraient s'y appliquer (Larkin, 1983, cité par Bruer, 1993). En général, les experts remarquent en premier lieu les enjeux d'ordre qualitatif (ou contraintes générales) alors que les novices identifient d'abord les enjeux d'ordre quantitatif (ou contraintes spécifiques). Ainsi, les experts sont-ils plus en mesure de transférer un ensemble de principes, qui valent pour un phénomène donné, à un autre phénomène. De plus, les experts possèdent un répertoire de connaissances pertinentes et organisées qu'ils appliquent régulièrement à l'intérieur de leur domaine, ce qui leur permet d'identifier rapidement les concepts qui pourraient être utiles à la compréhension d'un problème spécifique. Il s'avère donc que les experts ne connaissent pas tant de choses que cela. En fait, oui, ils connaissent plusieurs choses mais ce qui définit réellement l'expertise qu'ils ont ce n'est pas la quantité de choses qu'ils savent mais la manière dont leurs connaissances sont organisées. Ce n'est pas le fait qu'ils connaissent tout mais plutôt l'organisation de leur savoir en des schèmes conceptuels qui les rendent utilisables. L'organisation est telle que les experts sont capables d'accéder et d'avoir recours aisément à leur savoir. En somme, ils

reconnaissent des *patterns* que les débutants ne peuvent tout simplement pas voir.

Sachant que l'expertise ne se développe pas nécessairement en lien avec l'âge ou le niveau scolaire (Bruer, 1993), comment alors les enseignants peuvent-ils encourager le changement conceptuel chez les élèves de leur classe ? Le passage d'un raisonnement intuitif à un raisonnement plus scientifique ne fait pas nécessairement partie du développement cognitif puisque plusieurs adultes – incluant les étudiants universitaires en génie – ne comprennent pas pourquoi la balle tombe (Bruer, 1993). Néanmoins, l'observation détaillée des différences de conception entre des experts et des novices a permis aux chercheurs en sciences cognitives de développer des technologies, spécifiques à un domaine de connaissances donné ou l'autre, permettant d'évaluer et de favoriser le changement conceptuel. En s'appuyant sur les études experts-novices ainsi que sur la recherche développementale, les sciences cognitives ont émis certaines recommandations, ci-dessous appliquées au domaine de la physique:

- Identifier les concepts-clés à enseigner en physique
- Tenir compte de la nature de la pensée qui existe déjà chez les élèves à ce sujet
- Analyser la différence entre la façon de penser des élèves et celle des physiciens
- Concevoir des approches d'enseignement visant le changement conceptuel

À titre d'exemple, Minstrell a développé une méthode d'enseignement basée sur différentes façons de raisonner en physique (facettes de raisonnement) après avoir enseigné les sciences physiques au secondaire pendant trente ans (Hunt & Minstrell, 1994). Minstrell définit une facette comme une unité de pensée utile, soit la compréhension d'une petite partie de la connaissance ou de la stratégie nécessaire pour se représenter et comprendre une situation particulière. Un quiz permet d'identifier les « facettes » mises en évidence par les élèves avant la situation d'apprentissage proprement dite. Celui-ci comprend des situations-repères (*benchmark lessons*) permettant de travailler leurs conceptions erronées. Les élèves pratiquent alors des problèmes à l'aide d'un programme informatique nommé *DIAGNOSER*, qui fournit des questions soigneusement conçues pour vérifier à quel point les élèves ont bien saisi la matière et, par le fait même, évaluer la compréhension des concepts de physique au sujet desquels les élèves font habituellement des erreurs, et ainsi proposer à l'enseignant des activités complémentaires. Les données des groupes expérimental et contrôle indiquent des scores de plus de 15% supérieurs lorsque les enseignants

intègrent l'utilisation de *DIAGNOSER*, et ces résultats à la hausse s'observent autant parmi les groupes d'élèves considérés peu performants que parmi ceux considérés moyennement performants et, encore, ceux considérés plus performants (<http://depts.washington.edu/huntlab/>).

Plusieurs études suggèrent que les TIC peuvent soutenir la pensée scientifique et aider les apprenants à développer leur connaissance scientifique d'une façon souvent absente dans l'enseignement des sciences au primaire. Plusieurs technologies ont été conçues dans le but délibéré d'éclairer et d'aborder des croyances spécifiques communément rencontrées dans la vie de tous les jours. Le plus récent rapport Becta (2007) au Royaume-Uni suggère que la façon d'utiliser les TIC et l'amélioration des apprentissages scientifiques des élèves sont étroitement liées à des concepts et habiletés spécifiques qui ont tendance à être en lien avec des matières scolaires propres. Le rapport montre également que, contrairement aux études menées sur la lecture et l'écriture, la sorte de TIC utilisée apparaît être plus étroitement reliée à des concepts et à des habiletés spécifiques et, par conséquent, a tendance à être beaucoup plus liée à la matière scolaire que, par exemple, le montrent les études sur l'utilisation du traitement de texte. La technologie a évolué à un point tel qu'elle peut grandement faciliter l'utilisation de l'investigation guidée (*guided inquiry*) à plusieurs niveaux et offrir également de nouveaux outils capables d'aider les apprenants à se représenter la nature de la science lorsqu'ils sont en classe. La technologie peut être utilisée pour soutenir de nouvelles approches et objectifs pédagogiques dans le but d'améliorer l'enseignement des sciences et ce, en autant qu'on l'utilise en tant qu'outil – elle peut aider les élèves à garder leur attention sur des concepts abstraits, visualiser plus efficacement des procédures, analyser de manière qualitative des tendances et des relations et, ainsi, accéder à de nouvelles idées et les transférer plus facilement. Par exemple, les vidéoclips, les animations et les simulations interactives rendent plus accessibles les phénomènes abstraits, comme la force.

Méthodologie (pour la recension des écrits)

En faisant des recherches dans la littérature publiée depuis les dix dernières années, nous avons repéré plusieurs TIC fréquemment utilisées par les élèves du premier cycle du secondaire pour l'étude de la cinématique: simulations, espaces numériques de type

laboratoire (ENL) (*microcomputer-based laboratories*, MBLs), représentations (cartes) numériques de connaissances et technologies de collaboration et de coélaboration de connaissances. Malgré le fait que l'utilisation de tableaux blancs interactifs, de vidéos et de cours à distance soient très prometteurs, il y a très peu, s'il y en a, de recherches systématiques qui ont été menées sur les apprentissages qui en ont résulté chez des élèves en fin de primaire ou au premier cycle du secondaire. En regard de plusieurs TIC, nous avons examiné Google Scholar, ERIC, Science of Knowledge et la collection digitale de l'Université de Toronto en utilisant des mot-clés tels *ICT, technology, reviews, evaluations, simulations, knowledge representations, concept maps, technology for communication* / TIC, technologie, recension, comptes rendu, évaluations, simulations, représentations de connaissances, carte conceptuelle, technologies de la communication, pour ne nommer que ceux-ci. En général, nos recherches comprenaient les expressions suivantes : «*middle school science*», «K-8», «physique», «cinématique» et «force et mouvement». Environ 200 textes en lien avec un ou plusieurs des mots-clés ont été trouvés. Nous avons ensuite établi des critères : notre premier était que les études soient publiées dans des sources crédibles – journaux scientifiques et professionnels, livres et présentations de conférences évalués par des pairs. Nous n'avons pas inclus les études de type recherche-action ayant été réalisées dans une ou plusieurs classes, les études qui n'avaient pas suivi un design expérimental ou quasi expérimental et celles qui ne présentaient pas de preuves empiriques en matière de résultats d'apprentissage. De celles-ci, nous avons extrait quelque 50 textes, pour la plupart inclus dans ce rapport, incluant trois rapports méta-analytiques. Il en résulte que quatre types d'outils sont pris en considération : les simulations, les espaces numériques de type laboratoire (ENL), les représentations (cartes) numériques de connaissances et les technologies de collaboration et de coélaboration de connaissances.

La section suivante traite des résultats de notre recension.

Simulations

La simulation sur ordinateur est une représentation d'une situation à l'aide d'un modèle similaire mais plus simple de certains aspects de la réalité qui peuvent être manipulés pour obtenir des résultats expérimentaux. Les simulations permettent aux élèves

d'obtenir des modèles théoriques ou simplifiés d'un phénomène réel – par exemple, un univers sans friction où les lois de Newton, en physique, sont plus apparentes – et ils permettent aussi aux élèves d'en changer certaines caractéristiques afin qu'ils puissent observer les résultats de leurs manipulations (White & Frederiksen, 1998). Même si les compétences scientifiques peuvent être pratiquées et apprises dans d'autres contextes que ceux fournis par les simulations, l'utilisation de simulations permet aux élèves de mieux comprendre des phénomènes microscopiques, l'interprétation microscopique de phénomènes macroscopiques observables mais extrêmement lents (ex. géologie) ou extrêmement rapides (ex. électronique). Les simulations permettent aux élèves de comprendre plus en profondeur certains principes scientifiques et relations (Cox et al., 2003).

Il existe plusieurs simulations scientifiques disponibles sur le Web. Elles sont utiles pour démontrer des choses que l'on ne peut pas voir à l'œil nu comme les molécules ou pour simuler des situations physiques qui ne peuvent se faire dans un laboratoire (le site suivant <http://www.hal-pc.org/~clement/science.htm> est une excellente source de simulations disponibles sur le Web).

Résultats de recherche

Les enseignants de sciences peuvent utiliser les simulations de plusieurs façons. Ils peuvent s'en servir pour préparer les élèves à effectuer des apprentissages ou ils peuvent les utiliser pour compléter ou remplacer d'autres façons d'exposer un thème. Les simulations peuvent être intégrées au programme déjà existant et combinées à des expériences en laboratoire, à de l'enseignement théorique et, dans certains cas, à l'exploration de modèles physiques. Baxter et Preece (2000, cités dans Becta, 2007) ont découvert, à l'aide d'une étude menée sur 48 élèves, âgés de neuf et dix ans, que les apprentissages réalisés à l'aide d'un planétarium virtuel étaient tout aussi efficaces que ceux réalisés dans un vrai planétarium. Dans ce contexte, l'utilisation des TIC n'a pas démontré d'augmentation de résultats entre les deux groupes. Cela démontre toutefois que les élèves n'étant pas en mesure de voyager vers un lieu semblable ont, néanmoins, des possibilités similaires d'apprendre. Klahr, Triona et Williams (2007) ont étudié l'efficacité relative de la dimension physique-virtuelle. Des élèves de la septième et de la huitième année ont assemblé et testé des voitures faites à l'aide de souris, leur but étant de concevoir la voiture qui irait le plus loin. Les élèves étaient soumis à

quatre conditions différentes, tout dépendant s'ils manipulaient le matériel physiquement ou virtuellement, s'ils disposaient d'un nombre précis de voitures qu'ils pouvaient construire et/ou d'une quantité définie de temps pour construire les voitures. Les quatre conditions ont permis tout aussi efficacement de produire des gains importants chez les apprenants concernant leur compréhension des facteurs en cause, leur aptitude à concevoir des voitures optimales et leur confiance en leurs connaissances. En prenant en considération le fait que, dans le cas de plusieurs des mesures effectuées, les élèves apprenaient tout aussi bien dans un environnement virtuel qu'avec du matériel physique, les avantages pragmatiques inhérents à l'utilisation de matériel virtuel en sciences peuvent le placer comme médium d'enseignement préféré dans plusieurs contextes de manipulation.

Lorsque le design ou la sélection de logiciels se base sur les conceptions erronées (ou alternatives) des élèves, leur utilisation peut s'avérer particulièrement bénéfique. Jimoyiannis et Komis (2001) ont amélioré l'enseignement théorique grâce à l'utilisation de simulations dans l'enseignement de la physique afin d'aider les élèves à reconnaître et à corriger leurs conceptions erronées à propos du mouvement. Dans cette étude, deux groupes (expérimental et contrôle) de 90 élèves de 15 et 16 ans ont été étudiés afin de déterminer le rôle joué par la simulation par ordinateur dans le développement de leur compréhension de la vitesse et de l'accélération de projectiles en mouvement. Les deux groupes ont bénéficié d'un enseignement traditionnel, dispensé en classe, sur ces contenus; le groupe expérimental a, quant à lui, également utilisé la simulation sur ordinateur. Les résultats ont démontré que les élèves qui ont utilisé la simulation présentaient des résultats considérablement plus élevés dans les tâches réalisées qu'exigeait cette recherche.

Des études ont démontré l'importance des simulations qui permettent de visualiser, aidant ainsi les élèves à résoudre des problèmes. Monaghan et Clement (1999) ont analysé des protocoles d'entrevue de type « penser à haute voix » (*think-aloud*) réalisées par des élèves qui interagissaient avec un logiciel de simulation de mouvements relatifs. Les élèves en sont venus à reconnaître une discordance entre leurs prédictions incorrectes et les résultats obtenus grâce aux simulations, les aidant ainsi à restructurer leurs conceptions du mouvement relatif. Les résultats ont montré que l'interaction avec une simulation aide les élèves à comprendre des problèmes similaires présentés sous format papier.

de Jong et al. (1999) ont étudié la pédagogie par la découverte en physique à l'aide de la simulation sur ordinateur d'une collision. À l'aide du logiciel nommé « Collision », les élèves ont appris que deux particules qui se déplacent dans la même direction et interagissent à travers une force conservatrice permettent ainsi de conserver entièrement l'énergie mécanique. Les chercheurs ont évalué les effets que pouvaient entraîner l'ajout de deux façons différentes de guider les élèves : un modèle en progression, lequel est présenté en parties distinctes, et les travaux et petits exercices que les élèves peuvent choisir de faire ou non. L'impact de fournir des travaux ou un modèle en progression fut évalué en comparant les comportements d'apprentissage et leurs résultats selon trois conditions expérimentales qui faisaient en sorte que différentes versions de l'environnement simulé étaient présentées : simulation seule, simulation et travaux et simulation, modèle en progression et travaux. L'utilisation du logiciel par les élèves fut observée et leurs apprentissages furent appréciés à l'aide de quelques évaluations. Fournir des travaux avec une simulation améliorait les performances des élèves dans des tests sur leurs connaissances intuitives alors que fournir un modèle en progression ne provoquait aucun effet.

Weller (1995, cité par Kulik, 2003) a également constaté que la simulation à l'aide de l'ordinateur était efficace. Weller a étudié l'incompréhension, en sciences physiques, des concepts de force et de mouvement par des élèves de huitième année. L'étude a été menée sur 55 élèves aux États-Unis. Weller a séparé les élèves en deux groupes de façon aléatoire: un groupe expérimental de 27 élèves travaillant sur deux simulations de remédiation pendant 25 minutes et un groupe contrôle de 28 élèves qui n'ont pas étudié avec une telle ressource numérique. À la fin de la période consacrée à l'étude, les élèves des deux groupes ont eu à compléter un test. Les élèves ayant travaillé avec les simulations sur l'ordinateur ont démontré moins de conceptions erronées que les élèves du groupe contrôle (dimension moyenne de l'effet=0.61).

ThinkerTools est un programme de simulation qui permet aux élèves du secondaire de visualiser les concepts de vitesse et d'accélération (White & Frederiksen, 1998). Dans des études contrôlées, les chercheurs ont découvert que les élèves ayant utilisé ThinkerTools ont fourni des explications scientifiques adéquates des principes de Newton quelques années avant qu'elles leur soient habituellement enseignées. Les élèves ayant utilisé ThinkerTools ont mieux réussi que des élèves de physique du

deuxième cycle du secondaire lorsqu'est venu le temps de démontrer leurs habiletés à appliquer les principes de Newton en mécanique dans des situations réelles : la moyenne de bonnes réponses des élèves du premier cycle était de 68% dans un test à choix multiples comprenant six réponses possibles alors que la moyenne des résultats des élèves du deuxième cycle du secondaire était de 50%. Les chercheurs concluent donc que l'utilisation du programme ThinkerTools semble rendre les sciences plus intéressantes et accessibles qu'elles ne le sont avec une approche traditionnelle et ce, pour un plus grand nombre d'élèves.

Wegerif, Mercer et Dawes (1999) ont décrit comment une simulation interactive du mouvement sous la friction combinée à un enseignement structuré pouvaient être utilisés conjointement avec un entraînement (sur place) à la conversation exploratoire pour stimuler l'échange en lien avec les objectifs d'apprentissage prévus au programme.

Résultats d'apprentissage recensés par des études méta-analytiques

Plusieurs enseignants de sciences considèrent que les simulations ont une réelle avance sur les tutoriels parce qu'elles semblent favoriser l'atteinte d'objectifs d'apprentissage de plus haut niveau. Le rapport Becta (2007) conclut que les études expérimentales démontrent que l'intégration des simulations dans les programmes d'étude actuels améliore la compréhension des élèves au primaire et au secondaire, possiblement en :

- provoquant des conflits cognitifs chez les élèves;
- proposant la création de cadres de référence pour la visualisation;
- fournissant un contexte pour la discussion, la comparaison de résultats et l'échange d'idées.

Pourtant, les premières études évaluatives ne montraient guère que les simulations enrichissaient l'apprentissage (Kulik, 1994). Par exemple, une recension exhaustive d'études sur l'enseignement assisté par ordinateur a analysé les résultats de six études sur les simulations effectuées dans les années '70 et '80 et montré qu'aucune de ces études ne présentait d'effets positifs significatifs lors de l'usage de simulations. La mesure de l'effet (*effect size*) dans le cas des six études fut de -0.06 . Ainsi, les élèves qui apprenaient avec ou sans simulation obtenaient des scores pratiquement identiques lors du test consécutif à la situation d'apprentissage en sciences. Kulik (2003) a examiné

six rapports d'évaluations contrôlées publiés depuis 1990 sur les simulations par ordinateur en science. Les études s'étaient déroulées aux États-Unis et ailleurs. La plupart étaient de courtes études, présentant une seule simulation ayant eu lieu durant une seule période de classe. Les simulations se rapportaient soit à la biologie, la chimie, les sciences de la terre ou la physique. Quatre de ces études ont montré des effets positifs de l'apprentissage par simulation chez les étudiants, mais deux autres ont présenté des effets négatifs. L'effet de leur utilisation fut d'augmenter les résultats académiques des élèves de 0.32 (écart-type) ou de les faire changer de percentiles (de 50 à 63). Dans l'ensemble, les résultats de ces études suggèrent que les simulations peuvent être utilisées pour améliorer l'efficacité de l'enseignement des sciences, mais le succès de l'apprentissage n'est pas garanti. L'effet des six études fut assez large pour qu'on considère les simulations utiles au plan éducatif mais, selon les études, les effets étaient variables et quelquefois négatifs. de Jong et van Joolingen (1998) ont trouvé que les étudiants fonctionnant selon l'approche par découverte lors d'une simulation sur ordinateur s'y sont engagés d'une manière non planifiée et inefficace. Toutefois, l'expérimentation n'a pas conduit à des résultats concluants puisque des problèmes d'interprétation des données sont survenus.

Ainsi, les enseignants se doivent-ils d'être prudents dans les choix qu'ils font quant à l'usage de simulations : lesquelles utiliser et comment les utiliser. De plus, il est important de savoir quand utiliser les simulations et quand présenter des activités faisant appel à des manipulations (*hands-on activities*). Il est également important de connaître les différences individuelles chez les élèves qui apprennent à l'aide de différents supports.

Espaces numériques de type laboratoire (ENL)

Les laboratoires virtuels (*Microcomputer-based laboratories*, MBLs) utilisent les sondes électroniques pour rassembler des données sur les systèmes physiques, convertissent immédiatement ces données analogiques en données numériques et transforment concurremment les données numériques en d'autres moyens de représentation (Weller, 1996). En conséquence, les étudiants dans les ENL peuvent être témoins d'un phénomène de laboratoire alors qu'ils ne voient qu'une représentation graphique du phénomène. Un tel logiciel peut mesurer et présenter des données sur des variables

comme la température, la chaleur, la lumière, le pH, la force, la pression et le mouvement. En conséquence, les apprenants qui utilisent un ENL peuvent observer non seulement un phénomène de laboratoire mais aussi le développement d'un graphique, bilan ou modèle décrivant le phénomène ou, encore, l'affichage immédiat des résultats expérimentaux qui leur fournit un lien immédiat entre une activité et ses résultats. En outre, la nature temporaire et interactive des outils encourage la recherche sur les tendances, la révision et la génération de prévisions (Barton, 1997). Par exemple, les outils pour l'enregistrement et la représentation de données peuvent économiser du temps aux apprenants qui n'ont alors pas à monter des expériences, à prendre des mesures complexes, à tabuler des données, à tracer des graphiques à la main et à exécuter des calculs multiples ou difficiles, et le temps des professeurs qui n'ont alors pas à s'occuper des questions pratiques qui y sont reliées.

Quatre facteurs contribuent au rendement des laboratoires numériques (Kulik, 2003) :

- ils peuvent présenter des données de manières différentes. Ceci permet aux apprenants de faire alors l'expérience de ces données de façon visuelle, kinesthésique ou analytique ;
- ils présentent graphiquement des données et, en même temps, des événements physiques qui aident les apprenants à lier mentalement les deux formes de représentation ;
- ils donnent aux apprenants une expérience scientifique véritable puisqu'ils fondent la représentation graphique sur des actions concrètes posées par ces derniers ;
- ils éliminent l'obligation pour les apprenants de produire des graphiques de façon à ce qu'ils puissent se concentrer plutôt sur l'interprétation des graphiques ainsi que sur la rétroaction rapide qui leur est fournie afin de leur permettre de lier le graphique à l'événement.

De tels laboratoires ont été longtemps considérés comme étant plus prometteurs que toute autre application informatique en science et ils ont longtemps été une vitrine (*showpiece*) lors de la présentation d'applications du numérique pour l'enseignement des sciences.

Résultats de recherche

Tinker et associés, du Concord Consortium ont exploré les usages possibles des ENL au cours des 25 dernières années (<http://www.concord.org>). Le but du projet *Technology Enhanced Elementary and Middle School Science* (TEEMSS II) était de satisfaire au besoin de matériel didactique pour l'investigation en science (*inquiry-based instructional materials*) au primaire et au premier cycle du secondaire au moyen d'ordinateurs et de *probeware* (Tinker & Krajcik, 2001; Zucker, Tinker, Staudt, Mansfield, & Metcalf, 2007). Chaque unité contenait deux investigations d'une semaine, chacune présentant une question ouverte axée sur la découverte, plusieurs épreuves, analyses et futures investigations. Ont été étudiées huit unités de TEEMSS, soit celles pour lesquelles des données pré- et posttest ont été rendues disponibles concernant les classes qui avaient utilisé les matériaux de TEEMSS et les classes contrôles où les élèves avaient appris les mêmes matières mais sans employer les matériaux de TEEMSS. Les items des tests ont été principalement tirés de 12 tests standardisés existants, y compris NAEP et TIMSS ainsi que des tests de régions ou d'états (des États-Unis) dont l'élaboration d'items avait connu un processus similaire. Les apprenants TEEMSS et les apprenants non-TEEMSS ont effectué des gains statistiquement significatifs (pré/posttests) sur chacune des huit unités de contenu. C'est dire qu'indépendamment des moyens utilisés, moyens conventionnels ou moyen TEEMSS, les élèves ont appris les sciences. Pour l'unité portant sur le mouvement, par exemple, la mesure de l'effet (.49) montre que les apprenants de 7^e et 8^e années du groupe TEEMSS ont été favorisés.

Singer et ses collègues (Singer, Krajcik, & Marx, 2000) ont utilisé des ENL pour étudier les concepts de force et de mouvement dans une unité conçue pour des élèves de 8^e année. Dans cette unité, les apprenants ont exploré la question « Pourquoi dois-je porter un casque de protection lorsque j'utilise ma bicyclette? » En explorant cette question, les apprenants ont développé une compréhension intégrée des lois de Newton concernant le mouvement, la force, la vitesse et l'accélération ainsi que du rapport entre la force, la masse et l'accélération lorsqu'ils tombaient de leur vélo, subissaient des blessures et que leurs casques les protégeaient. Tant au plan du contenu que du processus, la comparaison des résultats pré- et posttests ont montré des gains significatifs au plan de la compréhension.

L'utilité de l'affichage de données numériques pour encourager l'apprentissage des élèves a été confirmée dans une étude réalisée par Russell, Lucas et McRobbie (2003). Ils ont vérifié que les « élèves avaient utilisé l'affichage, presque exclusivement, pour représenter les phénomènes expérimentaux ou les tâches-problèmes » (p.225), « la nature de l'affichage supportait une approche d'apprentissage en profondeur » (p. 229), des « apprenants ont été critiques à l'endroit du type d'affichage graphique produit » (p. 230), et « l'affichage graphique cinématique était la mémoire de travail des élèves » (p.234). Une étude auprès de 125 élèves de 7^e et 8^e années a révélé que l'utilisation du logiciel ENL a conduit à un gain de 81% de capacité chez des apprenants mis en situation d'interpréter et d'utiliser des graphiques (Mokros & Tinker, 1987). Dans une autre étude, conduite auprès de 249 élèves de 8^e année, l'expérience avec un ENL s'est avérée produire des gains significatifs sur la capacité des élèves à raisonner au sujet des causes expliquant que des graphiques pouvaient être imprécis (Nachmias et Linn, 1987).

Résultats d'apprentissage

Les chercheurs qui ont examiné la littérature portant sur les premiers résultats concernant l'efficacité des environnements numériques de type laboratoire (ENL) ont eu de la difficulté à montrer les bénéfices de l'enseignement assisté par ces environnements (Kulik, 1994). Les quelques études qui présentaient des résultats positifs ont été contrebalancées par des études dont les résultats étaient mixtes ou négatifs. La nouvelle étude de Kulik (2003) a permis de cibler huit études ayant porté sur l'efficacité des ENL et effectuées au cours des années 1990. L'une d'entre elles a repéré un effet très fort des ENL, soit une amélioration (écart type de 1.6) lors de la passation d'un test critérié. Cependant, d'importants facteurs présents sont demeurés non contrôlés. Les sept autres études ont trouvé des effets ENL se situant entre -0.14 et 0.30. La médiane des effets fut triviale (0.01). Dans une étude typique, les étudiants ont appris autant sans ENL qu'avec un ENL. Il est à noter, cependant, que lorsque des apprenants utilisent des ENL sur le terrain, alors qu'ils sont transférés sur des ordinateurs portatifs ou de poche (PDA), on obtient des résultats qui, à court-terme, montrent une augmentation de leur motivation et de leur engagement (Becta, 2007). Toutefois, les enseignants devront réfléchir aux meilleurs endroits sur le terrain où l'utilisation de ENL pourrait se produire.

C'est dire que l'utilisation d'environnements numériques de type laboratoire (ENL) n'est pas en soi « la pilule magique » pour apprendre les sciences. Des devis de collecte de données bien adaptés et une technologie de la représentation graphique sont requis pour de meilleurs résultats. Les activités de laboratoire utilisant du *probeware* ne sont pas en soi des activités d'investigation puisqu'elles peuvent être suivies à la manière de recettes de cuisine.

Représentations (cartes) numériques de connaissances

Une représentation de connaissances se substitue à la chose étudiée elle-même, c'est un raisonnement au sujet du monde plutôt qu'une action dans le monde. Une telle représentation organise l'information pour aider à faire des inférences (<http://groups.csail.mit.edu/medg/ftp/psz/k-rep.html>) et elle peut prendre la forme de cartes conceptuelles, de tableaux blancs interactifs ou d'autres logiciels interactifs.

Cartes conceptuelles

La carte conceptuelle est une façon de représenter et d'organiser le savoir dans un domaine donné. Elle est composée de nœuds et de liens, disposés de façon à refléter le domaine représenté (Novak & Gowin, 1984). Les nœuds représentent les concepts et les liens reflètent les relations entre les concepts; tant les concepts que les liens peuvent être nommés ou spécifiés selon le sens ou la direction des liens entre eux. Les chercheurs en sciences cognitives croient que la production de cartes conceptuelles aide les élèves à construire leur savoir conceptuel en extériorisant et organisant leur savoir implicite (Jonassen, 2000). Les étudiants rapportent aussi que le fait de développer des cartes conceptuelles les aide à apprendre parce que les cartes produites leur permettent de représenter graphiquement et de manière externe leurs connaissances internes (de Simone, Schmid, & McEwen, 2001). Les cartes conceptuelles peuvent être utilisées individuellement ou lors d'une activité de groupe effectuée en face à face ou à distance.

On a reconnu que la création collective de cartes conceptuelles était une stratégie efficace d'enseignement et d'apprentissage puisqu'elle exige des élèves qu'ils négocient entre eux la signification des concepts et les propositions apportées jusqu'à ce qu'ils en

arrivent à un consensus (van Boxtel, van der Linden, Roelofs, & Erkens, 2002). Dans un contexte de face à face, cela donne un espace de travail partagé par le groupe en plus d'être un moyen de communication supplémentaire qui vient s'ajouter à la communication naturelle entre les participants; il sert en outre de médium de communication structurée ayant une fonction de mémoire externe.

Nesbit et Adesope (2006) ont conduit une étude méta-analytique impliquant 5 818 participants dans 55 études s'étendant d'élèves de 4^e année à des adultes étudiant les sciences, la psychologie et les statistiques. Les mesures d'effets n'incluaient pas de mesures de type *self-reports* comme, par exemple, la diminution de l'anxiété. En calculant 96 mesures d'effets sur des posttests, il a été constaté que la mémoire et le transfert à de nouveaux problèmes avaient connu des améliorations par rapport aux groupes contrôles.

Cartes argumentatives

SenseMaker est un logiciel permettant de représenter les connaissances tout en étant une approche pédagogique favorisant l'argumentation scientifique à des fins pédagogiques (Bell, 1997). Le logiciel utilise des cartes argumentatives comme moyen de représentation afin de mettre en évidence la théorie et ses appuis dans le but de rendre visible la pensée de l'individu et du groupe. Le logiciel SenseMaker a été utilisé principalement dans le cadre de projets scientifiques réalisés en classe dans lesquels les élèves devaient étudier un sujet controversé. Comme il est important de présenter un ensemble d'éléments de preuve lors de la présentation d'un argument, les chercheurs ont découvert qu'il était utile qu'une telle présentation comprenne un corpus commun. Cela permet aux élèves d'explorer ce corpus en tant que partie intégrante du programme d'étude et aussi à l'enseignant de développer un contenu didactico-pédagogique en support aux élèves qui cherchent à comprendre les éléments de preuve et qui réfléchissent au projet.

Technologies de collaboration et de coélaboration de connaissances

Il existe plusieurs systèmes de gestion des apprentissages dont quelques-uns sont utilisés par les élèves du primaire en sciences. Dans la mesure de nos connaissances, il

n'y a eu aucune étude méta-analytique effectuée. Ici, nous discutons de deux environnements prometteurs.

Le *Web-based Inquiry Science Environment* (WISE), développé au cours des 15 dernières années par Linn (2004) et ses collègues en Californie, est utilisé par des dizaines de milliers d'élèves d'écoles secondaires aux États-Unis, en Angleterre, en Allemagne, aux Pays-Bas, en Norvège et ailleurs. Il supporte le développement d'habiletés transférables en matière d'investigation en combinant des outils pour soutenir l'argumentation, la prise de notes réfléchie, la modélisation causale et la représentation de données. Sa conception est soutenue par le cadre d'intégration de connaissances échafaudées (*scaffolded knowledge integration framework*) qui rend la science accessible et personnellement authentique, qui rend la pensée visible, qui aide les élèves à apprendre l'un de l'autre et qui favorise, par la critique, l'apprentissage autonome. Le programme de recherche WISE met de l'avant des partenariats d'enseignants, de scientifiques, d'experts en matière de pédagogie et de technologues pour créer un répertoire de projets qui peuvent s'adapter à de nouveaux enseignants et écoles qui souhaitent ajouter, modifier ou supprimer certaines ressources, par exemple, des pages Web (Linn, 2004).

Le *Knowledge Forum*® permet l'élaboration d'une base de connaissances coconstruites par les participants selon une démarche qui s'appuie sur douze principes de coélaboration de connaissances; il fonctionne en mode local ou sur l'Internet. Dans la base de connaissances, élèves et enseignants contribuent au discours progressif et collectif par des notes textuelles et graphiques. Pour ce faire, ils lisent et élaborent des notes et créent différentes perspectives par rapport à un problème investigué en collaboration. Le logiciel fournit l'organisation nécessaire pour tout nombre de participants qui veulent discuter et débattre entre eux, pour des étudiants qui veulent s'associer aux discussions de tout autre groupe qui les intéressent ou se joindre à d'autres groupes. Le *Knowledge Forum* permet à l'enseignant aussi bien qu'à des étudiants de surveiller et de contribuer aux enfilades de notes qui font état de l'investigation que poursuit chacun des groupes. Le système fournit ainsi l'organisation et le support à l'ensemble complexe des éléments de discours des individus et des groupes qui développent des idées et constituent ainsi une communauté de coélaboration de connaissances (*knowledge building community*)

(<http://www.KnowledgeForum.com>). De plus, des outils d'évaluation sont disponibles à même l'interface afin de suivre la progression tant individuelle que collective. Lamon, Reeve et Scardamalia (2001), dans une étude quasi-expérimentale, ont constaté que les élèves utilisant le *Knowledge Forum* obtenaient des résultats qui excédaient ceux des élèves du groupe contrôle à un posttest portant sur la compréhension de concepts newtoniens.

Vue d'ensemble des résultats d'apprentissage obtenus en sciences au premier cycle du secondaire au moyen de TIC

Les résultats d'apprentissage présentés dans ce chapitre sont basés sur des études expérimentales et quasi-expérimentales. En raison de la spécificité des technologies utilisées en science, il semblerait relativement clair de concevoir des instruments de mesure de la réussite. Toutefois, comme Kulik (2003) le mentionne,

- même si plusieurs chercheurs ont effectué des évaluations contrôlées des effets de la technologie au cours des trois dernières décennies, la littérature qui porte sur l'évaluation demeure très inégale. Pour la plupart des technologies, les résultats ne sont disponibles que pour certains niveaux scolaires, matières ou méthodes d'enseignement sélectionnés. La littérature est trop inégale pour tirer des conclusions claires au sujet de l'efficacité de la technologie (entendre les TIC) en enseignement.
- De plus, toujours selon Kulik (2003), Cox et collègues (2003) ont échoué dans leur tentative d'identifier la technologie en tant que facteur clairement déterminant dans l'amélioration des résultats d'apprentissage (ou réussite scolaire). Les effets qui ont été trouvés sont plutôt instables et inconstants et ils varient selon l'âge des élèves et les matières scolaires. De plus, les processus d'apprentissage impliqués ne sont souvent pas clairement nommés. Boyd (2002), qui a étudié l'utilisation d'ordinateurs portables en Nouvelle-Zélande, a constaté que les changements en matière de réussite des élèves dépendent du contexte – des facteurs tels que le passage à un environnement d'apprentissage davantage centré sur l'élève sont importants lorsqu'on intègre les TIC. C'est dire que lorsque les portables sont utilisés dans des classes traditionnelles, uniquement à des fins de traitement de texte ou de présentations audiovisuelles, il est peu probable que les chercheurs puissent observer des améliorations dans les résultats des élèves ou des changements dans l'environnement de la classe.

Les études comparatives entre un groupe contrôle et un groupe expérimental qui utilisent la technologie sont truffées d'obstacles méthodologiques : un ensemble complexe de variables externes (particulièrement l'expertise de l'enseignant et son

approche pédagogique) sont rarement prises en compte ou le sont de façon inadéquate. Même les études quasi-expérimentales qui tentent systématiquement de faire varier les utilisations de la technologie et l'approche pédagogique tout en contrôlant les autres facteurs peuvent être entravées par l'incapacité de contrôler l'effet enseignant. Les facteurs qui influencent la réussite des élèves (ou le manque d'observation de résultats) incluent : la qualité et la profondeur de l'utilisation des TIC, les tests pour mesurer la réussite, l'envergure et la nature des observations des élèves utilisant les TIC, la manière dont les productions des élèves sont analysées, l'élaboration et l'interprétation des questionnaires administrés aux élèves et aux enseignants et les façons de les rapporter. C'est dire que des devis expérimentaux très rigoureux ne sont pas nécessairement pratiques. La classe est un lieu où nombre de variables sur lesquelles on a peu de contrôle existent. Ceci rend la recherche expérimentale traditionnelle ou même l'application de méthodes quasi expérimentales fort difficiles, lorsque possibles. En effet, il est très ardu de former des groupes contrôles et expérimentaux de manière aléatoire et d'assurer l'équivalence de ces groupes en raison de la diversité et de la nature souvent inconnue des caractéristiques des élèves.

En outre, dans certaines études, il y a disparité entre les méthodes utilisées pour mesurer des effets et la nature de l'apprentissage favorisé par l'utilisation spécifique de TIC. Jusqu'à maintenant, les chercheurs ont tenté d'observer des améliorations dans les processus traditionnels d'enseignement et d'apprentissage plutôt que dans de nouvelles façons de raisonner ou des nouvelles connaissances susceptibles de découler de l'utilisation des TIC. Il est possible qu'un portrait plus clair de l'influence des TIC puisse être tiré si les méthodes utilisées pour évaluer la réussite des élèves sont davantage reliées à l'expérience d'apprentissage favorisée par un type d'utilisation spécifique des TIC. Par exemple, lorsque la technologie en appelle aux habiletés mentales de haut niveau et que l'évaluation ne porte que sur les habiletés de base, les bénéfices de la technologie peuvent ne pas être apparents.

Le *National Research Council's Committee on the Foundations of Assessment* des États-Unis (Pellegrino, Chudowski, & Glaser, 2001) argumente que l'évaluation n'est pas une activité isolée mais bien que « l'efficacité d'une mesure en ce qui concerne l'amélioration de l'apprentissage dépend de sa relation avec le programme d'étude et l'enseignement. Idéalement, il faut que l'enseignement soit fidèle et directement lié au programme d'étude et que l'évaluation reflète le programme d'étude de sorte que cela

renforce les meilleures pratiques en enseignement » (p.221). Ils précisent les limites fréquentes des méthodes d'évaluation courantes : souvent, elles ne s'attardent qu'à un sous-ensemble du programme d'étude, cela sans égard à ce qui est réellement enseigné dans la classe (Linn, 2000) et cette évaluation ne prend pas en considération l'ensemble complexe des connaissances et habiletés reconnues essentielles par les standards contemporains axés sur la réussite dans l'économie du savoir.

La recherche en science cognitive indique que l'évaluation formative en cours d'enseignement peut accroître substantiellement la réussite des élèves. De telles évaluations, supportées par les développements technologiques, permettent de recueillir des données riches. Par exemple, elles peuvent refléter le processus par lequel un élève arrive à une réponse plutôt que la réponse uniquement. C'est dire que ces nouvelles formes d'évaluation peuvent nous informer non seulement sur *ce que* les élèves savent mais également sur *comment* ils arrivent (ou pas) à le savoir.

Chapitre 3 : Méthodologie

Dans la foulée des observations faites au chapitre précédent quant aux résultats obtenus lors de l'utilisation des TIC pour l'apprentissage des sciences et des limites méthodologiques rencontrées lorsqu'il s'agit d'apprécier leur utilisation, le design de recherche adopté est à la fois spécifique quant à son objet – l'apprentissage du concept de force – et systémique de par son attention aux contextes au sein desquels cet apprentissage se produit. L'étude se voulait exploratoire, sise en milieu naturel de classe. Il s'agissait de recueillir des données riches afin 1) de documenter de manière valide l'utilisation de deux TIC en particulier et 2) de repérer des pistes d'investigation susceptibles de justifier une démarche de recherche plus substantielle par rapport à des préoccupations partagées par les partenaires. Toute collaboration nécessitant un certain temps pour s'établir et donner les fruits attendus, le Comité responsable s'était donc engagé dans une démarche progressive en voulant réaliser une étude en collaboration, qui s'est déroulée de mai 2007 à mai 2008, et qui est de nature comparative.

La compréhension d'un concept complexe appris à l'aide de nouvelles technologies – le concept de force – ainsi que des notions qui lui sont associées était à l'étude. Pour y arriver, nous avons fait varier la situation éducative (principe de variation). Telle que définis par Schwab (1973), référence-clé en matière de programme d'étude, les quatre éléments de base de la situation éducative sont les suivants : *qui* enseigne *quoi*, à *qui* et dans quel *contexte*? Des cas contrastés ont été étudiés : à cette fin, le choix des deux situations éducatives étaient identiques quant au *quoi* (le concept de force) mais différentes quant au *qui* (sexe de l'enseignant, formation antérieure, compétence avec les TIC, approches pédagogiques, technologies utilisées, culture de réseau ou non), et quant au *qui* (niveau d'accès des élèves à des ordinateurs, leur familiarisation avec le logiciel utilisé ainsi que leur cycle de formation). De manière plus spécifique, les TIC utilisées étaient distinctes du fait que l'une était axée sur l'apprentissage individuel, présentait un contenu organisé et pouvait être indépendante du réseau Internet alors que l'autre était axée sur l'apprentissage en collaboration, supportait les élèves qui eux avaient à organiser le contenu et nécessitait un réseau (intranet ou Internet). Dans le premier cas, il s'agissait d'un module de formation sur cédérom et aussi accessible en

ligne (simulations audiovisuelles numériques développées par le SAMFO) et, dans le second cas, d'une investigation à réaliser en collaboration partant d'un problème réel et au moyen d'un outil conservant trace des échanges entre pairs et avec l'enseignant (*Knowledge Forum*).

Ces deux voies furent explorées et comparées en égard aux trois questions suivantes :

- La question de l'engagement de l'élève dans la situation d'apprentissage présentée
- La question de la compréhension du concept présenté comme objet d'apprentissage
- La question du transfert des connaissances acquises à une nouvelle situation présentée

Situation éducative étudiée en Ontario

L'expérience ontarienne en matière de contenus organisés, appris à l'aide de l'ordinateur, et le savoir en découlant, sont distinctifs. Le ministère de l'Éducation finance la production de cours et de ressources en ligne, dont le service est assuré par le Service d'apprentissage médiatisé franco-ontarien (SAMFO – voir www.cforp.on.ca/samfo/) sous la gestion du Centre franco-ontarien de ressources pédagogiques (CFORP). Une dizaine de modules médiatisés en sciences, en lien avec les programmes cadres de 7^e et de 8^e années ont été produites suite à une mise à l'essai rigoureuse qui s'est déroulée dans une vingtaine d'écoles élémentaires de l'Ontario.

Après une vérification de la compréhension des concepts préalables à l'aide d'un questionnaire informatisé, l'élève débutait les exercices interactifs qui portaient sur les forces. Le tout se terminait par un exercice de synthèse. À tout point dans le module, l'élève pouvait naviguer à sa guise, selon ses besoins.

Les modules ont donc été conçus pour une utilisation autonome par l'élève (élève-machine) ou par l'enseignant en salle classe (projection sur grand écran) comme stratégie d'enseignement.

Situation éducative étudiée au Québec

L'expérience québécoise en matière de contenus non-organisés, appris à l'aide de l'ordinateur en réseau, et le savoir en découlant sont eux aussi distinctifs. Notamment, le programme PROTIC est en opération (www.protic.net) à l'école secondaire les Compagnons-de-Cartier de la Commission scolaire Des Découvreurs à Québec depuis plus de dix ans et a fait l'objet de recherches financées par le Fonds FCAR dans le cadre d'un programme d'Action concertée sur l'intégration des NTIC. De plus, le ministère de l'Éducation a initié et subventionne l'initiative École éloignée en réseau (ÉÉR). Le développement de connaissances généré par le programme PROTIC a été réinvesti dans l'initiative ÉÉR.

La situation éducative observée au Québec était triple : 1) deux enseignants qui travaillaient dans deux écoles rurales (initiative ÉÉR) et dont les élèves apprenaient le concept de force en utilisant le *Knowledge Forum* et un système de vidéoconférence qui les reliaient en réseau avec d'autres enseignants et l'équipe de recherche-intervention de l'ÉÉR; 2) une enseignante du programme PROTIC qui travaillait dans une école urbaine et complétait des études doctorales; 3) l'équipe de recherche-intervention de l'ÉÉR dont plusieurs de ses membres travaillaient en réseau avec les enseignants ÉÉR qui faisaient apprendre le concept de force à leurs élèves et qui travaillaient aussi avec l'enseignante PROTIC. Le programme PROTIC est situé dans une école urbaine, mandaté par sa commission scolaire pour explorer l'utilisation des TIC. Chaque élève (23 au total) disposait d'un ordinateur portable personnel.

Cueillette des données

Des données de recherche ont été recueillies et analysées de manière à faire ressortir les éléments saillants, ainsi que les relations entre ces éléments, qui distinguent chacune des situations éducatives, en identifiant les forces et les limites quant à la pertinence de chacune des voies lorsqu'il s'agit d'augmenter l'engagement de l'élève, sa compréhension de concepts abstraits (concept de base et concepts dérivés) ainsi que les possibilités de transfert de connaissances dans une nouvelle situation.

Déroulement de la recherche en Ontario

- Un enseignant ayant accepté d'utiliser l'outil en l'intégrant à son enseignement régulier en 7^e année a été identifié.
- Un module en ligne, développé par le Ministère de l'Éducation de l'Ontario (SAMFO) dans le but d'enseigner le concept de force ainsi que les notions reliées, a été utilisé dans une classe de 7^e année.
- La démarche de recherche a été élaborée pour s'intéresser à la fois à la manière dont l'enseignant était pour intégrer l'outil et à ce que les élèves étaient pour apprendre ainsi qu'à la formulation d'une rétroaction sur l'outil lui-même.
- Le concept de force a été choisi en raison de sa complexité. Typiquement, il s'agit d'un concept difficile à enseigner et complexe à apprendre. Ce contexte riche dans lequel l'exploration a été effectuée permettait une étude plus en profondeur de l'intégration d'un outil en ligne dans la classe ainsi que de l'enseignement et l'apprentissage qui en avaient découlé.
- L'étude a emprunté quatre perspectives distinctes : l'enseignement, l'apprentissage, la relation entre l'enseignement et l'apprentissage à travers le temps et l'évaluation de l'outil en ligne.

L'enseignement

S'intéresser à la méthode d'enseignement utilisée par l'enseignant pour aborder le concept de force, à sa façon d'intégrer la technologie à sa classe et à son ajustement tout au long du projet voulait permettre de saisir cet élément important dans l'intégration globale du processus. Cela devait nous fournir un portrait clair du contexte dans lequel l'apprentissage était pour avoir lieu.

À partir de la perspective de l'enseignement, nous nous sommes penchés sur la question « comment un enseignant d'expérience intègre-t-il un module médiatisé à ses pratiques enseignantes préexistantes? ». À cette fin, le plan d'enseignement et les actions entreprises étaient les éléments qui devaient fournir de l'information importante au sujet du processus d'intégration et des défis potentiels. De plus, le processus de

décision entrepris lors de l'intégration devait aussi nous informer quant aux enjeux liés à l'enseignement.

L'apprentissage

Saisir l'apprentissage à la fois dans une perspective de contenu et de processus devait nous fournir de l'information importante sur la manière dont l'outil en ligne avait contribué à l'apprentissage, ce qui était pour être appris et le moment où cet apprentissage s'était produit dans l'ensemble du processus. Examiner l'apprentissage selon une telle perspective à multiples niveaux pouvait apporter un éclairage pertinent au sujet de l'outil en ligne aussi bien qu'en regard de son processus d'intégration.

La relation entre l'enseignement et l'apprentissage tout au long de l'étude

Plus le concept à enseigner est complexe, plus la relation entre l'enseignement et le processus d'apprentissage doit être serrée. Cela est d'autant plus vrai lorsque le concept est enseigné sur une période de temps non continue. Dans le cas de ce projet, le concept de force s'est étalé sur plusieurs semaines. Par conséquent, il importait, afin de bien documenter la situation éducative, de comprendre le plan d'enseignement ainsi que les ajustements qui devaient y être apportés tout au long du projet.

L'évaluation de l'outil en ligne

L'évaluation du module en ligne par l'enseignant et les élèves était également à l'étude.

Déroulement de la recherche au Québec

Le déroulement de la recherche s'est inscrit dans les activités régulières des classes rurales et de la classe urbaine lesquelles intègrent les nouvelles technologies sur une base régulière.

Les enseignantes ÉÉR (classes rurales en réseau) n'avaient pas l'habitude d'aborder spécifiquement le concept de force pour se concentrer sur le concept de machine simple dans l'étude des « forces et mouvements » puisque le concept de force est couvert au premier cycle du secondaire. Toutefois, elles avaient l'habitude d'utiliser avec leurs élèves le *Knowledge Forum*.

L'enseignante PROTIC (classe urbaine) avait déjà utilisé le *Knowledge Forum* mais ses élèves ne l'avaient pas utilisé. Elle nous a précisé approcher comme suit l'apprentissage du concept de force :

La compréhension du concept de force est loin d'être simple pour l'élève. Dans la mesure où l'on souhaite favoriser l'expression des conceptions des élèves et éviter la mémorisation d'une définition qui n'aura guère de sens pour l'élève, la technologie peut devenir, d'une part, le lieu où les élèves confronteront leur point de vue et coconstruiront ensemble une compréhension partagée du concept de force. L'interaction personne-personne rendue possible grâce à la technologie permet de conserver les traces d'un processus de compréhension d'un concept pourtant abstrait et modifie l'activité d'enseignement-apprentissage. Cette dernière prend alors les traits d'une démarche heuristique où les élèves prennent le rôle de chercheurs en herbe.

De plus, la technologie permet d'apporter « dans » la classe, l'étude d'objets techniques dont le fonctionnement est expliqué à l'aide de forces. Le choix de ces objets n'est alors pas sous la responsabilité de l'enseignant, mais s'appuie plutôt sur la curiosité d'élèves qui souhaitent analyser un objet en particulier sous l'angle des forces et mouvements en présence.

Toujours selon l'enseignante, le concept de force est relié à deux compétences spécifiques du programme scolaire québécois :

CD3 : Communiquer : Apprentissage des conventions de rédaction d'un schéma, d'un principe (symboles de forces et de mouvements)

CD2 : Mettre à profit ses connaissances technologiques : Étude d'objets techniques en vue d'y dégager les principes. Construction d'un prototype de l'objet.

Instruments

Les instruments d'observation et de mesure étaient les suivants :

- Engagement : Un rapport d'activité de l'élève (ou l'équivalent) permettait d'observer si l'apprenant restait centré sur le problème ou sur la tâche, s'il allait au-delà des attentes énoncées en regard de l'activité d'apprentissage dans laquelle il était engagé. Un questionnaire d'évaluation de l'activité (mobilisation de l'élève à réaliser la tâche) a également été administré.
- Compréhension du concept : Un prétest et un posttest ont été administrés. Les résultats scolaires des élèves ont aussi été pris en compte dans les questions posées aux enseignants suite à l'expérimentation. Dans le cas du Québec, où

les classes utilisaient le *Knowledge Forum*, un repérage des notes écrites par les élèves était possible.

- Transfert de connaissances : Une situation authentique a été présentée à l'apprenant et il a eu à utiliser sa compréhension du concept de force afin de résoudre le problème qui lui était présenté.
- Retour sur la situation éducative : Un questionnaire ou une entrevue avec les enseignants portant sur la compréhension de la notion, la compréhension de la démarche de l'élève, la compréhension des acquis des élèves et la compréhension des affordances et des limites de la situation d'apprentissage créée (aspects pédagogique et technologique) a été utilisé.

Précisons que du côté franco-ontarien, la chercheure a cueilli l'ensemble des données et fut présente en classe tout au long de la démarche d'expérimentation alors que du côté québécois, et pour des raisons inhérentes à l'initiative ÉÉR, trois chercheures ont été impliquées : une était assignée aux classes ÉÉR – elle a utilisé les deux outils de télécollaboration afin de cueillir toutes les données – deux à la classe PROTIC. Dans ce dernier cas, le chapitre 5 présente surtout des données générées de manière très détaillée par l'enseignante-chercheure sous la forme « self-report ».

Analyse des données

L'analyse des données a été effectuée par la principale chercheure désignée en Ontario et par la principale chercheure désignée au Québec. L'analyse est essentiellement qualitative vu les nombres restreints d'enseignants et d'élèves qui ont participé à l'étude. Toutefois des données quantitatives ont été extraites et analysées selon des procédés de base qui seront précisées au chapitre suivant.

Chapitre 4 : Présentation des données recueillies en Ontario

Introduction

L'intégration et l'évaluation d'un outil pédagogique intitulé « les Forces en action!" » offert en ligne par le *service d'apprentissage médiatisé franco-Ontarien* a fait l'objet de cette étude qui visait à explorer et éventuellement comparer deux approches à l'enseignement de concepts complexes grâce aux outils technologiques. M. Vaillancourt (nom fictif), détenteur de plusieurs années d'expérience dans l'enseignement du concept de force, et un de ses groupes de 7^e année du primaire ont été retenus pour y participer.

L'enseignant

M. Vaillancourt travaille dans une école secondaire publique à l'est de la ville d'Ottawa en Ontario. Il comptait huit années d'expérience dans l'enseignement dont 4 ans au niveau de 7^e année et 4 ans au niveau de 8^e année. Sa pédagogie ainsi qu'une série d'activités d'enseignement sur le sujet des forces étaient déjà en place. Il a travaillé en combinant principalement des exposés magistraux utilisant des acétates, des discussions, des activités de construction, d'évaluation ainsi que des rapports d'activités rédigés par les élèves. Il n'avait, par contre, jamais intégré l'outil de SAMFO.

Dès la première rencontre téléphonique entre M. Vaillancourt et la chercheure, une relation de collaboration s'est établie. En fait, tout au long du projet, M. Vaillancourt accueillait la chercheure chaleureusement dans sa classe. Il discutait alors ouvertement des activités prévues pour le cours, partageait ses réflexions spontanées pendant et après le cours, tout en formulant ses intentions pédagogiques pour le cours suivant.

À travers ces échanges, le souci de M. Vaillancourt de bien satisfaire aux besoins de l'étude et de mettre en place les meilleures conditions de succès possibles pour ses élèves était nettement évident. En fait, cette combinaison d'objectifs a fourni un terrain fort riche pour l'expérimentation pédagogique ici rapportée. Les différentes données recueillies témoignent de la riche complexité de l'expérience conduite.

Les élèves

Les élèves étaient des élèves de 7^e année et âgés de 12-13 ans. La langue d'enseignement était le français. Le groupe d'élèves était multiethnique et le français était la langue seconde de plusieurs d'entre eux.

Partant du groupe initial formé de 29 élèves, 22 parents ont répondu positivement à la demande de participation de leur enfant au projet de recherche selon les formulaires de consentement remis à l'enseignant avant le début de l'étude. À la fin du projet, 19 élèves donc 10 garçons et 9 filles ont complété toutes les étapes de l'étude.

Structure de l'étude

Durée de l'étude

L'étude s'est étendue du 10 janvier au 24 janvier 2008. Le temps de classe consacré a été le suivant : sept cours de 75 minutes, soit huit heures et 45 minutes. Quant au temps consacré à l'utilisation du logiciel, il a été le suivant : 2 cours de 75 minutes et au sein desquels, quelque deux heures ont été consacrées à interagir avec le module SAMFO, intitulé « Les forces en action ».

Au total 3 heures et 45 minutes pour les activités de construction : la première construction individuelle s'est étendue sur deux cours alors que l'activité de construction en petit groupe a été réalisée à l'intérieur du même cours.

Au total 2 heures et 30 minutes pour le testing/démolition des constructions incluant du temps pour les élèves afin de rédiger leurs rapports sur les résultats des constructions.

Les activités d'apprentissages réalisées

Une série d'activités d'apprentissage a été conçue, ajustée et réalisée. Ceci reflète le souci de l'enseignant d'atteindre les objectifs de l'étude, d'ajuster son enseignement en conséquence et de s'assurer que ses élèves allaient se retrouver dans les meilleures conditions possibles pour développer leurs connaissances. À noter que le processus de développement ainsi que le déroulement des activités d'apprentissage étaient en

évolution constante puisqu'un processus d'évaluation continue était intégré à la série d'activités.

Un module sur « Les forces en action » a été intégré par l'enseignant avec beaucoup d'attention et avec le plus grand souci. Au tout début, M. Vaillancourt s'est référé au *Guide d'accompagnement* disponible en ligne. Il ne s'y est pas attardé très longtemps car il s'est plutôt immergé dans le module afin d'en suivre lui-même le déroulement et ainsi de réaliser le même trajet que ses propres élèves auraient à faire éventuellement. Il est à noter que lors de nos discussions entourant ce module, M. Vaillancourt a exprimé que les représentations des forces étaient différentes de celles qu'il avait utilisées jusqu'à présent. Il semblait ouvert et intéressé à faire faire à ses élèves l'expérience de celles-ci.

Initialement, il avait été prévu d'administrer un prétest, suivi de l'activité des élèves avec le module « Les forces en action », d'un posttest, d'une activité de construction et d'un rapport d'activités fait par les élèves afin d'étudier le transfert des connaissances. Ce plan initial a été suivi, mais certains ajustements ont été nécessaires et ont conduit à l'ajout d'étapes. (Voir la liste à l'Annexe C)

Liste des activités

- Prétest
- Activité avec le module de SAMFO « Les forces en action » (1)
- Posttest et questionnaire « évaluation du module »
- Activité de construction 1 (activité individuelle)
- Activité de démolition et rapport 1
- Activité avec le module de SAMFO « Les forces en action » (2)
- Activité de construction 2 (activité par groupe de trois)
- Activité de démolition et rapport 2

Les données

Les données utilisées à des fins d'analyse reflètent la série d'activités effectuée. C'est dire que la nature exploratoire de l'étude a fourni assez de flexibilité afin de pouvoir réellement suivre l'évolution de la situation et s'ajuster aux besoins et opportunités qui se présentaient.

À des fins d'analyse trois sous-ensembles de données ont été recueillies. Ce sont les suivants:

- Le prétest et le posttest
- La première et la seconde constructions
- Le rapport 1 de l'élève et le rapport 2 de l'élève sur les constructions

Une occasion pour un deuxième posttest a malheureusement été manquée. Lors de la deuxième utilisation du module de SAMFO, il y aurait eu une belle occasion d'administrer un autre posttest (le même que le premier) pour aller chercher de l'information immédiate sur les apprentissages retenus suite à une deuxième session avec l'outil. Il serait pertinent d'intégrer ce deuxième posttest à la méthodologie de l'étude qui suivra.

Mais malgré cette absence, les deux activités qui suivaient (activité de construction et rapport écrit) nous ont fourni davantage d'information du point de vue du transfert des connaissances acquises.

Ont aussi fait partie de l'analyse le questionnaire « Évaluation du module » rempli par les élèves. Un autre questionnaire sur l'expérience, administré à l'enseignant à la toute fin du projet, fait aussi partie des données recueillies.

Les résultats

Une étude de ce type ouvre les possibilités d'investigation en profondeur des relations complexes et subtiles observées entre les différents éléments que sont l'enseignement et l'apprentissage d'une part, et les activités et outils d'apprentissage d'autre part.

Tout au long de la durée de cette étude, un effort a été fait afin de capter les processus de la manière la plus complète qui soit dans le but d'en arriver à la meilleure compréhension possible du rôle et des moyens d'intégration d'un module multimédia aux activités d'une classe de 7^e année. Nous répondons aux questions de départ sous les angles suivants: 1) l'enseignement et les stratégies d'intégration, 2) l'engagement des élèves, 3) la compréhension du concept, 4) le transfert de connaissances et 5) l'évaluation du module.

Présentation et analyse des données

Afin d'assurer l'uniformité des données pour fins d'analyse, la première chose qui a été faite fut d'évaluer les productions de chaque élève. Pour cela, en plus du chercheur désigné pour le projet en Ontario, une experte (ingénieur mécanique) a aussi évalué chaque production. Ceci permettait de dresser une meilleure représentation des apprentissages des concepts compte tenu du nombre restreint de sujets.

Chacun des trois sous-ensembles de données a été évalué sur un total de 4 points pour déterminer différentes connaissances (soit théorique, transfert appliqué) pour chacun des quatre concepts de force étudiés (compression, tension, cisaillement et torsion). Un point était attribué. Ceci a permis de comparer les résultats des différentes sources de données plus facilement soit sous forme de graphique ou de tableau.

L'enseignement et les stratégies d'intégration

Pour bien mettre en contexte les résultats obtenus lors de cette étude, il est important de souligner le souci de l'enseignant de bien planifier ses activités d'apprentissage et le processus d'intégration du module en ligne. M. Vaillancourt était ouvert à expérimenter avec l'outil de SAMFO et il soutenait que son groupe d'élèves participant à l'étude devait avoir les meilleures conditions d'apprentissage possible comparativement à celles de ses autres groupes à qui il enseignait en même temps. Alors, il suivait et comparait ses différents groupes avec beaucoup de soin et d'analyse.

Le processus d'intégration poursuivi par M. Vaillancourt avait pour effet de promouvoir beaucoup d'observations, de réflexions, et de discussions qui ont été partagées d'une façon spontanée avec la chercheuse tout au long de la période de collecte des données. Dans cette étude, l'intégration du module en question allait au-delà d'un simple ajout d'une période ou deux à l'ordinateur. En fait, la série d'activités conçue durant la période d'expérimentation reflétait un processus d'évaluation formative continu et entretenu pendant les activités ainsi qu'après chaque activité.

Au tout début de l'étude, M. Vaillancourt prévoyait une activité à l'ordinateur qui serait suivie d'une activité de construction et de testing. Mais suite à ses observations et comparaisons avec ses autres groupes suite à la réalisation de la première construction, il a décidé de retourner au module de SAMFO pour une deuxième visite et d'ajouter une

deuxième activité de construction qui, cette fois-ci, serait effectuée en petits groupes, notamment pour minimiser le temps de testing. En conséquence, deux activités de construction et de testing ont ainsi été réalisées.

La question de l'engagement de l'élève dans la situation d'apprentissage présentée

Une des choses que nous voulions suivre durant cette étude était l'engagement des élèves tout au long du processus. Encore ici, le contexte dans lequel le projet s'est déroulé doit être pris en considération. Dans le cas du groupe d'élèves franco-ontarien, l'utilisation des ordinateurs s'est effectuée dans une salle qui y était dédiée, située à quelques portes de la classe et qui était peu fréquentée (Figure 1). Ainsi, l'effet de nouveauté teintait l'enthousiasme démontré par les élèves. Pour plusieurs d'entre eux, aller à la salle d'ordinateurs était un privilège plutôt qu'une routine courante.

Une autre influence possible par rapport à l'engagement des élèves est l'effet causé par la présence de la chercheuse dans la classe durant toutes les activités. Ceci a certainement influencé, à court terme, leurs niveaux d'engagement. Encore une fois, en présence de la chercheuse, l'engagement des élèves était très élevé durant des activités en sciences qui posaient des défis importants face à leur compréhension et leur apprentissage. Comme nous pouvons voir à travers les constructions réalisées et les rapports de recherche bien remplis, les élèves travaillaient fort et se sont engagés malgré la complexité des concepts travaillés dans les activités.

Ceci étant dit, l'engagement des élèves tout au long de cette étude était remarquable. Dans la salle d'ordinateurs, chaque élève avait son propre poste et travaillait sur le module avec un engagement soutenu, non seulement durant les activités à l'ordinateur mais aussi durant les autres activités de construction et de testing. Les élèves relevaient les défis et participaient d'une façon continue.



FIGURE 1. Les élèves interagissant avec le module SAMFO

En général, pour la durée de cette recherche, le niveau d'engagement des élèves était élevé et il n'a pas été jugé nécessaire d'investiguer plus loin.

La question de la compréhension du concept présenté comme objet d'apprentissage

La compréhension des concepts présentés comme objet d'apprentissage a été mesurée au moyen d'un prétest et d'un posttest. La première chose à noter est que l'instrument utilisé pour évaluer les connaissances des élèves était une mise en situation avec une question précise dans laquelle les quatre forces étaient nommées (Annexe D). Une question à développement exigeant des schémas pour renforcer les idées présentées était également posée.

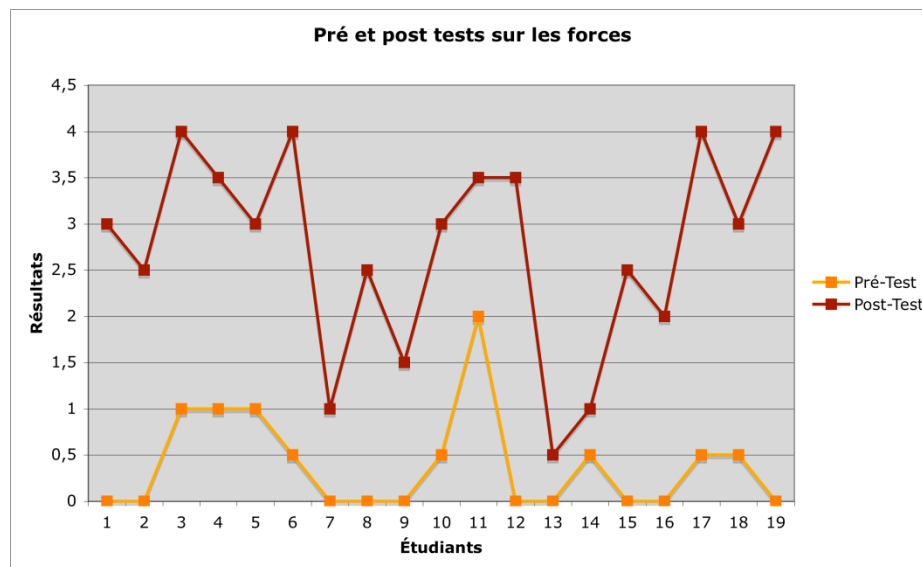


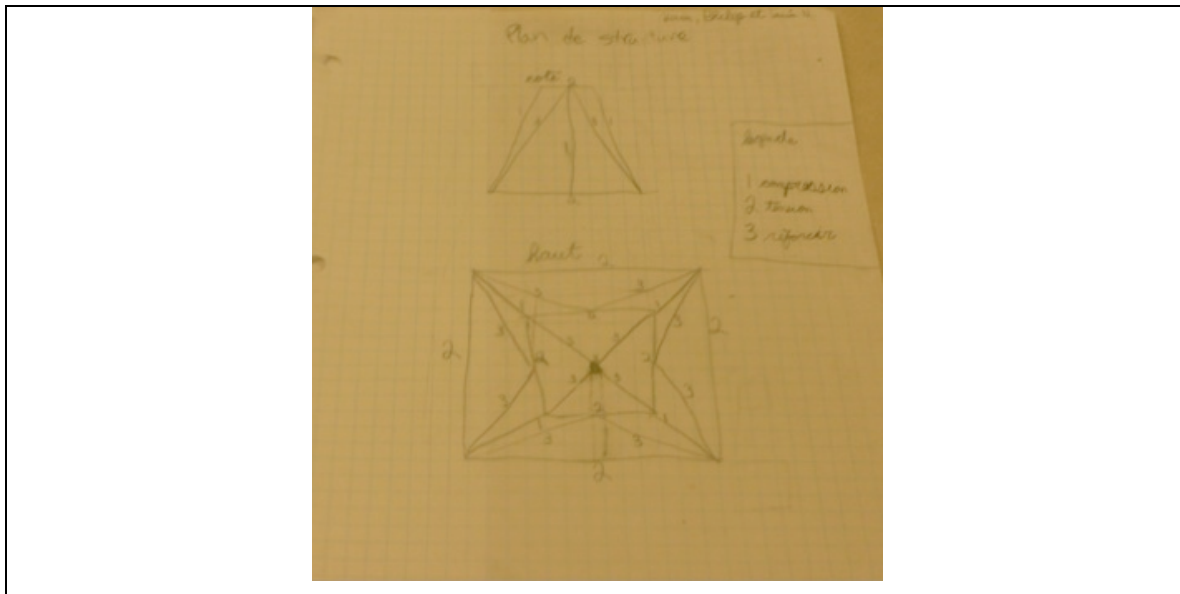
FIGURE 2. Résultats des élèves aux pré et posttests

Les réponses données par chaque élève étaient évaluées par la chercheuse et l'expert en regard des explications et schémas fournis. La figure 2 donne une vue d'ensemble des changements dans les résultats de chacun des dix-neuf élèves. Chaque élève manifeste un progrès : la moyenne au prétest était d'environ 0,5 avec un écart type d'approximativement la même valeur. Au posttest la moyenne est montée à 2,75 avec un écart type de 1,0. Ces résultats démontrent une amélioration entre les deux tests alors que le module SAMFO a été utilisé. À noter qu'il y a eu un laps de temps de quatre jours entre le pré et le posttest et incluant une fin de semaine. Ce sont des résultats intéressants et à suivre. Dans une future étude, il y

aurait aussi intérêt à inclure des entrevues individuelles d'élèves afin de repérer leurs schémas de compréhension.

La question du transfert des connaissances acquises à une nouvelle situation présentée

Rappelons que, suite à l'activité avec le module sur les forces, les élèves ont participé à une activité de construction à l'aide de papier journal et de ruban gommé (Figure 3). En tout, il y a eu deux activités de construction dont l'une fut réalisée de manière individuelle et l'autre en petite équipe. Deux activités de rédaction de rapport par les élèves suivaient la phase d'évaluation et cette rédaction était effectuée de manière individuelle.



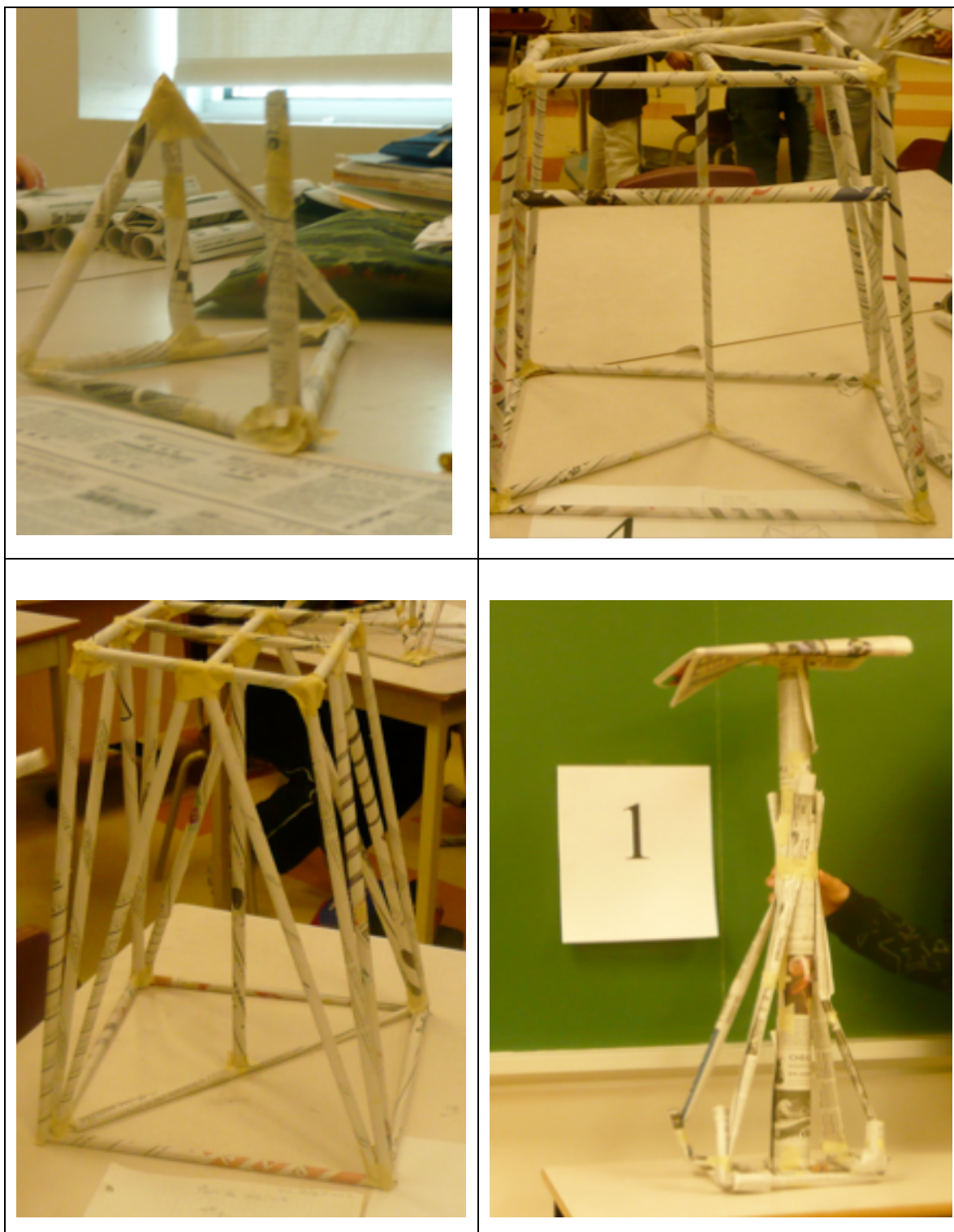


FIGURE 3. Constructions des élèves

Chacune des constructions a été évaluée à la fois par la chercheure et l'expert. Les résultats sont présentés sous forme graphique à la double figure suivante (Figure 4). En comparant les deux lignes nous voyons qu'il y a eu une amélioration des résultats entre les constructions 1 et 2. En termes de moyenne et d'écart type, la moyenne en ce qui concerne la construction 1 était de 1,6 avec un écart type de 1,0. La moyenne, pour la construction 2, était de 3,0 et l'écart type de 0,6. Ainsi, non seulement une amélioration entre les moyennes peut être observée mais on peut aussi noter que l'écart type est moins élevé. Ceci pourrait être lié au fait que les constructions ont été réalisées en petit groupe, dont la plupart étaient composés de trois élèves, et que la note finale obtenue pour la construction était la même pour tous les membres de la même équipe.

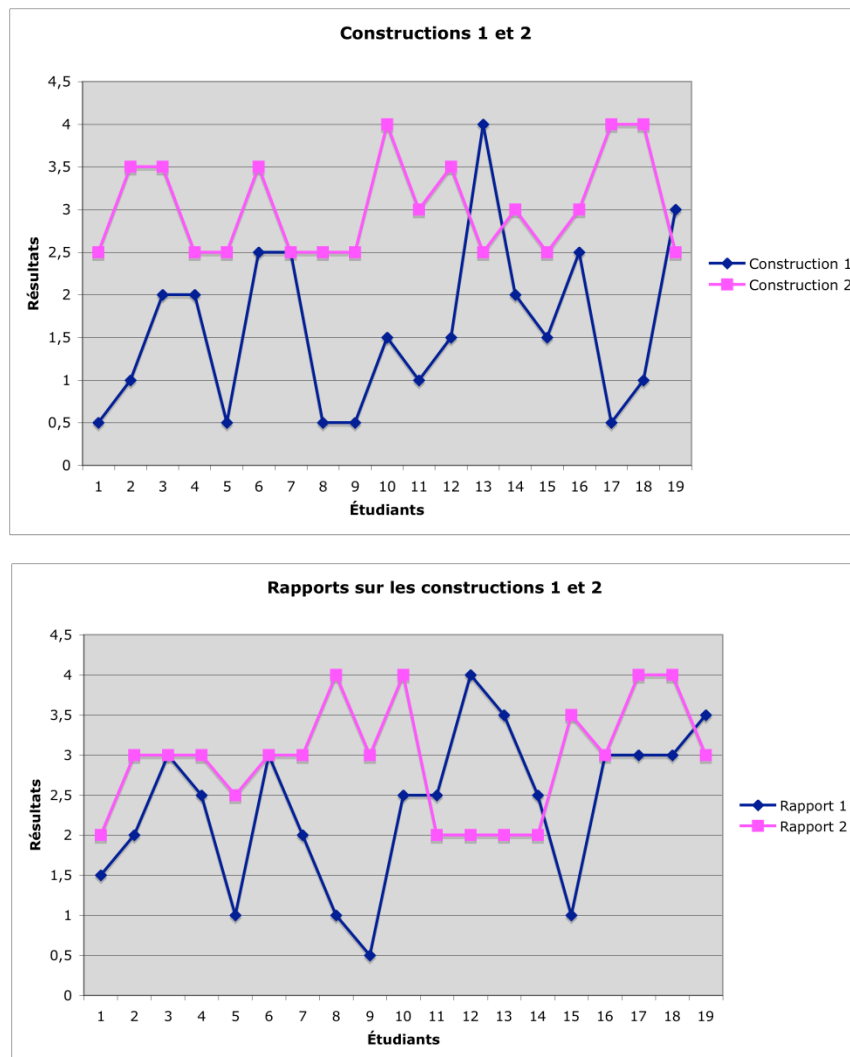


FIGURE 4. Résultats des élèves suite à leurs rapports d'activités

Rappelons que, quoique la deuxième construction ait été effectuée en petit groupe, les rapports des élèves ont été faits individuellement. Une amélioration est observée entre les résultats du premier rapport des élèves et le deuxième. La moyenne est passée de 2,4 à 3,0 et l'écart type a diminué de 1,0 à 0,7.

Il y a deux éléments fort intéressants en rapport avec les résultats des rapports des élèves (Figure 5). Le premier est que l'augmentation de la moyenne entre le premier rapport et le deuxième est seulement de 0,6. Normalement, on pourrait dire que cela n'a pas augmenté de beaucoup. Mais, dans cette situation d'apprentissage, ce qui est inattendu est que la première moyenne soit aussi élevée. Même lorsque l'enseignant avait vu les constructions 1, celui-ci était un peu découragé face aux résultats (entendre les constructions). Toutefois, le niveau de compréhension des problèmes, inhérent dans les constructions et aussi présent dans les rapports des élèves, indique que les élèves avaient suffisamment assimilé les concepts de forces pertinents au succès de leur construction. Autrement dit, les élèves avaient de la difficulté à transférer leurs connaissances pour réaliser une construction –soit une activité très différente –, mais ils étaient en mesure de bien analyser leurs résultats et, dans ce cas-ci, de transférer leurs connaissances à un contexte de construction.

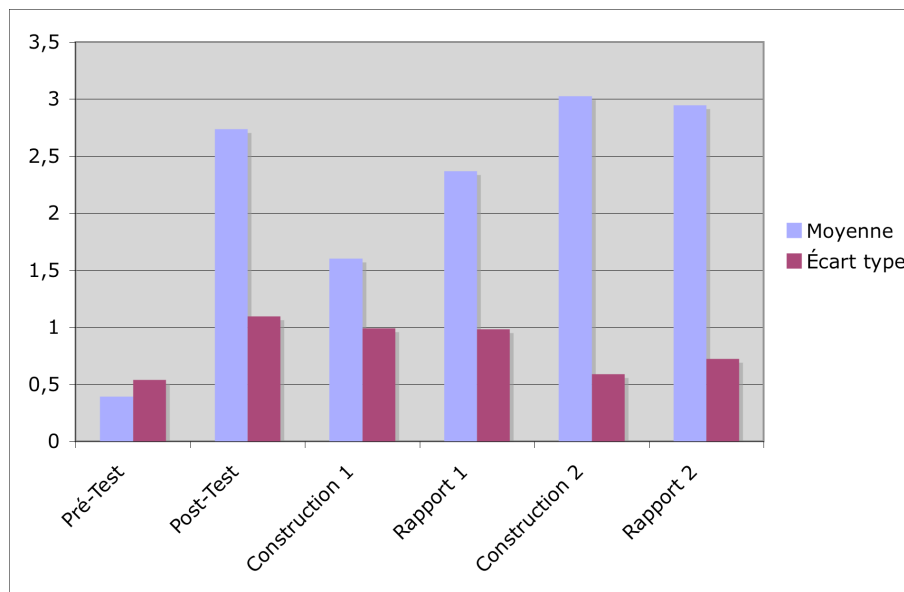


FIGURE 5. Ensemble des résultats obtenus par les élèves

Le deuxième élément intéressant est que la moyenne de la première construction était de 1,6 alors que la moyenne du premier rapport des élèves est de 2,4. Encore ici, on voit que, malgré

une moyenne basse aux résultats de la première construction, les rapports des élèves montrent qu'ils ont capté et expliqué les problèmes de construction de manière à utiliser la compréhension qu'ils avaient des forces. Qui plus est, ils ont obtenu une note plus élevée suite à leurs rapports que suite aux constructions (Figure 4).

Ceci renvoie au fait que les connaissances et les compréhensions des élèves de l'application des forces dans le contexte d'une construction les habitaient durant les phases de construction. Les difficultés encourues semblent être davantage reliées au fait de construire et d'appliquer les connaissances dans la construction que d'appliquer les connaissances pour analyser les constructions en termes de leurs capacité de résister aux différentes forces.

Évaluation du module « Les forces en action »

Suite à la première expérience avec le module de SAMFO intitulé « Les forces en action » un questionnaire a été rempli par les élèves permettant ainsi d'obtenir une certaine rétroaction sur le module. Le questionnaire se trouve à l'annexe D.

L'analyse initiale du questionnaire a distingué les réponses des 11 filles de celles des 9 garçons ($n=20$). Puisqu'il n'y avait pas de différence notable entre les réponses des deux sous-groupes et que le nombre de participants était plutôt restreint, les résultats sont présentés pour le groupe dans son entier.

D'abord il est important de noter que les questions du questionnaire étaient pour la plupart des questions ouvertes. Puisqu'il n'y avait pas de liste à partir de laquelle les élèves auraient pu cocher et choisir nous considérons avoir ainsi obtenu des fréquences plutôt justes. Toutefois cette approche avait aussi ses limites puisque les élèves identifiaient ce qui leur paraissait significatif et non l'inverse. L'avantage de l'approche retenue est d'avoir une meilleure représentation de leurs expériences et non pas celle qu'on présume avoir eu lieu. Même s'il est important de ne pas trop interpréter les fréquences, il faut souligner le fait qu'il y en a eu, ce qui est déjà fort révélateur. Toutefois, en même temps, les éléments pour lesquels peu de fréquences ont été observées conservent leur importance et sont susceptibles de s'avérer précieux pour diriger le regard lors de futures évaluations.

La première question visait une rétroaction plus globale sur l'expérience qu'avaient eu les élèves avec le module Les forces en action. Cette question demandait une évaluation précise (1 à 4 ou Ne s'applique pas) sur les interactions entre les personnages, les mises en situation et les

exemples et apprendre un nouveau concept avec l'ordinateur. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1. Nous voyons que les élèves ont beaucoup aimé les mises en situation et les exemples ainsi que l'apprentissage d'un nouveau concept avec l'ordinateur. Les interactions entre les personnages ont reçu une évaluation un peu plus basse. Sur ce dernier point, dans d'autres parties du questionnaire, les élèves s'expriment avec plus de précision sur ce qu'ils aimeraient voir être différent ou amélioré.

Tableau 1 : Appréciations des affordances du module

Les interactions entre les personnages	Beaucoup aimé 11 Moyennement aimé 7 Peu aimé 2
Les mises en situation et les exemples	Beaucoup aimé 17 Moyennement aimé 3 Peu aimé 0
Apprendre un nouveau concept avec l'ordinateur	Beaucoup aimé 17 Moyennement aimé 2 Peu aimé 1

La deuxième question qui était de forme ouverte demandait aux élèves de nommer trois (3) aspects du module qu'ils avaient appréciés. Les résultats sont présentés au Tableau 2. Rappelons que les fréquences ne sont pas le seul critère pour juger de l'importance ou de la signification des réponses. Il est intéressant de prendre connaissance de l'éventail d'éléments que les élèves ont reconnus être pertinents pour eux.

Trois (3) aspects du module que vous avez appréciés?

Tableau 2 : Aspects appréciés du module

- Exemples et mise en situation (18)
 - Les explications/démonstrations (8)
 - Personnages/amusants (7)
 - Les mots à écrire (7)
 - Les questions/tests (5)
 - Les activités (3)
- D'autres aspects nommés mais avec des fréquences de 1 à 2 incluaient :
- Les sons
 - Les jeux
 - Simulation avec les dessins
 - Individuel, à son propre rythme

Très similaire à la deuxième question, la troisième question demandait aux élèves de nommer trois (3) aspects du module qu'ils voulaient voir améliorés. La liste de réponses condensées dans le tableau 3 fournit une rétroaction très riche. Les items identifiés pointent non seulement vers des améliorations possibles mais fournit également une sorte de portrait des différents

styles et stratégies d'apprentissage utilisés par ce groupe d'élèves en particulier dans le contexte de ce module et des concepts présentés.

Trois (3) aspects du module que vous voudriez voir améliorés?

Tableau 3 : Aspects du module à améliorer

- Plus d'exemples (6)
 - Les explications/vocabulaire (4)
 - Parler plus lentement/prononciation (3)
 - Plus de questions/jeux (3)
 - Plus de personnages (2)
 - Les interactions entre les personnages (2)
- D'autres aspects nommés mais avec la fréquence de 1:
- Plus de travaux
 - Réduire les phrases pour les mots
 - Plus de temps à écrire
 - Plus de détails
 - Capable de demander des questions
 - Démontrer avec un objet plutôt qu'un diagramme
 - Pouvoir créer ses propres personnages

La quatrième question visait une rétroaction précise sur l'utilité des exemples dans la compréhension des concepts présentés. La réponse était positive et unanime pour les 20 participants. Les raisons fournies sont présentées dans le tableau 4. Elles reflètent des réponses bien réfléchies et révèlent en partie le rôle des exemples que les élèves percevaient dans leurs processus d'apprentissage.

Est-ce que les exemples ont aidé à comprendre les concepts?

20 ont répondu oui et en voici les raisons :

Tableau 4 : Exemples qui facilitent la compréhension et leur pourquoi

- Car c'est visuel (7)
- Pour voir les forces, ce qui arrive et pourquoi ça arrive (5)
- Clair, précis, facile à comprendre (4)
- Pour illustrer la signification des mots (3)

La cinquième question visait une évaluation des questions situées à la fin du module. Les résultats indiquent que 17 élèves trouvaient que les questions aidaient à clarifier leurs apprentissages. Leurs raisons indiquent que ces élèves étaient familiers avec le travail dans le contexte de questionnement ou de « mini-test ». Elles illustrent aussi comment ils utilisaient les questions à des fins de vérification, de révision, et même d'extension d'apprentissage dans un nouveau contexte. Pour les réponses négatives, les deux raisons fournies reflètent deux points sur un continuum opposé : le manque de précision des questions et l'absence de nécessité de

disposer de ces questions. Cela ne paraît pas vraiment surprenant dans un groupe dont la capacité scolaire est hétérogène.

Est-ce que les questions à la fin du module ont aidé à clarifier tes apprentissages?

17 oui et 3 non et les raisons sont les suivantes :

Tableau 5 : Impact des questions posées à la fin du module

Pour les oui :

- Elles aidaient à comprendre plus comme un mini-test. Ça expliquait la vraie réponse (7)
- Elles faisaient comme une révision; ça aidait à voir si tu comprenais vraiment (6)
- Elles ont bien représenté les concepts de mots (1)
- Pour me faire rappeler du début (1)
- Voir mes difficultés et retourner en arrière pour revoir (1)
- Pour voir les forces dans d'autres contextes dans la vie de tous les jours (1)

Pour les non :

- Questions pas assez précises
- Je comprenais déjà le module
- [pas lisible]

Question 6 demandait aux élèves s'ils préféraient cette façon d'apprendre et leurs raisons. Dix-sept élèves ont répondu de manière favorable, 1 a répondu négativement et 2 se sont dits incertains, ce qui s'avère consistant avec les résultats de l'ensemble du questionnaire. Les raisons mentionnées aux réponses positives sont souvent plus ou moins typiques des utilisateurs « novices » avec un tel module informatisé. Ici, les élèves ont identifié les aspects comme les représentations visuelles, les exemples et la motivation (incluant le plus grand plaisir et l'intérêt plus marqué). Les raisons données pour les réponses négatives sont de l'ordre d'un manque d'expérience et d'un manque d'interaction.

Préférez-vous cette façon d'apprendre?

17 oui et 1 non; 2 sais pas

Tableau 6: Appréciation globale du mode d'apprentissage au moyen du module

Raison pour le oui incluse	Raison pour le non
• Plus visuel (4) • Plus facile à comprendre les concepts des mots (3) • Plus facile et les exemples aident beaucoup (2) • Plus intéressant (2) • Individuel/à son rythme (2) • Les manipulations (2) • Plus fun à l'ordinateur (1) • Parce que j'ai très bien compris les forces (1) • Plus motivé car différent (1) • Les textes à écrire (1)	• Pas assez d'expérience (1) • Si on comprend pas pas capable de demander des questions (1) D'autres commentaires ou suggestions? • « les notes qui nous ont dit d'écrire était des très bonnes explications de la torsion, tension, cisaillement et compression » • « vraiment aider à comprendre les concepts »

Réflexions de l'enseignant post-action

Les résultats du questionnaire intitulé *Description et justification de l'ensemble des activités pédagogiques entretenues pour enseigner les concepts des différentes forces couverts dans le module de SAMFO* qui a été administré à l'enseignant suite à l'activité avec le module sont les suivants :

Est-ce qu'à l'aide des outils du projet l'élève est arrivé à bien comprendre les concepts visés?

Je crois que les élèves ont bien compris les concepts reliés au concept de force mais pas uniquement à cause des outils du projet. Après avoir utilisé l'outil, j'ai questionné les élèves sur ce qu'ils venaient d'apprendre au sujet des forces et peu d'entre eux pouvaient clairement démontrer une compréhension approfondie du concept de force.

Développez votre réponse en mettant en évidence les étapes de la démarche qui se sont avérées importantes.

Je crois que l'outil de la recherche utilise de façon efficace l'interaction entre les personnages animés et l'utilisateur en plus de fournir des exemples concrets où peuvent s'appliquer les connaissances de base au sujet des forces. D'un autre côté, l'outil ne suffit pas pour que les élèves apprennent, appliquent et maîtrisent le concept de force. Tout au long du projet, je me suis assuré de rendre encore plus concret ce qu'ils ont appris sur ordinateur. Je leur ai fait construire une tour avec des papiers journaux afin qu'ils puissent réellement comprendre l'effet des forces agissant sur leur structure. Ensuite, ils ont construit une tour avec des papiers journaux et du ruban gommé afin de démontrer leur compréhension des forces et d'appliquer leurs connaissances dans la construction de leur tour.

Après cette expérience, quelles sont les possibilités et les limites de ces outils?

Après avoir utilisé l'outil de la recherche, je crois que c'est un outil efficace qui donne à l'enseignant une différente stratégie d'enseignement pour enseigner le concept de force en utilisant des exemples interactifs où l'élève s'amusera tout en apprenant. Il demande aussi aux élèves d'écrire dans leur cahier de notes les notions importantes à retenir. De plus, je crois qu'il peut autant être utilisé comme outil pour enseigner un nouveau concept ou en tant qu'outil pour réviser un concept à la fin d'une unité. Cependant, cet outil en soit ne peut être utilisé par lui-même sans que l'enseignant approfondisse les notions enseignées par des expériences concrètes que lui seul peut animer.

Souhaiteriez-vous continuer d'utiliser ces outils au-delà du présent projet? Justifiez?

Suite à l'utilisation de cet outil, je continuerai de l'utiliser car les élèves ont eu beaucoup de plaisir à apprendre le concept de force à l'ordinateur. De plus, je crois que les exemples sont bien adaptés pour le niveau des élèves et ils expliquent bien les concepts importants. J'ai aussi apprécié le fait qu'il demande aux élèves de prendre en notes les notions importantes dans leur cahier de notes. Par contre, je ne crois pas que je demanderai aux élèves de compléter les questionnaires à choix multiples au début ou à la fin car selon moi, certaines questions sont trop difficiles pour eux et ça fait juste renforcer le fait qu'ils ne savent pas rien avant de commencer (avec le questionnaire au début) ou qu'ils ont rien appris (avec le questionnaire de la fin). Je ne vois pas vraiment l'utilité de ces questionnaires.

En terminant, j'espère que mes réponses ont pu répondre à vos questions ou à vos inquiétudes face à l'outil du projet et je vous remercie de m'avoir fourni cet outil technologique qui m'a permis d'enrichir mon répertoire de stratégies d'enseignement.

Chapitre 5 : Présentation des données recueillies au Québec

Introduction

Ce chapitre décrit l'expérimentation pédagogique qui s'est déroulée au Québec dans deux contextes d'apprentissage distincts ayant accès à la bande passante, soit un contexte rural de niveau primaire et où les classes participantes prenaient part à l'initiative École éloignée en réseau du MELS sous la responsabilité du CEFRIO et un contexte urbain où les élèves étaient plongés dans une culture fortement informatisée de par leur inscription à PROTIC, un programme de niveau secondaire dans lequel chaque élève dispose d'un ordinateur portable branché en réseau.

L'intégration et l'évaluation d'un outil de télécollaboration du nom de *Knowledge Forum*, disponible sur le réseau et logé sur un serveur de l'Université Laval est ici l'objet à l'étude.

Étude en contexte rural, 3e-4e-5e-6e année

Participants

La situation d'apprentissage et d'évaluation (SAÉ) sur les forces et les mouvements a été réalisée en collaboration dans deux classes du palier élémentaire de la mi-janvier à la fin avril. Ces deux classes, qui faisaient partie de l'initiative École éloignée en réseau (ÉÉR)⁵, sont situées dans la région du Bas-St-Laurent (Commission scolaire du Fleuve-et-des-Lacs) et dans la région de Charlevoix (Commission scolaire de Charlevoix). La classe du Bas-St-Laurent participait depuis quatre ans déjà à ÉÉR et il s'agissait d'une classe de triple niveau (4^e, 5^e et 6^e année) au sein d'une école de douze élèves. Quant à elle, la classe de Charlevoix était une classe de quatre niveaux (3^e, 4^e, 5^e, et 6^e année) dans une école de 41 élèves. Les deux enseignants titulaires de ces classes étaient des enseignants d'expérience (plus de dix ans) qui

⁵ ÉÉR est une initiative du Ministère de l'Éducation, du Loisir, et du Sport qui vise à enrichir l'environnement d'apprentissage des petites écoles rurales (moins de 100 élèves) à l'aide des technologies de l'information et de la communication (TIC). Le site Web de ÉÉR est disponible à l'adresse suivante : <http://www.eer.qc.ca>

avaient fait le choix d'enseigner dans ces petites écoles même si elles sont éloignées de centres urbains et que la tâche est plus exigeante. Ils possédaient tout deux un baccalauréat en enseignement préscolaire et primaire, étaient impliqués activement dans le renouveau pédagogique et participaient depuis le début à l'implantation du (nouveau) Programme de formation de l'école québécoise (PFÉQ).

L'intervention (design de l'activité d'apprentissage)

Durant cette SAÉ⁶, qui s'est déroulée sur six semaines, le réseau a été utilisé à plusieurs reprises afin que les élèves puissent collaborer entre classes à distance. Tout au long de l'activité, les deux classes ont travaillé en collaboration en utilisant deux outils de télécollaboration, un pour soutenir le discours écrit, soit le *Knowledge Forum* (KF), et un pour soutenir le discours oral, soit un logiciel de vidéoconférence (*iVisit*). À cet effet, l'une des visées de l'initiative ÉÉR est d'augmenter les possibilités d'interactions entre des élèves qui sont parfois seuls ou peu nombreux à un palier d'étude donné dans leur classe. À titre d'exemple, il y avait seulement un élève en 6^e année dans la classe du Bas-St-Laurent et deux élèves en 5^e année dans la classe de Charlevoix. Depuis le début de leur parcours scolaire, ces élèves étaient isolés même s'ils faisaient partie d'un groupe multiâge. Ainsi, l'usage des outils de télécollaboration voulait permettre l'enrichissement de l'environnement d'apprentissage en fournissant, entre autres, des interactions entre pairs plus diversifiées aux élèves. Des membres de l'équipe de recherche-intervention utilisaient les mêmes outils pour suivre ce qui se passait.

Le design de la SAÉ consistait en plusieurs allers-retours entre les activités réalisées en face à face dans la classe de même que sur le réseau avec l'autre classe. Qui plus est, la petite taille des deux classes permettait une plus grande flexibilité aux deux enseignants dans la gestion de cette SAÉ en réseau. En effet, les élèves pouvaient facilement travailler les uns avec les autres sans trop de contraintes logistiques puisque le logiciel de vidéoconférence était toujours ouvert dans chacune des deux classes et qu'il était possible en tout temps pour eux de communiquer avec leurs pairs à distance. Il était aussi plus aisé pour les enseignants de coordonner et de concerter les actions dans les deux classes.

En ce qui concerne l'intervention réalisée dans chaque classe en face à face, plusieurs discussions de groupe ont eu lieu pour initier, compléter ou réviser les échanges axés sur

⁶ Cette SAÉ est disponible sur le site http://www.cspi.qc.ca/cpp/sciences/ancien_site/probleme/ et elle a été conçue par une équipe d'enseignants et par Marcel Thouin, didacticien des sciences à l'Université du Québec à Montréal.

l'amélioration des idées qui s'étaient produits à l'aide des deux outils de télécollaboration. À titre d'exemple, les enseignants sont revenus en groupe sur le concept de force de levier puisqu'il y avait une confusion au plan de la définition et de l'observation de cette force dans l'environnement immédiat des élèves. Au total, chacune des classes a vécu cinq discussions de groupe pour permettre, entre autres, la progression du discours écrit dans le KF. À deux reprises, des membres de l'équipe de recherche-intervention ont observé ces discussions à l'aide de l'outil de visio/vidéoconférence. Les discussions duraient environ 15 à 20 minutes dans chacune des classes.

Afin de comprendre le concept de force au plan expérimental (voir la compétence 2 : mettre à profit les outils et les procédés en science et technologie), les élèves avaient à réaliser quatre expériences dans chacune des classes. Ces expériences avaient été planifiées afin d'ancrer les contributions des élèves sur le *Knowledge Forum*. Voici une brève description des expériences :

- Activité 1* : Les roues et les axes (chariot) : Comment déplacer un dictionnaire sur deux roues amovibles du point X au point Y ?
- Activité 2* : Les poulies : Comment soulever un dictionnaire du point Y au point Z ?
- Activité 3* : Le levier (point d'appui, pivot, force, charge) : Comment déplacer le dictionnaire sur le plan incliné sans y toucher directement (du point Z au point Y)?
- Activité 4* : Plan incliné (inclinaison et friction) : Sur quel type de surface le dictionnaire peut-il glisser le plus facilement pour revenir au sol ?

De plus, les enseignants ont utilisé le KF afin de permettre le développement de la compétence 1 (proposer des explications ou des solutions à un problème scientifique) et de la compétence 3 (communiquer à l'aide du langage scientifique), ceci en lien avec l'utilisation des idées réelles des élèves pour en arriver à leur faire proposer des explications sur les concepts reliés aux forces et mouvements.

Voici les questions qui furent posées sur le KF par les enseignants afin que les élèves élaborent ensemble une compréhension des concepts à l'étude. La question 2 et les suivantes avaient pour point de départ des explications, des idées et des théories énoncées par les élèves suite à la première question.

- 1) Comment peut-on soulever ou déplacer un objet lourd sans trop forcer ?
- 2) Dans plusieurs de vos réponses, nous remarquons qu'il serait plus facile de soulever des objets lourds avec l'aide de machines ou d'outils. Que savez-vous des leviers, des poulies et du plan incliné? En quoi, d'après vous, peuvent-ils nous aider à déplacer des objets ?

Afin de valider l'acquisition de connaissances ainsi que le développement de compétences, les élèves ont eu à construire une réaction en chaîne à partir de la question suivante : Comment

construire un dispositif qui, une fois en mouvement, entraîne une suite d'événements sous l'action de différents mécanismes dans le but de crever un ballon de baudruche ? Afin de réaliser cette activité finale, les élèves ont travaillé entre classes par vidéoconférence à plusieurs reprises pendant deux jours. Ils se sont questionnés sur la validité du plan de leur réaction en chaîne sans l'avoir construite et ils ont émis des recommandations à leurs pairs (séquences *iVisit* enregistrées). À la fin, les élèves sont retournés travailler avec le KF afin de répondre à la question d'objectivation suivante : Avec l'avènement des technologies, est-ce que c'est encore utile les machines simples ?

Tout au long de l'activité, l'intervention des enseignants a été davantage sous forme d'accompagnement guidé, sans définir de manière officielle les savoirs essentiels à l'étude pour les élèves et en mettant l'accent sur les connaissances dont ils disposaient déjà afin de les amener à mieux comprendre. Ainsi, puisque les élèves n'avaient pas conscience de l'importance des forces dans leur environnement du fait, entre autres, de l'omniprésence des technologies, les enseignants ont cherché à guider leurs démarches en les aidant à modifier leurs perceptions de départ sur l'utilité et les capacités de certaines forces dans leur environnement. Ils ont aussi travaillé à leur faire réaliser que plusieurs mouvements dans leur environnement ne sont pas le fruit du hasard. Voici un schéma (Figure 6) qui illustre l'ensemble de la situation d'apprentissage.

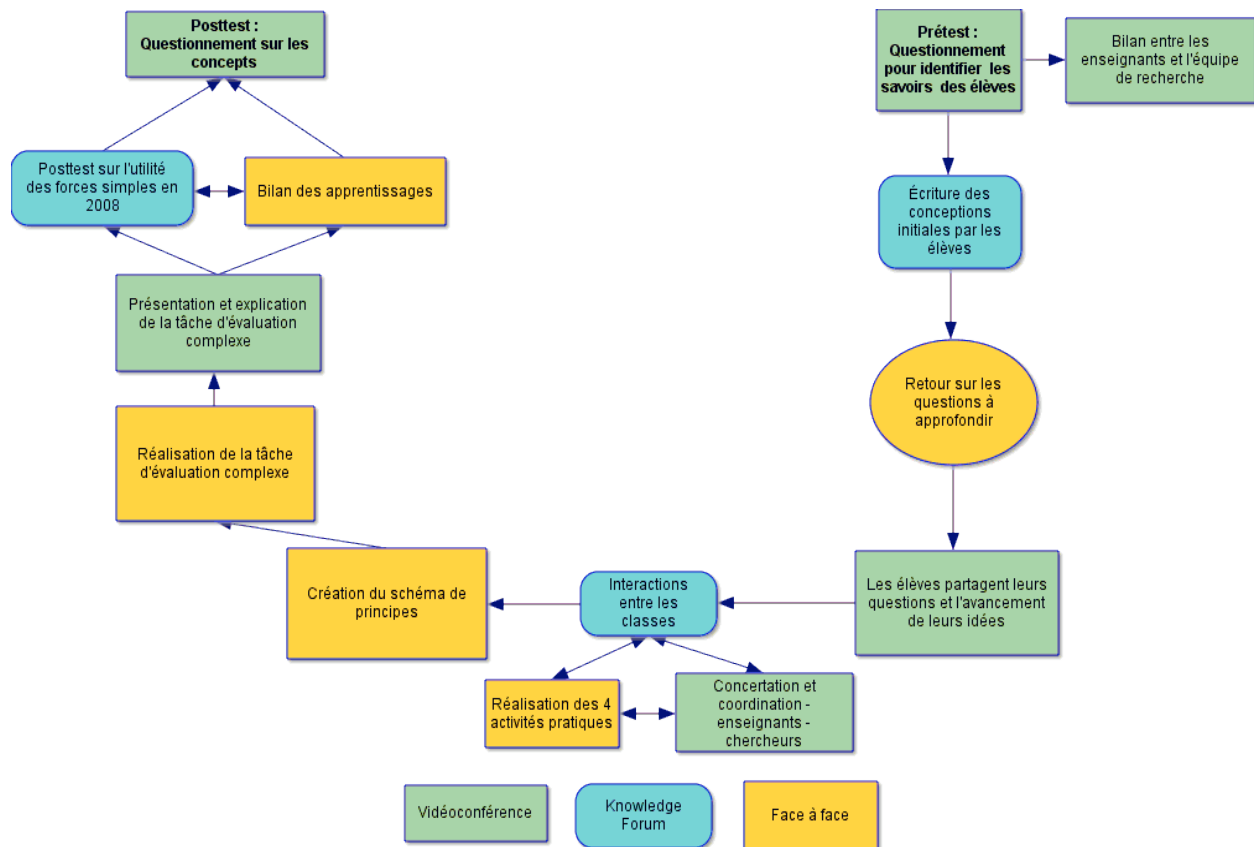


FIGURE 6. Illustration de l'intervention

Les données

Les données recueillies ont été de trois types : données du prétest et du posttest, données disponibles sur les outils de télécollaboration (forum électronique et visio/vidéoconférence) et données issues d'entrevues. Le prétest a consisté en une rencontre face à face entre l'enseignant et ses élèves ainsi qu'une rencontre en vidéoconférence des élèves pris individuellement avec un chercheur. Les données disponibles sur les outils de télécollaboration étaient les notes écrites par les élèves ainsi que l'enregistrement d'une tâche d'évaluation complexe réalisée entre élèves de classes différentes et qui consistait à produire une réaction en chaîne impliquant plusieurs forces. En cours de démarche, la séquence où les élèves se sont présentés le plan de leur réaction en chaîne a été enregistrée et les schémas de construction des élèves ont été recueillis.

À la fin de la SAÉ, les élèves et les enseignants impliqués ont aussi été rencontrés afin de connaître leurs perceptions sur la réalisation de cette activité de science et technologie.

Les résultats

L'engagement des élèves

Dans leurs propres mots, les élèves ont mentionné qu'ils étaient beaucoup plus motivés lors de la réalisation de cette situation d'apprentissage principalement en raison de la diversité des activités proposées. Ainsi, un élève mentionne : « d'habitude en science, on fait juste une expérience et c'est fini ». Un autre élève a quant à lui ajouté : « c'était un gros défi de présenter notre réaction en chaîne sur iVisit (vidéoconférence) parce qu'on avait réussi à faire quelque chose de gros en chaîne à cause qu'on était beaucoup ensemble comparé à d'habitude à travailler sur la même affaire ».

Le discours écrit des élèves dans le KF

Tout au long des activités, les élèves ont formulé et amélioré leurs idées à partir des questions de départ soumises par leurs enseignants. La figure 7 présente une capture d'écran de deux perspectives construites par les classes :

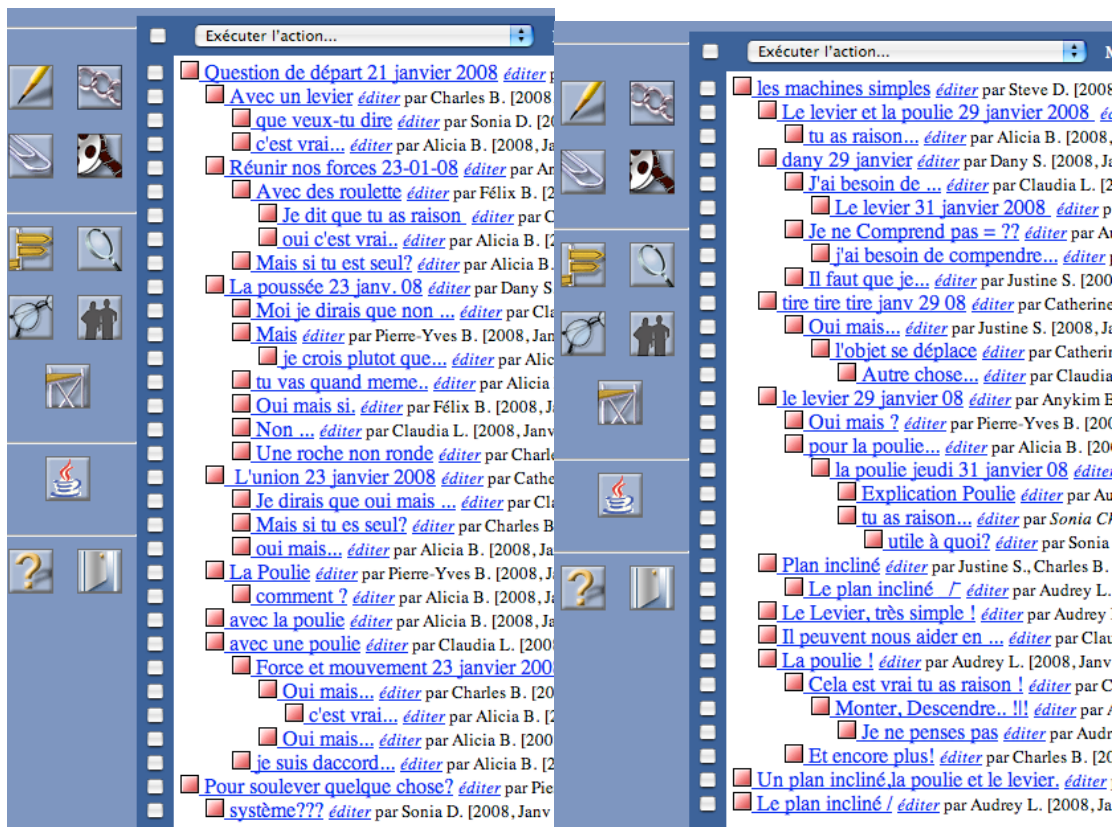


FIGURE 7. Deux exemples de perspectives sur les forces et les mouvements

Le *Knowledge Forum* contient des outils d'analyse afin de suivre la progression du discours chez les élèves et obtenir certaines données contenues dans les perspectives développées. Dans les quatre perspectives sur les forces et mouvements, voici quelques données concernant les sept élèves des deux écoles :

Tableau 7 : Données statistiques (Mesure de base de l'*Analytic ToolKit*, ATK)

Nombre d'élèves	Nombre de contributions écrites	Moyenne de notes par élève	Pourcentage de lecture	Nombre de révisions des contributions	Nombre d'échafaudages ⁷
7 élèves	95 notes	13,5 notes	53 %	28 %	95

De plus, une analyse plus pointue (*Group Interaction, Building and Reading*) nous a permis de constater que les élèves avaient autant lu les notes de leurs pairs à distance que les notes de leurs pairs en classe.

La tâche d'évaluation complexe

Voici le problème de départ soumis aux élèves pour la tâche d'évaluation :

Comment construire un dispositif qui, une fois en mouvement, entraîne une suite d'événements sous l'action de différents mécanismes dans le but de crever un ballon de baudruche ? (Minimum de 3 mécanismes)

La description des activités de la tâche complexe était la suivante :

1. Présenter le problème aux élèves. Former des équipes de travail.
2. Annoncer aux élèves qu'ils auront à produire un rapport contenant :
 - le croquis du montage;
 - la description des mécanismes (vocabulaire approprié);
 - une explication de l'enchaînement;
 - la justification du résultat (positif ou négatif).
3. Les équipes préparent un croquis sommaire du montage qu'ils pourront modifier en cours de travail.
4. Les équipes montent les mécanismes et expérimentent les enchaînements.
5. Les élèves réalisent ensuite le montage (les mécanismes qui s'enchaînent).
6. Les élèves présentent leur montage à leurs pairs de la classe distante.
7. Les élèves font les ajustements nécessaires pour l'évaluation finale.

⁷ Les échafaudages sont des outils métacognitifs disponibles dans le KF afin de guider le processus d'écriture des élèves. Dans ce cas-ci, ce sont les échafaudages de base qui ont été utilisés, soit Ma théorie, Nouvelle information, Une meilleure théorie, Cette théorie n'explique pas, Mettons notre savoir en commun.

SAVOIRS ESSENTIELS	CONCEPTS PROPOSÉS
Effets de l'attraction gravitationnelle sur un objet	Chute libre, pendule
Effets d'une force sur la direction d'un objet	Pousser, tirer
Effets combinés de plusieurs forces sur un objet	Renforcement, opposition
Pression	Compression, cisaillement, torsion, tension

Les élèves avaient à définir dans leurs propres mots les concepts reliés aux savoirs essentiels de la pression, soit les forces de compression, de tension, de cisaillement et de torsion.

Ces quatre concepts étaient reliés au prétest diagnostique des élèves du premier cycle du secondaire (voir l'étude en contexte secondaire, section 2 de ce chapitre) et il permettait de valider la compréhension des élèves des effets de force dans la création de la réaction en chaîne dans la tâche complexe d'évaluation. Il importe de mentionner que les élèves du 2^e cycle ont aussi participé à l'ensemble de la SAÉ, mais leurs résultats ne sont pas consignés.

Tableau 8 : Nombre de concepts définis correctement (prétest)

Bas-St-Laurent	Nombre de concepts définis correctement	Charlevoix	Nombre de concepts définis correctement
Élève 1	0	Élève 5	2
Élève 2	0	Élève 6	0
Élève 3	0	Élève 7	0
Élève 4	0		

La plupart des élèves étaient en mesure d'expliquer le concept général de pression dans leurs mots et de l'illustrer avec un exemple courant, soit celui de la neige sur un toit. Ainsi, les élèves mentionnaient tous que : « la neige met de la pression sur le toit », « la pression de la neige fait tomber les toits », etc. Bien entendu, les précipitations de neige ont été particulièrement importantes lors du dernier hiver, forçant la fermeture des écoles à maintes reprises, et cela a probablement influencé le discours des élèves. Par contre, ils étaient incapables de nommer ou d'expliquer ce que les quatre concepts spécifiques signifiaient. L'élève 5 a réussi à expliquer clairement la compression : « c'est une force qui pousse la structure vers le bas » en l'opposant

avec sa définition de la tension soit : « une force qui fait pencher la structure vers le haut ». Il a aussi été intéressant de noter que, pour les enfants, les concepts de pression et de tension étaient davantage reliés à un ressenti qu'à une conception scientifique. Par exemple, pour l'élève 2, la tension était davantage un problème dans les relations interpersonnelles ou familiales : « la tension c'est quand les relations sont difficiles entre les personnes ». Ainsi, cinq élèves ont davantage relié le concept scientifique à son utilisation dans un autre contexte.



FIGURE 9. Construction des élèves dans une classe ÉÉR

Avant de présenter les résultats du posttest, voici les résultats d'évaluation des élèves par leurs enseignants (Tableau 9) dans le cas de la tâche complexe qu'ils ont réalisée.

Tableau 9 : Résultats des élèves à l'évaluation de la tâche complexe

Bas-St-Laurent	Résultats Compétence 1	Charlevoix	Résultats Compétence 1
Élève 1	A	Élève 5	A
Élève 2	B	Élève 6	B
Élève 3	A	Élève 7	A
Élève 4	A		
Bas-St-Laurent	Résultats Compétence 2	Charlevoix	Résultats Compétence 2
Élève 1	A	Élève 5	A
Élève 2	A	Élève 6	A
Élève 3	A	Élève 7	A
Élève 4	A		
Bas-St-Laurent	Résultats Compétence 3	Charlevoix	Résultats Compétence 3
Élève 1	A	Élève 5	A
Élève 2	B	Élève 6	B
Élève 3	A	Élève 7	A
Élève 4	A		

Les résultats obtenus par les élèves concernent l'ensemble de la tâche d'évaluation et les enseignants se sont concertés pour évaluer conjointement chacun des élèves du 3^e cycle. Les deux élèves qui ont obtenu un B ont connu davantage de difficultés à concevoir de manière concise et claire leur schéma de principes en utilisant un vocabulaire scientifique approprié (compétence 3) et cette difficulté a aussi été observée lors de la présentation en vidéoconférence. Le résultat pour la compétence 1 est donc moindre que celui des autres élèves puisque leurs explications souffraient du manque d'utilisation du vocabulaire approprié.

Posttest (administré par voie de vidéoconférence)

Un posttest a été effectué auprès des élèves afin de valider leurs capacités de transférer les connaissances. D'abord, nous avons engagé les élèves dans la même mise en situation que celle du prétest afin de comparer leurs résultats.

Tableau 10 : Résultats des élèves au posttest

	Définition correcte	Définition partielle	Définition absente
Élève 1	3	1	
Élève 2	4		
Élève 3	4		
Élève 4	3	1	
Élève 5	4		
Élève 6	4		
Élève 7	4		

Les résultats au posttest sont satisfaisants compte tenu des connaissances manifestées par les élèves au départ. Plus surprenant encore, les élèves qui ont eu une évaluation plus faible à la tâche d'évaluation complexe (Élèves 2 et 6) ont été en mesure de définir correctement les quatre concepts. Par contre, deux élèves ont donné une définition partielle du concept de cisaillement dans chacune des écoles. Les enseignants ont mentionné ne pas être surpris puisque c'est le concept qui était le moins présent dans l'ensemble des activités. Voici un portrait de l'évolution entre le prétest et le posttest (Figure 10) :

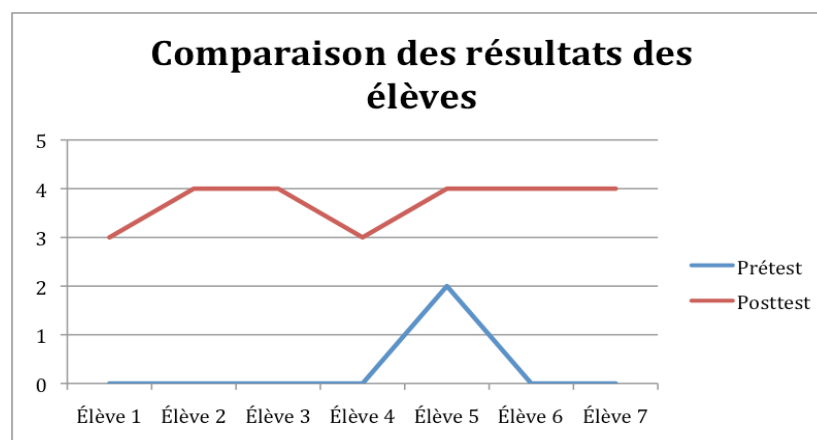


FIGURE 10. Comparaison entre les résultats des élèves au prétest et au posttest sur les concepts reliés aux forces et mouvements

La question du transfert des connaissances acquises à une nouvelle situation présentée

En plus d'avoir eu à transférer leurs connaissances dans des schémas de construction et d'avoir relativement bien réussi leurs constructions (voir Figure 9), les élèves ont été invités à répondre à une question de réinvestissement dans le *Knowledge Forum* afin de savoir si, à leur avis, les machines simples (qui produisent des forces) sont encore utiles en 2008. Voici des exemples d'explications des élèves (Figure 11) :

Ma théorie oui ma je crois que c'est encore utile en 2008. Parce que on se sert encore des poulies pour les cordes a linges et on se set encore des levier pour lever des choses comme exemple la brouette et les plans incliné on sens sert encore pour les camions de déménagements pour faire glisser les meubles .)

Ma théorie Oui, je crois qu'ils seront utiles pendans encore longtemps car nous aurons toujours besoins des ses machines pour effectuer des taches ; soulever des objets.. Etc. On peut aussi construire d'autres engins plus complexes a partir des ces machines simples. Bref, je crois que ces machines simples seront toujours utiles pour les humains.)

FIGURE 11. Exemples des idées des élèves

Voici un exemple d'un questionnement émergent d'un élève (Figure 12) :

J'ai besoin de comprendre Est-ce que tu pourrais plus simplifier ex: Pour toi à quoi sert la poulie, le levier et le plan ilcliné ? Et si tu habites dans un appartement et que tu veux soulever des objects lourds ex: Un frigidaire que tu veux monter au deuxième étage, tu peux prendre le plan incliné et aussi sur la corde à linge la roulette cela est une poulie.)

FIGURE 12. Exemple d'un questionnement émergent

Voici deux exemples d'idées des élèves liées aux savoirs essentiels (Figure 13) :

Ma théorie Moi je pense que chaque jour en ouvrant une porte on exerce une force de torsion ou en tournant le robinet du lavabo.)

Ma théorie Quand je veux enlever l'eau d'une serviette mouillée, je dois la tordre. Dans ce cas, j'utilise la force de torsion.)

FIGURE 13 Exemples d'idées liés aux savoirs essentiels

Entrevues avec les enseignants

Les enseignants, quant à eux, ont mentionné que l'utilisation des outils du réseau leur avait permis de faire davantage de science que ce qu'ils font habituellement dans une classe de plus de trois niveaux. Ainsi, grâce aux interactions en réseau, ils ont pu faire des activités du programme de science et technologie pour chacun des cycles plutôt que de faire faire, pour sauver du temps, la même activité à tous les élèves peu importe leur niveau.

Au plan de l'intégration des connaissances et du développement des compétences, les enseignants ont mentionné principalement que le design en plusieurs étapes de l'étude leur avait permis d'envisager différemment l'apprentissage des sciences. Ainsi, ils ont davantage mis l'accent sur les connaissances des élèves pour leur permettre de commencer l'apprentissage de nouveaux savoirs essentiels. En plus, ils ont fait davantage confiance aux élèves pour les laisser progresser de manière autonome sur les outils du réseau, faisant souvent des retours en classe pour des clarifications. L'enseignante de la classe à quatre niveaux précisait que jamais auparavant les élèves n'avaient été en mesure de témoigner autant de leurs acquis et de faire le transfert dans différents contextes en science voire dans d'autres domaines d'apprentissage comme l'univers social.

Étude en contexte urbain, première secondaire

Les participants

Au premier cycle du secondaire, l'étude des forces, mouvements et, plus largement, des transformations de l'énergie s'inscrivant dans la compréhension du fonctionnement de systèmes technologiques a été réalisée, à l'hiver 2008, dans trois classes de première secondaire dont les élèves étaient âgés de 12 et 13 ans. Aux fins de la présente étude, les résultats d'une seule classe, composée de 23 élèves, ont été retenus, et ce, uniquement pour mieux faire état du contexte de classe dans lequel l'activité d'apprentissage a été vécue. Celle-ci a été documentée par l'enseignante participant à la recherche et son stagiaire, inscrit en 3^e année du baccalauréat en enseignement secondaire dans la voie science et technologie. La titulaire du groupe enseigne depuis sept ans les sciences et les mathématiques. Elle a complété un baccalauréat en enseignement des mathématiques et de la physique au secondaire. Par la suite, elle a réalisé une maîtrise en didactique des mathématiques et complète actuellement un doctorat dans la même discipline. La classe choisie faisait partie du programme PROTIC, de l'école

secondaire Les Compagnons-de-Cartier qui est rattachée à la commission scolaire des Découvreurs dans la région de Québec. Au sein de ce programme créé en 1997, chacun des élèves et des enseignants possède son propre ordinateur. Tous les ordinateurs sont branchés en réseau. La collaboration, par la voie, entre autres, du travail d'équipe, est préconisée à l'intérieur de situations d'apprentissage et d'évaluation ainsi que de projets. Le modèle d'enseignement intègre les matières et l'interdisciplinarité. Comme on le précisera ultérieurement, la vision interdisciplinaire a son importance dans la présente séquence d'apprentissage étudiée puisque l'étude des transformations géométriques a été jumelée à l'apprentissage des forces.

L'intervention (design de l'activité d'apprentissage)

La séquence d'enseignement et d'apprentissage proposée s'est déroulée en deux temps. La première phase a été d'une durée de neuf périodes de 70 minutes⁹. Elle a débuté le 25 janvier 2008 pour se terminer au début de février. Il faut spécifier ici que la majorité des neuf périodes ont fait l'objet d'un enseignement/apprentissage tant scientifique que mathématique. Présentée comme un projet multidisciplinaire, l'étude de la symbolisation des mouvements et des forces a servi de prétexte à l'étude des translations et des rotations que l'on retrouve dans notre environnement et, plus précisément, dans le fonctionnement d'objets et de systèmes technologiques. La seconde phase a pris fin le 7 mars 2008¹⁰ et elle a duré huit périodes. Avant de présenter chaque phase de façon indépendante, voici les objectifs purement scientifiques et technologiques de chacune.

Pour la première phase :

- Définir collectivement le concept de force ainsi que les types de forces (force de torsion, force de compression, force de tension, force de cisaillement, force gravitationnelle).
- Mettre à profit ses connaissances scientifiques et technologiques (compétence 2 du MELS) dans l'étude du fonctionnement d'un objet ou d'un système mécanique. La reconnaissance des machines simples composant l'objet ou le système est exigée.
- Communiquer à l'aide du langage scientifique et technologique (compétence 3 du MELS). La réalisation d'un schéma de principes respectant les conventions propres à la conception d'objets techniques est exigée.

⁹ La première phase, qui réfère au projet intitulé : « Forces en mouvements », est disponible à l'adresse suivante : http://protic1.net/index.php?option=com_content&task=view&id=90&Itemid=81

¹⁰ Dans les événements particuliers à souligner, il faut noter que, durant la dernière semaine de février, il y a eu les vacances d'hiver pour les élèves et enseignants.

Pour la deuxième phase :

- S'interroger collectivement sur les conditions nécessaires à l'exercice d'une force en vue de dégager et définir le concept d'énergie et d'en distinguer les différentes formes.
- Étudier le fonctionnement d'une éolienne en vue d'en construire un modèle réduit.
- Rédiger un cahier des charges (étude de la situation de départ et des contraintes à respecter, schéma de principes, schéma de construction) qui secondera la démarche de conception (Évaluation des compétences 1 et 2).

Lors de la première phase, les élèves ont d'abord été invités à rédiger leur propre conception de ce qu'est une force et des types de forces qui s'exercent sur notre planète via la passation d'une évaluation diagnostique. Suite à cela, chaque élève devait reprendre l'activité individuellement sur le *Knowledge Forum* (KF). Étant habitués à émettre leurs premières conceptions sur le KF, les élèves ont accepté avec facilité de reprendre l'exercice. À la suite de la rédaction d'une première note rédigée par chaque élève, une discussion en grand groupe a été amorcée en classe. À chaque cours, les élèves étaient invités, en soirée, à aller enrichir le produit de leur collaboration via leur perspective dans le KF. Le design des cours suivants était alors pratiquement similaire à celui exposé maintenant. L'introduction du cours, animée par l'enseignante ou/et le stagiaire, était appuyée par certaines notes d'élèves. Leur utilisation a souvent permis de créer un conflit cognitif auprès des élèves ou simplement de les inviter à améliorer leur argumentation. À titre d'exemple, au deuxième cours, voici l'une des notes utilisées :

The screenshot shows a web browser window displaying a note on the Knowledge Forum platform. The note is titled "La force selon moi" and has a "Dernière modification: 2008, Janv 25 (11:32:13)" timestamp. The text of the note discusses the concept of force, defining it as a movement or gesture that acts on an object. It then lists several types of forces: gravitational (attraction towards the center of the Earth), tension (pulling force), compression (pushing force), and magnetic (attraction or repulsion between objects). Examples are provided for each type, such as a hand pressing a key (compression) or a magnet attracting a paperclip (magnetic force). The note is attributed to "Source: moi". At the bottom, a status bar indicates that the note has been read 39 times and modified 2 times.

La force selon moi [éditer](#)
Dernière modification: 2008, Janv 25 (11:32:13)

Je considère une force en tant qu'un mouvement où un geste qui appui soit sur une autre ou dans le vide mais tant que ce mouvement agisse sur l'objet d'où il vient.

Pour moi:

La force gravitationnelle est: Cette force pour moi est celle lorsque l'on soulève un objet dans les airs ou lorsqu'un objet est attiré vers le centre de la Terre.

La force de tension est: Cette force est facile à définir d'après moi. Je crois que c'est celle où une force est exercée et l'objet en question est étiré, ce pourrait être le ressort.

La force de compression est: Cette force est, pour moi, celle où une force d'un objet qui appui soit sur une autre.

La force de cisaillement est: Cette force est, pour moi, comme celle qu'utilisent les ciseaux. Ils se croisent lorsqu'on force et coupe.

La force magnétique est: Celle là est facile à comprendre. Le nom le dit plutôt, car c'est la force qui attire ou éloigne deux objets tels que les aimants. C'est une force qui est plus scientifique d'après moi.

Des exemples de force:

Ex. 1- La force qui vient de ma main appui sur les touches du clavier et le résultat est qu'une lettre à l'écran apparaît. Et la force serait la force de compression.

Ex. 2- Comme les ciseaux, lorsqu'on les ferme sur quelque chose (un papier), il le coupe. La force utilisée pour les fermer et pour couper est, d'après moi, la force de cisaillement.

Ex. 3- Si je veux soulever un objet, exemple un étui à crayon, je le prends et ma force l'attire dans les airs. Cette force serait la force gravitationnelle d'après-moi.

Source: moi

Lire et modifier les informations de cette note

Cette note a été lue 39 fois par 23 personnes.
Cette note a été modifiée 2 fois par une personne.

FIGURE 14. Exemple de note. URL de cette note (accès limité) : <http://webkf.fse.ulaval.ca:27319/note?DB=Protic&NoteID=121024>

Cette note a été utilisée comme exemple pour les pairs, et ce, pour démontrer la capacité d'un élève à exprimer clairement ses idées. En plus, elle a permis à l'enseignante d'émettre l'hypothèse suivante : « Lorsqu'une force s'exerce, un mouvement est engendré. » Alors que certains étaient d'accord avec l'hypothèse de l'enseignante, d'autres élèves se sont empressés d'exposer différentes situations dans lesquelles il y avait bien présence d'une force, mais aucun mouvement perceptible. À la suite de cette discussion, les élèves sont retournés dans le KF afin d'élaborer des notes collectives en équipes de deux, trois ou quatre. Lors des cours qui ont suivi, on a vu apparaître dans le KF des notes édités par certains élèves qui se voulaient le résumé des propos émis par leurs pairs. On constate alors que les différents concepts émis par divers élèves et permettant de définir ce qu'est une force ont été utilisés dans ces notes.

La note citée en exemple fut aussi l'occasion d'amorcer la discussion sur les types de force et sur la nécessité de les classer. À ce stade, aucune formalisation des types de force n'a été faite. L'enseignante a plutôt invité les élèves à poursuivre le travail par eux-mêmes. Toutefois, pour donner du sens à cette catégorisation, l'enseignante en a profité pour partager la finalité du premier temps de cette séquence, soit la réalisation d'un schéma de principes portant sur le fonctionnement d'un objet ou système technologique. Comme les élèves avaient déjà eu à interpréter un schéma de principes plus tôt en septembre, ce fut l'occasion de remettre en lumière les caractéristiques de tels schémas soit la présence des symboles propres aux mouvements, mais aussi des forces en jeu dans le mécanisme de l'objet analysé. Pour l'ensemble des cours de cette première phase ainsi que pour la suivante, les propos des élèves partagés dans le KF et en classe étaient souvent appuyés d'informations trouvées sur Internet¹¹ ou via les quatre collections de manuels mis à leur disposition en classe. Lors des retours en grand groupe, il est arrivé qu'un réseau conceptuel soit coconstruit avec les élèves afin de mieux cerner les liens entre les concepts énoncés par les élèves. C'est le cas, par exemple, du réseau obtenu à la suite de l'animation d'une discussion par l'enseignante alors que le stagiaire inscrivait les idées des élèves dans le logiciel Inspiration tout en projetant le tout à l'ensemble de la classe au moyen du canon (projecteur électronique). Ce réseau (Figure 15) a porté sur les différents types de force ainsi que sur les mouvements engendrés.

¹¹ Il faut préciser ici qu'une proposition de quelques sites Web a été partagée aux élèves. Ces derniers ont prolongé leurs recherches via l'insertion de mots-clés dans leur fureteur de recherche.

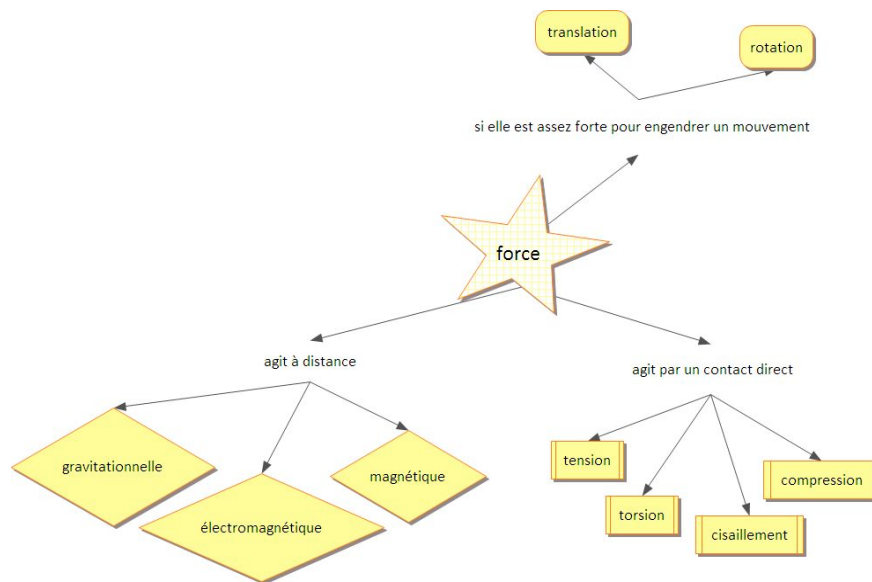


FIGURE 15. Types de force et mouvements engendrés

Les activités proposées aux élèves lors de cette première phase sont présentées à l'annexe C.

La deuxième phase de cette séquence a été l'occasion de faire des liens entre les concepts de force et d'énergie. L'enseignante et le stagiaire se sont mis d'accord pour affirmer que l'étude des forces dans la perspective du fonctionnement de systèmes technologiques ne pouvait être complète si on omettait d'aborder une conception aléatoire que conservent plusieurs élèves tout au long de leur cheminement secondaire et qui les amènent à croire qu'une force est une forme d'énergie. Comme l'étude s'intéressait à l'apprentissage du concept de force, cette dernière portion de la séquence d'enseignement est ici brièvement relatée. Au premier cours, il a été proposé comme questionnaire de départ de s'intéresser aux conditions à remplir pour qu'une force soit exercée. En grand groupe, les élèves étaient invités à soumettre leur hypothèse. Le stagiaire a alors pu s'exercer dans la reprise des réponses des élèves et le questionnaire efficace en vue de faire progresser le savoir. Les élèves ont très vite renvoyé leur analyse à l'étude de cas particuliers. Le stagiaire les a alors invités à partager les résultats de leur réflexion dans le KF. Les élèves ont alors opté pour la présentation de cas exposant différents types d'énergie et donnant lieu à l'exercice de certaines forces. Au cours des périodes suivantes, les élèves se sont intéressés à la possibilité de créer de l'énergie. Ce qui les a amenés à chercher les différentes sources d'énergie qu'ils ont classées par la suite comme étant des énergies renouvelables ou non renouvelables. Lors du troisième cours de cette séquence, le posttest portant plus explicitement sur les forces a été proposé aux élèves.

L'enseignante souhaitait que le posttest soit effectué plus d'une semaine après la fin de la première phase, et ce, afin de mieux mesurer la rétention des élèves par rapport aux notions étudiées. La construction d'une mini-éolienne, par équipe de quatre élèves, accompagnée d'un cahier des charges, a été l'activité de clôture de cette séquence. Lors de la dernière période, chaque équipe était invitée à partager sa démarche de conception en partant des difficultés ainsi que des stratégies utilisées pour réaliser leur éolienne.

De manière générale, l'ensemble de la séquence d'apprentissage a été caractérisé par un apprentissage s'appuyant majoritairement sur les réalisations ou les propos des élèves. L'enseignante et le stagiaire ont agi en tant que guides auprès des élèves en cherchant, par leurs questions, à remettre en question les conceptions initiales des élèves et à faire progresser une définition partagée des concepts-clés.

Les données

Les données utilisées à des fins d'analyse ont été les suivantes :

- Le pré- et posttests
- Les notes rédigées par les élèves dans le *Knowledge Forum*
- Les observations ethnographiques, incluant les narrations de l'enseignante-chercheure et les témoignages du stagiaire

Les résultats

L'engagement des élèves

Lors des trois séances d'observation, la grande majorité des élèves ont apparu être engagés dans la tâche d'apprentissage. Regroupés à des tables qui accueillaient trois-quatre élèves, ils travaillaient alors individuellement ou en échangeant avec un (ou des) pair(s) ou effectuaient une opération sous la guidance de l'enseignant ou du stagiaire. Ils effectuaient l'opération avec une relative célérité. De temps à autre, dans des petits groupes de six ou sept élèves, alors qu'ils expérimentaient divers sous-concepts de force, ils commentaient les propos des uns et des autres et posaient des questions suite aux manipulations qu'ils effectuaient.

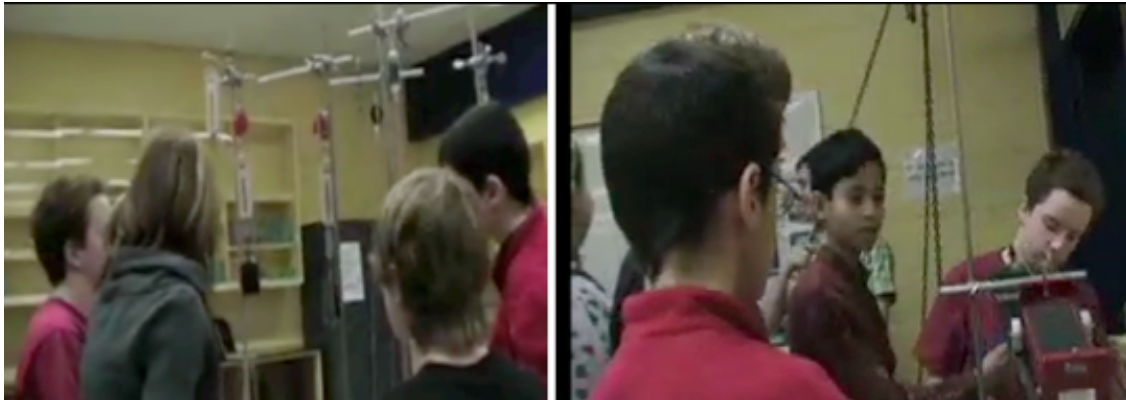


FIGURE 16. Les élèves PROTIC en cours d'activité

La compréhension des élèves

Un prétest (évaluation diagnostique) a été réalisé au premier cours. Ce dernier avait comme visée principale de dresser un portrait de l'état initial des connaissances des élèves. Des traces de la pensée de départ des élèves sont aussi disponibles grâce aux notes rédigées par les élèves dans le KF. La finalité de la première phase, soit la réalisation d'un schéma de principes d'un objet technique, a aussi été évaluée et a été rendue disponible dans le KF. Outre cela, il y a eu passation d'une évaluation sommative portant plus explicitement sur les forces lors du troisième cours de la dernière phase de la séquence. La conception de la mini-éolienne et le cahier des charges l'accompagnant ont aussi été évalués.

Résultats du prétest

Le prétest était constitué de cinq questions. Avant la passation de ce prétest, il faut rappeler qu'en septembre 2007, les élèves se sont familiarisés avec la confection d'un schéma de principes et d'un schéma de construction. Pour ce faire, l'étude de l'agrafeuse a été proposée aux élèves. On constate à travers les réponses des élèves que cette activité est demeurée présente en mémoire, car bien qu'ils aient de la difficulté à définir les différentes forces, ils réfèrent au fonctionnement de l'agrafeuse pour illustrer leur pensée à l'aide d'exemples.

Nous exposons succinctement les résultats recueillis pour chaque question :

Question #1 *Qu'est-ce qu'une force pour toi ?*

Pour cette question,

- 1 a été accordé si l'élève parlait d'une action capable d'engendrer un mouvement ou d'un principe physique à l'origine d'une accélération, d'une déformation, d'une modification de l'état de repos ou de mouvement d'un corps. Toute autre réponse similaire a été acceptée.
- 0,5 a été accordé si l'élève proposait une définition qui, bien qu'incomplète, comportait de bons éléments. Exemple : Une force est une action qui s'exerce dans une direction et un sens donné.
- 0 a été accordé si la définition était jugée incorrecte ou renvoyait à des exemples dans lesquels il reconnaissait la présence de forces. Exemples : Une force est un mouvement. Une force est un objet qui peut faire bouger. Une force est une énergie qui agit mécaniquement sur quelque chose.

Au prétest, 22 élèves ont participé. On constate que 40,9% de ces élèves n'ont pu définir le concept de force. Les autres, soit 59,1%, ont proposé une définition jugée partiellement satisfaisante. Cette catégorie a été associée aux définitions qui, bien que jugées incomplètes, comportaient de bons éléments. À titre d'exemple, un élève a mentionné : « une force est une action qui s'exerce dans une direction et un sens donné. » Lors de ce prétest, aucun élève n'a proposé une définition jugée complète et adéquate.

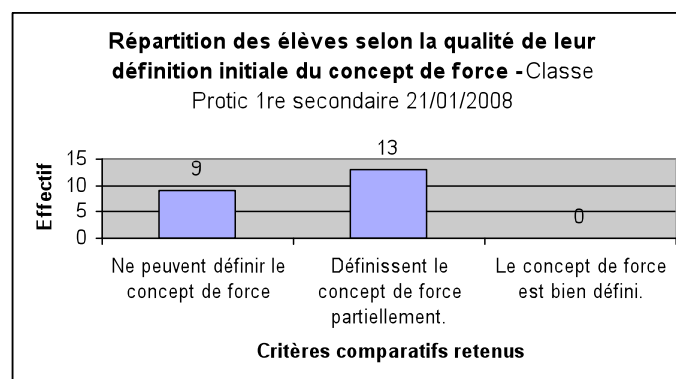


FIGURE 17. Répartition des élèves selon la qualité de leur définition initiale du concept de force

Question #2 *Lorsque tu cherches à expliquer le mot « force », quels sont les autres concepts-clés qui sont en relation avec lui selon toi ?*

Tableau 11 : Concepts-clés associés au concept de force

Parmi les concepts-clés on retrouve...	Effectif
Types de forces (gravitationnelle, compression, tension, pression) ou actions engendrées (déplacer, attirer, compresser, tourner, tirer, soulever)	13
Énergie	3
Mouvement	6
Muscle ou fort	4

Avant d'expliquer plus en détails les présents résultats (Tableau 11), il faut préciser ici que la même réponse donnée par un élève a pu être associée à deux catégories différentes. À titre d'exemple, une élève interrogée a répondu : « mouvements, pression, compression, magnétisme, tension et déplacement » comme étant les concepts-clés associés à celui de force. Puisque parmi les concepts proposés, on constate plusieurs types de force (pression, compression, tension), cette élève a été ajoutée à l'effectif de la première catégorie (+1). Mais, comme elle a aussi référé au mouvement, sa réponse a aussi été compilée dans la catégorie « mouvement ». Ainsi, parmi les concepts-clés proposés par les élèves, on constate que 59,1% des 22 élèves font référence aux types de force ou aux actions engendrées par une force qui est exercée sur un objet. 27,3% de ces mêmes élèves réfèrent au mouvement comme concept qui est en relation avec celui de force. 13,6% des élèves ont identifié le concept d'énergie comme étant en relation avec le concept de force.

Question #3 Donner trois exemples de situations pour lesquelles une ou des forces s'exercent.

Pour cette question, plus de 81% des élèves ont répondu correctement. Ces élèves se répartissent en deux sous-catégories. 18,2% des élèves ont proposé des exemples pertinents tout en étant capables de nommer correctement les forces en jeu dans chacun des exemples proposés. De plus, 63,6 % des élèves ont répondu correctement à la tâche en proposant des exemples adéquats. Ils n'ont cependant pas identifié les types de forces présentes dans chaque exemple.

Tableau 12 : Répartition des exemples de situations où s'exercent certaines forces

Situations	Effectif	Fréquence relative (%)
Les élèves donnent des exemples pertinents et identifient correctement la force en jeu.	4	18,2%
Les élèves présentent des situations pour lesquelles des forces s'exercent. Les actions engendrées sont identifiées. Les forces ne sont pas identifiées.	14	63,6%
Les élèves nomment uniquement des objets techniques. Leur fonctionnement est rendu possible grâce à l'application d'une force, mais l'action n'est pas nommée et les forces ne sont pas identifiées.	4	18,2%

Question #4 On distingue différents types de force. Définissez chacun d'elles.

- a) Force gravitationnelle
- b) Force de tension
- c) Force de compression
- d) Force de cisaillement
- e) Force magnétique

Les réponses données par les élèves ont été catégorisées pour chaque définition exigée. À titre d'exemple, pour la définition de la force gravitationnelle, l'élève qui mentionne que : « c'est la force qui est exercée par la terre qui attire les objets vers elle » a été jugée adéquate. Toutefois, les définitions qui renvoient au concept de gravité, ou encore aux objets qui retombent lorsqu'ils sont lancés dans les airs ont été jugées partiellement adéquates.

Tableau 13 : Répartition des définitions données par les élèves au concept de force gravitationnelle

Force gravitationnelle	Effectif	Fréquence relative
Définition adéquate.	3	13,6%
Définition partiellement adéquate.	13	59,1%
La définition est absente. Seul un exemple dans lequel la force gravitationnelle est présente est énoncé.	0	0%
Définition absente ou erronée.	6	27,3%

Tableau 14 : Répartition des définitions données par les élèves au concept de force de tension

Force de tension	Effectif	Fréquence relative (%)
Définition adéquate.	0	0%
La définition de la force de tension est partiellement correcte. L'élève fait état d'un changement (étirement) sur l'objet.	13	59,1%
La définition est absente. Seul un exemple dans lequel une force de tension est présente est énoncé.	4	18,2%
La définition est absente ou erronée.	4	18,2%

Tableau 15 : Répartition des définitions données par les élèves
au concept de force de compression

Force de compression	Effectif	Fréquence relative (%)
Définition adéquate.	0	0%
La définition est partiellement correcte. L'élève fait état d'un changement (aplatissement, écrasement, compression) sur l'objet.	11	50,0%
La définition est absente. Seul un exemple dans lequel une force de compression est présente est énoncé. La définition est absente ou erronée. Si elle est accompagnée d'un exemple celui-ci est erroné.	11 0	50,0% 0%

Tableau 16 : Répartition des définitions données par les élèves
au concept de force de cisaillement

Force de cisaillement	Effectif	Fréquence relative (%)
Définition adéquate.	0	0%
La définition de la force de cisaillement est partiellement correcte. L'élève fait état d'un changement (coupe) sur l'objet.	14	63,6%
La définition est absente. Seul un exemple (ciseau) dans lequel une force de cisaillement est présente est énoncé.	6	27,3%
La définition est absente ou erronée. Si elle est accompagnée d'un exemple celui-ci est erroné.	10	45,5%

Tableau 17 : Répartition des définitions données par les élèves
au concept de force magnétique

Force magnétique	Effectif	Fréquence relative (%)
Définition adéquate.	0	0%
La définition de la force magnétique est partiellement correcte. L'élève fait état de l'attraction d'objets métalliques envers un aimant ou de la répulsion entre deux aimants.	18	81,8%
La définition est absente. Seul un exemple (ciseau) dans lequel une force de cisaillement est présente est énoncé.	3	13,6%
La définition est absente.	1	4,5%

Le Tableau 18 permet de visualiser l'adéquation des réponses données par chaque sujet pour les cinq forces à définir. L'analyse des résultats du posttest permettra de vérifier s'il y a eu évolution des conceptions de chaque sujet.

Tableau 18 : Adéquation des réponses des élèves concernant les cinq forces

SUJETS	FORCE GRAVITATIONNELLE	FORCE DE TENSION	FORCE DE COMPRESSION	FORCE DE CISAILLEMENT	FORCE MAGNÉTIQUE
1	Définition de la force partiellement correcte.	Définition absente/erronée. Exemplification seulement, déf.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition absente/erronée.	Définition de la force partiellement correcte.
2	Définition adéquate.	absente.	absente.	Définition absente/erronée.	Définition de la force partiellement correcte.
3	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.
4	Définition absente/erronée.	Définition de la force partiellement correcte.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.
5	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.
6	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.
7	Définition absente/erronée.	Définition de la force partiellement correcte.	Exemplification seulement, déf. absente.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition de la force partiellement correcte.
8	Définition absente/erronée.	Définition absente/erronée.	Exemplification seulement, déf. absente.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition de la force partiellement correcte.
9	Définition de la force partiellement correcte.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition absente/erronée.	Définition absente.
10	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition absente/erronée.	Exemplification seulement, déf. absente.
11	Définition adéquate.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition de la force partiellement correcte.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition de la force partiellement correcte.
12	Définition adéquate.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition de la force partiellement correcte.
13	Définition de la force partiellement correcte.	Définition absente/erronée.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition absente/erronée.	Exemplification seulement, déf. absente.

14	Définition de la force partiellement correcte.	Exemplification seulement, déf. absente.	Exemplification seulement, déf. absente.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition de la force partiellement correcte.
15	Définition absente/erronée.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.
16	Définition absente/erronée.	Exemplification seulement, déf. absente.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.
17	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition absente/erronée.	Définition de la force partiellement correcte.
18	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition absente/erronée.	Définition de la force partiellement correcte.
19	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition absente/erronée.	Définition de la force partiellement correcte.
20	Définition absente/erronée.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition de la force partiellement correcte.
21	Définition de la force partiellement correcte.	Définition de la force partiellement correcte.	Exemplification seulement, déf. absente.	Définition absente/erronée.	Exemplification seulement, déf. absente.
22	Définition de la force partiellement correcte.	Définition absente/erronée.	Définition de la force partiellement correcte.	Définition absente/erronée.	Définition de la force partiellement correcte.

Résultats du posttest

Le posttest a été réalisé à la fin du mois de février 2008. Il était constitué de quatre situations. La première visait plus spécifiquement à évaluer l'évolution de la pensée des élèves dans la définition de différentes forces. La deuxième situation visait à évaluer si les élèves étaient capables d'identifier et de symboliser les forces, énergies et mouvements présents. Cette situation n'avait jamais été présentée aux élèves. Il s'agissait d'une dame mangeant une banane et qui pédale sur un monocycle. Le nombre de forces et de mouvements à identifier n'était pas indiqué à l'élève, ce dernier devait dégager le maximum d'informations de son analyse de l'illustration. Pour la troisième situation, différents types de collages étaient proposés aux élèves. En tenant compte des forces appliquées sur ces collages¹², l'élève devait justifier ceux qu'il considérait les plus efficaces. Comme pour l'illustration, les collages n'avaient jamais été présentés aux élèves. Pour cette situation, les symboles de forces étaient exposés à l'élève. Celui-ci devait donc simplement transposer le symbole à la force qui lui était associée. Comme ce fut le cas pour les précédentes situations, la quatrième et dernière situation n'avait jamais été présentée aux élèves. Cette situation a été introduite aux élèves par la présentation d'une séquence vidéo du pont de Tacoma lors de son effondrement en 1940. L'élève devait alors identifier les forces qui s'exercent sur les piliers du pont, son tablier ainsi que sur les câbles porteurs. Il devait aussi expliquer comment ces différentes forces s'exercent. Cette situation a été jugée d'une plus grande complexité puisque, durant la séquence proposée, les élèves ont étudié différents objets ou systèmes mécaniques de leur choix (malaxeur, catapulte du Moyen-Âge, etc.). L'enseignante et le stagiaire espéraient alors évaluer la capacité à transférer les savoirs acquis à un contexte nouveau.

Question #1 Qu'est-ce qu'une force pour toi ?

Pour cette question,

- 1 a été accordé si l'élève définissait la force comme étant une action capable d'engendrer un mouvement ou de toute autre formulation s'y rapprochant.
- 0,5 a été accordé si l'élève proposait une définition qui, bien qu'incomplète, comportait de bons éléments. Exemple : Une force est une action qui s'exerce dans une direction et un sens donné.

¹² Les forces devaient être identifiées par l'élève à partir des symboles illustrés. C'est dire que les forces n'étaient pas nommées explicitement sur les illustrations données.

- 0 a été accordé si la définition était jugée incorrecte ou difficilement compréhensible bien que certains concepts-clés (mouvement, force, énergie) pouvaient avoir été utilisés. Exemples : Une force est un mouvement. Une force est une énergie qui agit mécaniquement sur quelque chose.

Comme le montre la Figure 18 ci-dessous, alors qu'au prétest 40,9% des élèves n'avaient pu définir le concept de force adéquatement, 22,7% ne peuvent toujours pas le faire au posttest. La progression la plus marquée se situe au niveau de la capacité à définir de façon satisfaisante le concept de force : aucun élève n'avait pu le faire au prétest et 40,9 % en sont maintenant capables au posttest. Bien qu'aucune définition formelle n'ait été partagée avec le groupe, les concepts-clés de force, énergie, mouvement ont été utilisés et les liens entre eux sont tout à fait pertinents. Au posttest, 36,4% des élèves interrogés réussissent partiellement à définir le concept.

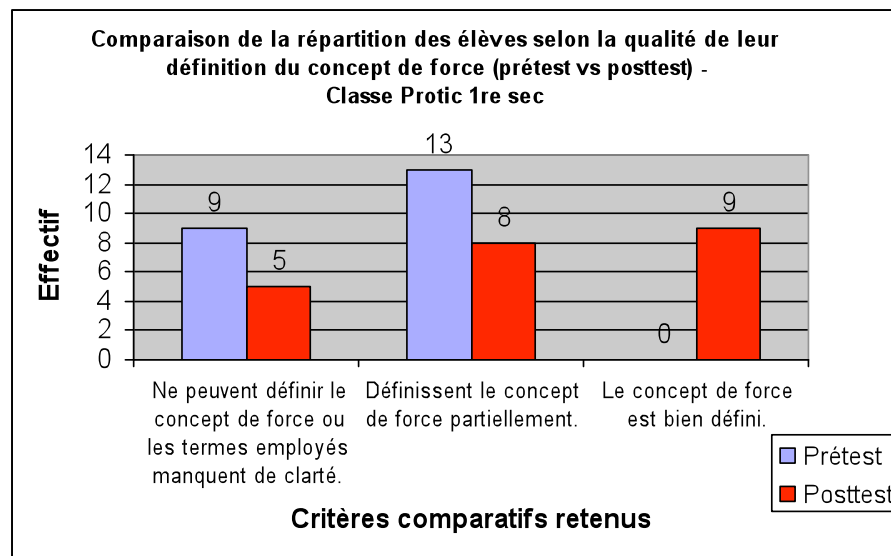


FIGURE 18. Comparaison de la répartition des élèves selon la qualité de leur définition du concept de force

Parmi les élèves qui ont fourni une définition jugée pertinente, soit 40,9% des élèves, nous avons dégagé les réponses d'élèves qui faisaient explicitement mention de la présence de forces dans diverses situations alors qu'aucun mouvement n'est visible. On constate donc que 77% des 40,9%, soit 7 des 9 élèves, ont fait état de cet aspect jugé fort complexe dans la définition du concept de force.

Si l'on s'attarde plus explicitement aux concepts-clés utilisés pour définir le concept de force, on remarque que 9 des 22 élèves interrogés (40,9%) ont clairement établi le lien entre le concept « d'énergie » et de « force », cette dernière étant produite par la

première. Trois élèves (13,6%) ont aussi fait mention des deux concepts tout en étant incapables de les mettre correctement en relation. À titre d'exemple, certains élèves précisait qu'une force est une énergie. Tous les autres élèves n'ont pas référé au concept d'énergie pour définir le concept de force. Il est à noter que cela n'était nullement un niveau d'exigence fixé par l'enseignante. Toutefois, comme le concept d'énergie s'est greffé à la 2^e phase de la séquence d'enseignement, il est intéressant de constater que les élèves ont pu faire progresser leur discours en l'incluant à leur définition du concept de force.

La Figure 19 présente la progression de chaque élève. Il est à noter que si une progression est observable, c'est qu'elle a été jugée « remarquable » au sens où il y a une progression au niveau du score (0 ; 0,5 ou 1) obtenu. De fait, bien que certains élèves aient proposé une définition qui soit meilleure que la première proposée, la définition peut demeurer incomplète et la progression de ces élèves ne sera donc pas relevée.

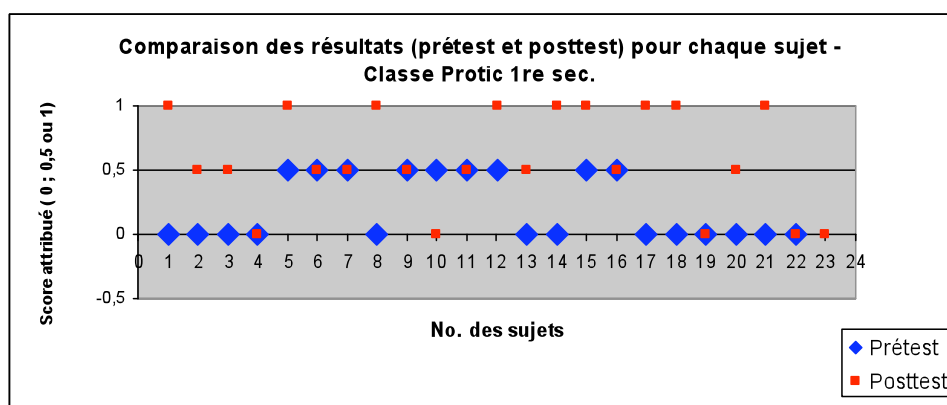


FIGURE 19. Comparaison des résultats par sujet

On constate que 12 des 22 élèves (54,5%) des élèves ont progressé dans la définition du concept de force. Parmi ces 54,5 %, 75%, soit 9 des 12 élèves, ont proposé une définition qui a été jugée adéquate. Un seul élève a proposé une définition au posttest qui a été jugée moins bonne que la première proposée. La seconde définition a d'ailleurs été jugée insatisfaisante dans sa globalité. Les cinq autres élèves ont proposé une définition au posttest dont la progression n'a pas été perceptible.

Question #2 *Identifiez et symbolisez les forces, mouvements et énergies présentes dans la situation illustrée.*



Les réponses des élèves (Figure 20) ont été catégorisées en tenant compte de leur capacité à identifier les forces, mouvements et formes d'énergies présentes dans la situation, mais aussi, sur leur capacité à symboliser adéquatement les forces et mouvements.

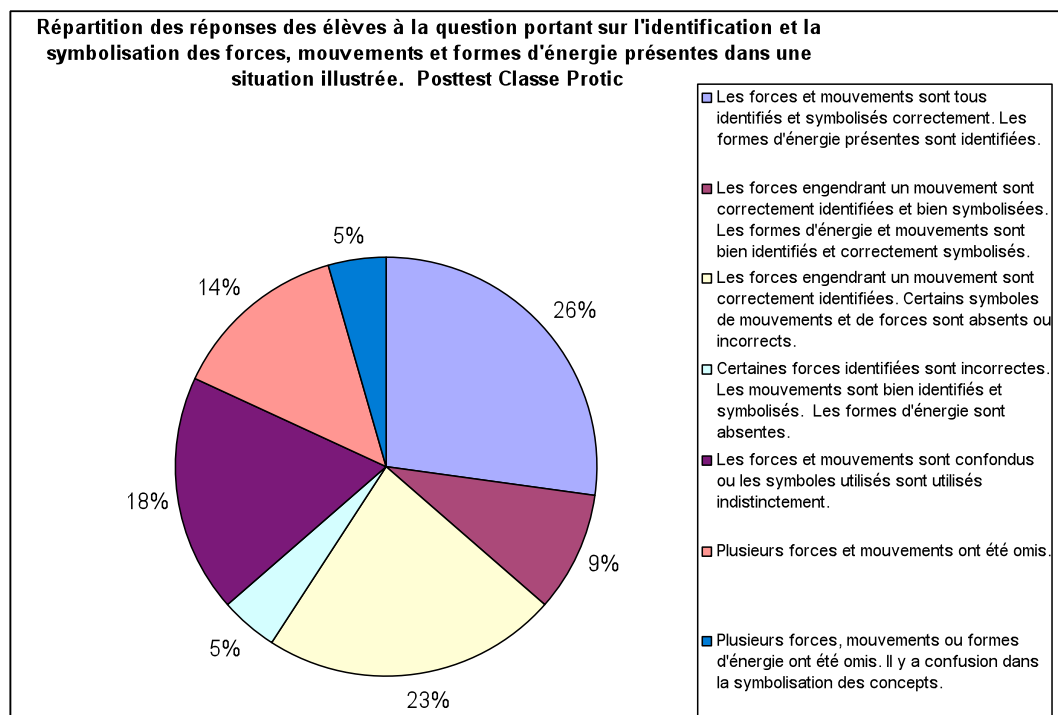


FIGURE 20. Réponses des élèves à une situation en appelant à leur capacité de symbolisation

Le problème de la question 2 avait un caractère de nouveauté pour les élèves puisque durant la séquence d'apprentissage ce sont plutôt des systèmes technologiques qui ont été étudiés par les élèves. Outre l'identification des forces, mouvements et formes d'énergie, une difficulté supplémentaire résidait dans la symbolisation adéquate des forces et mouvements. On constate que six élèves parmi les 22 ayant complété le questionnaire

ont réussi avec succès la tâche proposée. Cela représente 26% des élèves et correspond à la catégorie la plus élevée parmi les six identifiées. Deux élèves (9%) ont plutôt bien réussi la tâche. Ils ont identifié et symbolisé toutes les mouvements, mais n'ont pu mentionner que les forces engendrant un mouvement. Il faut comprendre ici que ces élèves ont omis les forces qui agissent dans la situation sans nécessairement entraîner un déplacement visible. Cinq autres élèves, représentant 23% de l'ensemble des participants, peuvent être associés à la catégorie précédente. Ils s'en distinguent cependant de par la difficulté qu'ils ont rencontrée dans la symbolisation adéquate des symboles : soit certains symboles étaient absents, soit ils étaient incorrects.

41% des élèves restants ont plutôt éprouvé des difficultés dans la réalisation de la tâche. Ces neuf élèves ont été répartis en trois catégories. Ainsi, un des élèves interrogés a correctement identifié les formes d'énergie et de mouvement présents. Il a aussi pu les symboliser. Toutefois, certaines forces ont été identifiées incorrectement. Quatre élèves, correspondant à 18,6% de l'ensemble des élèves, semblent confondre forces et mouvements lorsqu'il s'agit d'identifier leur présence pour certaines composantes de la situation proposée. Pour deux de ces quatre élèves, la difficulté semble plutôt s'expliquer par l'usage inapproprié des symboles propres aux forces. Ces élèves utilisent indistinctement les symboles de mouvement alors qu'ils identifient pourtant la présence de forces et vice-versa. Trois élèves, soit 13,6% de l'ensemble des élèves, ont omis d'identifier plusieurs forces et mouvements dans la situation proposée. Comme ce fut le cas pour tous les élèves des catégories précédentes, ces trois élèves ont correctement identifié les formes d'énergie présentes dans la situation. Un seul élève a éprouvé des difficultés dans l'identification des forces, mouvements, mais aussi dans les formes énergie présentes. On constate aussi une confusion dans l'usage des symboles propres aux forces et mouvements.

De manière générale, en recoupant les données récoltées, on remarque que 59% des élèves ont pu identifier correctement les formes d'énergie, les mouvements et les forces engendrant ces mouvements dans la présente situation. Cela ne signifie cependant pas que ces élèves peuvent symboliser correctement ces forces et ces mouvements.

Question #3 Identifiez les forces symbolisées dans les six collages et identifiez les collages jugés plus efficaces (qui risquent moins de se décoller)

Comme il a été mentionné plus tôt, cette situation n'avait jamais été proposée aux élèves auparavant et aucune discussion n'avait eu lieu en classe sur les types de collage. Le niveau de complexité de la situation n'est cependant pas très élevé puisque l'identification des forces est facilitée par la représentation des symboles des forces de tension (présentes dans les six collages proposés) et des forces de torsion (présentes dans les deux derniers collages). Le codage des résultats recueillis auprès des 22 participants a permis de dégager quatre grandes catégories. Plus de 54% des élèves ont réussi la tâche avec succès. Cela signifie qu'ils ont pu associer chaque symbole de force à celle auquel il renvoie et que les collages jugés efficaces ont été correctement identifiés. Trois élèves, correspondant à 13,6% des participants, ont correctement identifiés les forces symbolisées, mais ont éprouvé quelques difficultés à identifier convenablement les collages efficaces. Les 32% des élèves restants ont commis des erreurs au niveau de l'identification des forces symbolisées. De fait, 2 des 22 élèves, soit 9,1%, ont correctement identifié les collages efficaces, mais n'ont pu identifier correctement les forces des deux derniers collages proposés. Pour l'un des élèves, il y a eu confusion dans l'utilisation des termes. Ainsi, plutôt que de référer à la force de torsion, l'élève a plutôt parlé de force de rotation. Chose surprenante, ce même élève avait pourtant été capable d'identifier correctement cette même force lors de la réalisation de la tâche précédente. Finalement, 5 élèves correspondant à 22,7% des participants ont soit omis d'identifier certaines forces symbolisées ou s'ils l'ont fait, ils ont commis des erreurs. De même, ils n'ont pas réussi ou ont omis d'identifier les collages efficaces. Le Tableau 19 expose succinctement les résultats qui viennent d'être présentés.

Tableau 19 : Répartition des élèves selon la qualité de leur réponse à la question 3 du posttest

Code	Effectif	Fréquence relative (%)
Identification adéquate des forces de tension et de compression représentées par les symboles et des collages efficaces.	12	54,5%
Identification adéquate des forces de tension et de compression représentées par des symboles. Difficulté à identifier les collages efficaces.	3	13,6%
Identification incorrecte de certaines forces représentées par des symboles. Les collages sont bien identifiés.	2	9,1%
Certaines forces n'ont pas été identifiées ou sont incorrectes et les collages efficaces n'ont pas été identifiés correctement.	5	22,7%
TOTAL	22	100,0%

Question #4 Identifiez les forces agissant sur les piliers, tablier et câbles porteurs d'un pont. Expliquez vos propositions.

La complexité de cette situation réside dans l'analyse des forces agissant sur différentes composantes d'un pont alors qu'aucune discussion ou activité en classe n'a porté sur le sujet. Cette situation a été introduite par une vidéo qui a permis aux élèves de visualiser les forces qui s'exercent. Contrairement à ce qui avait été imaginé par l'enseignante et le stagiaire, la capacité des élèves à transférer leurs acquis relativement aux forces s'est généralement bien exercée. De fait, plus de 90% des élèves ont réussi à identifier toutes les forces interférant dans l'étude du pont ou la grande majorité d'entre elles. De ce 90%, 12 élèves, correspondant à 60% de l'ensemble des élèves, ont identifiés toutes les forces en jeu. De ces 12 élèves, 7 d'entre eux ont justifié correctement leur identification des forces par une explication jugée pertinente. Deux élèves, correspondant à 9% de l'ensemble des élèves, n'ont pu réussir la tâche. L'un d'entre eux a réussi à nommer uniquement quelques forces alors que le second n'a pas complété la tâche, laissant croire à une incompréhension.

Tableau 20 : Répartition des élèves selon la qualité de leur réponse à la question 4 du posttest

Code	Effectif	Fréquence relative (%)
Identification adéquate des forces et justification pertinente.	7	31,8%
Identification adéquate des forces. Justification absente, usage de symboles.	5	22,7%
Identification adéquate de la plupart des forces et justification pertinente.	8	36,4%
Identification de quelques forces. Certaines sont nommées avec des termes inadéquats (force de rotation, force de suspension...)	1	4,5%
Incapacité de nommer les forces.	1	4,5%
TOTAL	22	100,0%

Synthèse des résultats - Croisement des réponses pour l'ensemble du questionnaire

Afin d'obtenir une vision globale de la compréhension des élèves en regard des résultats obtenus pour le posttest, les réponses aux quatre situations ont été mises en relation. Un portrait de chaque élève a alors pu être dégagé. Ce portrait a été érigé en se basant sur quatre aspects que sont :

- La capacité à définir une force.
- La capacité à reconnaître les forces agissant dans une situation donnée. Celles-ci étant symbolisées ou non.
- La capacité à nommer adéquatement les forces.
- La capacité à symboliser les forces et les mouvements.

Tableau 21 : Répartition des élèves selon leur compréhension du concept de force en tenant compte des réponses données au posttest

Code	Effectif	Fréquence relative (%)
L'élève définit bien le concept de force. Dans diverses situations, l'élève reconnaît les forces en présence même lorsque celles-ci n'entraînent pas nécessairement un mouvement. L'élève utilise correctement les symboles relatifs aux mouvements et aux forces.	6	27,3%
L'élève définit bien le concept de force. Dans diverses situations, il reconnaît la majorité des forces en présence. Les forces identifiées doivent toutefois entraîner un mouvement pour être reconnues. L'élève utilise correctement les symboles relatifs aux forces et les reconnaît généralement bien.	3	13,6%
L'élève définit bien le concept de force. Dans diverses situations, il reconnaît la majorité des forces en présence, mais confond les termes qui leur sont associés (force de suspension, force de rotation). Il confond les symboles associés aux mouvements et aux forces.	1	4,5%
L'élève définit bien le concept de force. Toutefois, il éprouve de sérieuses difficultés à reconnaître les forces agissant dans diverses situations. Il symbolise avec difficulté les forces et les mouvements et les reconnaît difficilement lorsque symbolisés.	1	4,5%
L'élève définit plutôt bien le concept de force. Dans diverses situations, l'élève reconnaît les forces en présence. Les forces identifiées doivent toutefois entraîner un mouvement pour être reconnues. L'élève utilise correctement les symboles relatifs aux forces et les reconnaît bien.	3	13,6%
L'élève définit plutôt bien le concept de force. Dans diverses situations, l'élève reconnaît les forces en présence, mais confond les termes qui leur sont associés (force de suspension, force de rotation). Il confond les symboles associés aux mouvements et aux forces.	3	13,6%
L'élève définit plutôt bien le concept de force. L'élève éprouve encore des difficultés à reconnaître les forces agissant dans diverses situations. Il peut symboliser les forces et les mouvements. Il ne semble pas les reconnaître lorsque symbolisés ou il a omis de le faire.	1	4,5%
L'élève ne peut définir clairement ce qu'est une force. Dans diverses situations, il reconnaît la majorité des forces en présence. Il peut symboliser les forces et les mouvements.	3	13,6%
L'élève ne peut définir clairement ce qu'est une force. Dans diverses situations, il reconnaît certaines forces, mais éprouve parfois des difficultés à les nommer ou à les symboliser.	1	4,5%
TOTAL	22	100,0%

À partir de ce tableau, on constate que plus du quart des élèves (27,3%) semblent avoir une bonne compréhension du concept de force. Ils peuvent le définir adéquatement, reconnaître, identifier et symboliser correctement les forces agissant dans diverses situations. À cette proportion, on peut ajouter 13,6% d'élèves qui définissent tout aussi

bien le concept de force, mais qui ont omis dans certaines situations de nommer les forces qui agissent sans qu'elles n'entraînent nécessairement de mouvement. Quatre élèves, représentant 18% de l'ensemble des répondants, reconnaissent généralement bien les forces agissant dans diverses situations, mais c'est au niveau de la nomenclature de celles-ci qu'il faudra revoir le tout. Si l'on se rapporte aux résultats du prétest, on constate donc une progression de 40% dans la capacité des élèves à définir adéquatement le concept de force.

Un autre aspect intéressant qui se dégage des descriptifs exposé dans le Tableau 21 est la capacité d'un élève à définir convenablement ce qu'est une force sans toutefois pouvoir les reconnaître dans diverses situations. Comme aucune définition formelle n'a été partagée en classe, nous pourrions supposer que cet élève a cherché dans les volumes de la classe ou dans l'Internet une définition officielle de ce qu'est une force. Voilà bien une nouvelle preuve que l'apprentissage d'une connaissance déclarative n'est pas gage d'une solide compréhension.

À l'opposé, si on ne tient pas compte de la capacité à définir convenablement une force, plus de 68% des élèves peuvent reconnaître la majorité des forces interférant dans une situation donnée. Ce pourcentage passe à plus de 90% si on ajoute les élèves qui reconnaissent les forces présentes dans une situation, mais qui confondent les termes à utiliser pour les nommer. Lors du prétest, aucune illustration d'une situation exigeant de reconnaître les forces en présence ne fut proposée. On se limite donc à la 3^e question, pour laquelle on demandait aux élèves de donner des exemples de situations où des forces étaient en jeu, pour évaluer s'ils semblaient avoir les capacités de reconnaître (identifier) les différentes forces exercées. On constate alors que 81% des élèves se sont abstenus de nommer les forces qu'ils percevaient dans les situations qu'ils ont données.

Transfert des connaissances

En bref, à l'exception d'un pourcentage inférieur à 20%, les élèves ont réussi les trois situations nouvelles qui leur furent présentées. La construction d'éoliennes en est un exemple (Figure 21) :

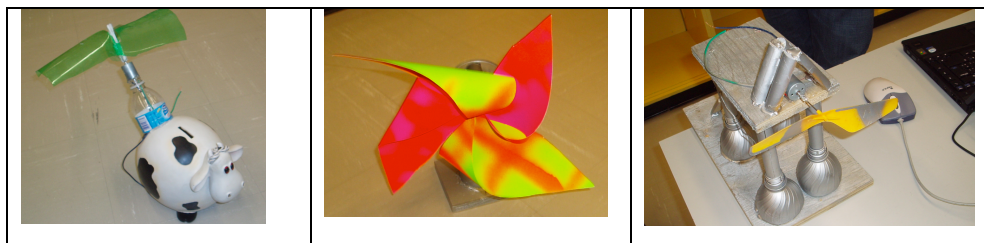


FIGURE 21 : Exemples de transfert de connaissances

Ceci est un signe manifeste du transfert de connaissances qu'ils ont effectué.

Évaluation de l'usage fait du Knowledge Forum

Bien que disposant de nombre de logiciels pour la réalisation de leurs apprentissages quotidiens, la majorité des élèves ont reconnu la pertinence de l'outil. Entre autres, ils faisaient spontanément appel aux propos déposés sur le KF lors de discussions de classe. Pour l'enseignante, l'outil a permis aux élèves de conserver et d'enrichir leurs conceptions en cours de démarche.

Chapitre 6 : Discussion des résultats

Les résultats obtenus fournissent un éclairage sur l'usage des nouvelles technologies en classe avec des élèves de la fin du primaire et du début du secondaire. Trois questions étaient à l'étude : 1) l'engagement de l'élève dans la situation d'apprentissage présentée, 2) la compréhension du concept présenté comme objet d'apprentissage et 3) le transfert des connaissances acquises à une nouvelle situation qui se présente. Ce chapitre discute des résultats obtenus dans les trois contextes.

Constat 1 : Des différences de contexte

Vu la nature de cette recherche exploratoire, le principe de variation, qui s'est imposé de lui-même, a permis de maximiser l'exploration de possibles en matière d'intégration des nouvelles technologies en salle de classe tout en n'impliquant qu'un nombre minimal de participants.

La comparaison de deux types d'utilisation de nouvelles technologies visant à aider les élèves à comprendre le concept de force du programme-cadre de Sciences se voulait spécifique afin que les différences inhérentes aux contextes puissent être quelque peu amenuisées. Rappelons d'abord celles-ci :

- Les contextes franco-ontarien et québécois diffèrent de par :
 - la définition même des niveaux élémentaire (Ontario) ou primaire (Québec) et secondaire : en Ontario, les élèves de 12-13 ans sont au primaire alors qu'au Québec ils sont habituellement en première secondaire;
 - les écoles primaires et les écoles secondaires diffèrent, entre autres, de par leur structure, le nombre des élèves inscrits ainsi que le mode d'organisation du travail des enseignants. Rappelons que la classe franco-ontarienne était de niveau primaire mais évoluait dans un environnement d'école secondaire – l'enseignant s'occupait des maths et des sciences tout comme dans le cas de la classe secondaire PROTIC où l'enseignante s'occupait aussi des maths et des sciences;
 - le contenu des programmes scolaires : en Ontario, l'étude du concept de force est prescrit; alors qu'au Québec, en lien avec les savoirs

essentiels, des concepts sont proposés (par ex., tension, torsion, pousser, tirer).

- L'intégration des nouvelles technologies suit des logiques différentes à l'intérieur des deux provinces :
 - en ce qui concerne l'interaction élève-ordinateur, les dynamiques d'intégration sont propres aux structures et acteurs impliqués. Ainsi, l'interaction élève-ordinateur est-elle davantage favorisée en Ontario par l'existence même du SAMFO et la disponibilité de modules d'enseignement pour les élèves du primaire et du secondaire alors qu'au Québec, il n'y a pas d'organisme équivalent au SAMFO. Par contre, le programme PROTIC n'a pas d'équivalent en Ontario en ce qui concerne la participation des parents (achat de l'ordinateur portable), la condition d'accès élevé des élèves à l'ordinateur (un pour un) et à l'accès à Internet ainsi que sa pérennité (création en 1997);
 - en ce qui concerne l'interaction élève-élève via Internet, les dynamiques de développement sont aussi propres aux structures et acteurs impliqués. Ainsi, l'outil de télécollaboration *Knowledge Forum* est développé en Ontario par OISE/UT alors que l'intégration coordonnée de cet outil dans nombre d'écoles ou commissions scolaires (anglophones ou francophones) n'existe pas. Au Québec, l'initiative ÉÉR a retenu cet outil de télécollaboration (en support au discours écrit des classes participantes) comme l'un des deux outils de base afin d'effectuer la mise en réseau de petites écoles de milieu rural vu sa mise à l'épreuve dans nombre de recherches réalisées en contexte scolaire, y compris à PROTIC (CMEC, 2005), et en dépit du fait de sa complexité apparente pour nombre d'acteurs qui œuvrent à l'intégration des nouvelles technologies en salle de classe.
- Les classes participantes diffèrent, vu les champs d'action des partenaires de cette recherche,
 - du fait de leur mode régulier de fonctionnement ou d'un mode particulier (programme PROTIC, initiative ÉÉR);
 - du fait que les élèves de ces classes sont du même âge (classe de l'Ontario, classe PROTIC) ou multiâges, voire multicycles (ÉÉR).

- Les enseignantes et enseignants qui ont participé à cette recherche diffèrent de par leur :
 - sexe,
 - scolarité,
 - années d'expérience dans l'enseignement,
 - années d'intégration des TIC dans leurs pratiques pédagogiques.
- Les interactions entre les enseignants et les chercheurs ont été différentes vu que :
 - du côté franco-ontarien, la chercheuse est allée en classe pendant toute la durée de l'expérimentation;
 - du côté québécois, la chercheuse assignée aux classes ÉÉR a fonctionné entièrement à distance (logiciel de visio/vidéoconférence) alors que la chercheuse assignée à la classe PROTIC a été présente en classe à trois reprises et à deux de ces occasions, c'est le stagiaire qui était en action plutôt que l'enseignante en titre.

Constat 2 : Des choix judicieux pour réussir l'intégration des nouvelles technologies en salle de classe

Les intervenants hors de la classe et les enseignantes et enseignants qui, eux, agissaient du lieu de leur classe ont pris des décisions et posé des actions qui se sont avérées efficaces puisqu'il y a adéquation entre les intentions pédagogiques des praticiens et les résultats obtenus.

Les intervenants hors de la classe ont soit produit le matériel (module sur les forces, SAMFO) ou choisi les outils de télécollaboration (*Knowledge Forum* et *iVisit*) et, dans le cas d'ÉÉR, fourni une aide d'appoint à distance.

La compétence des enseignantes et des enseignants qui ont participé à cette recherche exploratoire est à prendre en considération. Les chercheuses tiennent à souligner leur réputation positive dans leurs milieux respectifs. Ils ont démontré leur savoir, leur savoir-faire et leur savoir-être tout au long de la démarche de recherche. C'est donc dire que les enseignantes et enseignants qui agissaient du lieu de leur classe ont pris des décisions et posé des actions qui se sont avérées efficaces puisque, dans leur ensemble, les élèves se sont montrés engagés dans leurs apprentissages et qu'ils ont progressé dans leur compréhension du concept de force.

La question de l'engagement de l'élève dans la situation d'apprentissage

Ici il importe de discuter du degré de nouveauté des situations d'apprentissage présentées aux élèves puisque l'on sait qu'une situation nouvelle en contexte de recherche a pour effet d'augmenter la motivation et l'engagement de l'élève (effet Hawthorne, voir Corbett & Willms, 2002). Pour les élèves franco-ontariens, la situation d'apprentissage était entièrement nouvelle et leur utilisation de l'ordinateur en salle de classe avait été rare. Pour les élèves québécois, ceux de PROTIC en étaient à leurs premiers usages du *Knowledge Forum* mais ils utilisaient leur ordinateur portable en classe depuis cinq mois et ceux d'ÉÉR avaient quelques mois d'expérience avec les outils de télécollaboration. C'est dire que l'effet de nouveauté s'appliquait pour les élèves franco-ontariens mais, dans une moindre mesure, dans le cas des élèves québécois. Toutefois, il est bon de garder à l'esprit que les nouvelles technologies d'aujourd'hui « vieilliront » à leur tour au fur et à mesure que leur intégration deviendra pratique courante en salle de classe et qu'il importera de continuer de porter attention à la motivation de l'élève et à son engagement. À noter que ceux-ci sont de plus en plus vus par les chercheurs en sciences cognitives (Seidel & Shavelson, 2007) comme des produits (ou résultats) de la situation d'apprentissage et non plus seulement comme des processus.

La question de la compréhension du concept présenté comme objet d'apprentissage

La présente recherche exploratoire ne puisse répondre, de par sa nature, à la question à savoir dans quelle mesure les technologies utilisées ont aidé (entendre leur apport spécifique) les élèves à comprendre le concept de force ainsi que les sous-concepts qui y étaient associés. Cependant, les résultats positifs obtenus à ce chapitre permettent de reconnaître leur importance dans l'apprentissage des jeunes. Ainsi, dans des contextes différents, la bonne majorité des élèves franco-ontariens et québécois ont clairement réussi à démontrer leur compréhension.

Pour faire comprendre aux élèves des concepts d'une complexité certaine comme le concept de force, l'intégration du module SAMFO s'est avérée fort appréciée par les élèves qui lui ont tous reconnu son importance dans leur apprentissage. Quant aux technologies utilisées au Québec, l'outil de vidéoconférence, qui a supporté l'intervention juste à temps d'intervenants hors de la classe (niveau primaire), a rendu possible les

mis en situation présentées aux élèves alors qu'auparavant, les enseignants des petites écoles éloignées n'abordaient tout simplement pas ce concept au primaire puisque celui-ci est abordé au premier cycle du secondaire. Le *Knowledge Forum*, qui permettait de suivre l'évolution du discours écrit des élèves des classes concernées lors de leurs échanges sur le concept en question, s'est avéré tout autant sinon plus indispensable dans les classes ÉÉR puisque c'est lui qui a supporté l'interaction entre les élèves. Bien que n'étant pas aussi indispensable dans la classe PROTIC, la majorité des élèves ont reconnu la pertinence du KF pour la possibilité qu'il permet de conserver, d'enrichir les traces de l'évolution de leurs conceptions relatives au concept de force.

Toutefois, les résultats ci-dessus sont limités et ne peuvent être généralisés. Les résultats rapportés suggèrent d'entreprendre une plus vaste étude, qui se poursuivrait à moyen terme afin de mesurer la durabilité de l'apprentissage et qui comprendrait, afin de diminuer l'effet de l'enseignant, un plus grand nombre d'enseignants ainsi que des classes ayant des niveaux d'expérience différents (expérience de plus de deux ans, première expérience, aucune expérience) dans l'utilisation de ces mêmes nouvelles technologies afin de contrer l'effet Hawthorne, soit l'amélioration des résultats dus à l'expérimentation même.

La question du transfert des connaissances acquises à une nouvelle situation

Faire comprendre aux élèves des concepts d'une certaine complexité à un certain degré de profondeur est le moyen le plus reconnu d'assurer le transfert de leurs connaissances à une nouvelle situation. Ici encore, les résultats sont positifs. Ainsi, tant les constructions que les rapports des élèves de la classe ayant utilisé le module SAMFO ont montré que les élèves étaient capables de transférer leurs connaissances à une situation nouvelle. Ce résultat étonne du fait que le problème de transfert a été repéré dans les études portant sur des ressources similaires (Bransford, Brown, & Cocking, 1999). L'attitude d'ouverture de l'enseignant ainsi que sa capacité d'intégrer le module dans sa planification, en synergie avec d'autres activités, ont possiblement joué un rôle important. À l'opposé, dans les classes ÉÉR comme dans la classe PROTIC, une situation d'apprentissage aussi structurée que celle offerte par le module SAMFO n'existait pas et pourtant la grande majorité des élèves ont réussi lors d'activités généralement qualifiées de situations de transfert (par ex., tâche d'évaluation complexe ou situations nouvelles). Ainsi, la grande

majorité des élèves PROTIC ont réussi les trois situations nouvelles qui leur étaient présentées.

Constat 3 : Des investissements différents

Différentes TIC présentent différentes affordances qu'il s'agit de prendre en considération aux niveaux de la pédagogie, de l'administration et de la gouverne

Dans le cas de l'usage fait des nouvelles technologies en contexte franco-ontarien, des investissements importants sont requis en amont de la situation éducative créée par l'enseignant en salle de classe puisque le module avait été réalisée par des experts de contenu et de design pédagogique. De tels modules doivent être adaptés à un programme scolaire donné et celui-ci peut être modifié. Par exemple, le concept de force commence à être abordé dans le curriculum ontarien dès la troisième année. Nonobstant la qualité du matériel produit afin que l'élève puisse directement interagir avec un contenu donné (interaction personne-machine), le rôle de l'enseignant demeure important car il lui faut guider et encourager le travail de l'élève à l'ordinateur. Comme les données du chapitre 4 le montrent, l'enseignant avait inséré le module dans une planification bien pensée et qui incluait, par exemple, des activités de construction qui interpellaient les connaissances de l'élève acquises lors de son interaction avec le module.

Dans le cas de l'usage fait des nouvelles technologies dans l'initiative québécoise École éloignée en réseau, il s'agissait d'outils qui requièrent un investissement « à la carte » : planification et coordination entre enseignants, intervention d'une équipe d'experts agissant en temps réel auprès des enseignants, voire des élèves, et, surtout, une pédagogie inspirée d'approches axées sur la compréhension en profondeur (Wiske, 1998; Bereiter, 2002). Cet investissement « à la carte » nécessite de la formation continue d'enseignants ainsi qu'une organisation en réseau fonctionnelle sur une base régulière : large bande passante, disponibilité de l'équipement en salle de classe et disponibilité d'une équipe d'intervenants oeuvrant en mode délocalisé et au moyen d'outils de télécollaboration performants. Cela nécessite un partenariat entre des acteurs et instances qui n'est pas coutume. Dans le cas de l'usage fait des nouvelles technologies au programme PROTIC, ce fonctionnement s'est développé au fil du temps et des décisions ont été prises tant au niveau de la commission scolaire que de l'école. Ici encore, la formation des enseignants a été importante (formation continue et/ou initiale).

Conclusions et prospective

La double visée de cette comparaison de deux types d'approches utilisant les nouvelles technologies visant à aider les élèves à comprendre des notions abstraites du programme-cadre de Sciences était la suivante :

1. Établir une collaboration productive entre le Québec et l'Ontario concernant une exploration de l'apport des nouvelles technologies de l'information et de la communication à l'enseignement et à l'apprentissage en classe primaire ou secondaire; et
2. Comparer deux types d'usage de nouvelles technologies visant à aider les élèves à comprendre le concept de force du programme-cadre de Sciences.

La comparaison a été établie selon les trois questions suivantes posées au départ :

- La question de l'engagement de l'élève dans la situation d'apprentissage présentée
- La question de la compréhension du concept présenté comme objet d'apprentissage
- La question du transfert des connaissances acquises à une nouvelle situation qui se présente

Aux trois questions posées nous avons obtenu des résultats favorables, ce qui suggère que les choix faits par les instances concernées sont solides.

Toutefois, comme la culture des jeunes ainsi que l'intégration de nouvelles technologies en salle de classe connaissent un temps d'effervescence sans précédent, il conviendrait que les instances décisionnelles des deux gouvernements concernés s'engagent dans un programme de recherche conjoint afin d'en arriver à déterminer progressivement la mesure et les conditions dans lesquelles différentes nouvelles technologies aident ou n'aident pas. Leur nombre étant susceptible de rendre un tel programme onéreux, il conviendrait d'abord de déterminer les technologies candidates. À cet effet, la présente recherche exploratoire nous paraît d'un apport certain.

Références

- Barton, R. (1997). Computer-aided graphing: a comparative study. *Journal of Information Technology for Teacher Education*, 6(1), 59-72.
- Baxter, J. & Preece, P. (2000). A comparison of dome and computer planetaria in the teaching of astronomy. *Research in Science and Technological Education*, 18(1), 63–69.
- Becta. (2007). *The impact of ICT in schools – a landscape review*. Retrieved January 2008, from <http://publications.becta.org.uk/display.cfm?resID=28221&page=1835>
- Bell, P. (1997). *Using argument representations to make thinking visible for individuals and groups*. Paper presented in *Proceedings of CSCL'97: The Second International Conference on Computer Support for Collaborative Learning*, Toronto.
- Boyd, S. (2002). *Literature review for the evaluation of the digital opportunities projects*. Wellington: New Zealand Council for Educational Research.
- Bransford, J., Brown, A., & Cocking, R. (1999). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Washington: National Academy Press.
- Brown, J. S., & Adler, R. P. (2008). Minds on Fire: Open Education, the Long Tail, and Learning 2.0. *EDUCAUSE Review*, 43(1), 16–32.
- Bruer, J. T. (1993). *Schools for thought: A science of learning in the classroom*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Chi, M. (1993). *Barriers to conceptual change in learning science concepts: A theoretical conjecture*. In *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Misconceptions Trust.
- CMEC. (2005). Étude de l'OCDE. L'amélioration de l'apprentissage par une évaluation formative et l'enrichissement du répertoire des enseignants. Toronto : Conseil des ministres de l'Éducation (Canada).
- Corbett, B. A., & J. D. Willms (2002). Canadian students' access to and use of information and communication technology. Paper presented at the 2002 Pan-Canadian Education Research Agenda Symposium "Information Technology and Learning", Montreal. Retrieved January 2008, from http://www.cmec.ca/stats/pcera/RSEvents02/BCorbett_OEN.pdf
- Cox, M., Abbott, C., Webb, M., Blakeley, B, Beauchamp, T., & Rhodes, V. (2003). *ICT and attainment: A review of the research literature, ICT in Schools*. *Research and Evaluation Series* No.17. Coventry/London: Becta/DfES. Retrieved January 2008, from http://www.becta.org.uk/page_documents/research/ict_attainment_summary.pdf
- Cuban, L. (2001). *Oversold and underused: Computers in schools 1980–2000*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- de Jong, T., Martin, E., Zamarro, J., Esquembre, F., Swaak, J., & van Joolingen, W. (1999). The integration of computer simulation and learning support: An example from the physics domain of collisions. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(5), 597-615.
- de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of educational research*, 68(2), 179-201.
- De Simone, C., Schmid, R. F., & McEwen, L. A. (2001). Supporting the learning process with collaborative concept mapping using computer-based communication tools and processes. *Educational Research and Evaluation*, 7, 263-283.
- Duncan, R. (2007). The role of domain-specific knowledge in generative reasoning about complicated multileveled phenomena. *Cognition and Instruction*, 25(4), 271-336.
- Florida, R. (2005). The World Is Spiky. *Atlantic Monthly*, October 2005, 48-51.
<http://creativeclass.com/rfcgdb/articles/other-2005-The%20World%20is%20Spiky.pdf>
- Friedman, T. L. (2005). *The world is flat: A brief history of the twenty-first century*. New York: Farrar, Straus, and Giroux.
- Geier, R., Blumenfeld, P., Marx, R., Krajcik, J., Fishman, B., & Soloway, E. (2004). Standardized test outcomes of urban students participating in standards and project based science curricula. In *Proceedings of the 6th international Conference on Learning Sciences* (Santa Monica, California, June 22 - 26, 2004). (pp. 206-213). Los Angeles: International Society of the Learning Sciences.
- Hunt, E., & Minstrell, J. (1994). A cognitive approach to the teaching of physics. In K. McGilly (Ed.), *Classroom lessons: integrating cognitive theory and classroom practice* (pp. 51-74). Cambridge, MA: MIT Press.
- Jimoyiannis, A. & Komis, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: A case study on students' understanding of trajectory motion, *Computers & Education*, 36(2), 183-204.
- Jonassen, D. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 48(4), 63-85.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational psychologist*, 41(2), 75-86.
- Klahr, D., Triona, L., & Williams, C. (2007). Hands on what? The relative effectiveness of physical versus virtual materials in an engineering design project by middle school children. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(1), 183-203.
- Kulik, J. A. (1994). Meta-analytic studies of findings on computer-based instruction. In E. Baker and H. O'Neil, (Eds.), *Technology assessment in education and training* (pp. 9-33). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Kulik, J. A. (2003). Effects of using instructional technology in elementary and secondary schools: What controlled evaluation studies say. Arlington, Virginia: SRI International. Retrieved January 2008, from http://www.sri.com/policy/csted/reports/sandt/it/Kulik_ITinK-12_Main_Report.pdf
- Lamon, M., Reeve, R., & Scardamalia, M. (2001, April). Mapping Learning and the Growth of Knowledge in a Knowledge Building Community. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Washington. Retrieved January 2008, from <http://ikit.org/lamon/mapping.html>
- Lamon, M., Reeve, R. & Caswell, B. (1999, April). Finding Theory in Practice: Collaborative Networks for Professional Learning. Paper presented at the *Annual Meeting of the American Educational Research Association*, Montreal.
- Linn, M. (2004). Using ICT to teach and learn science. In R. Holliman and E. Scanlon (Eds.) *Mediating science learning through information and communications technology* (pp. 9-26). London: RoutledgeFalmer.
- Linn, R. L. (2000). Assessments and accountability. *Educational Researcher*, 29(2), 4-16.
- Mokros, J. R., & Tinker, R. F. (1987). The impact of microcomputer-based labs on children's ability to interpret graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 369-383.
- Monaghan, J. M. & Clement, J. (1999). Use of a computer simulation to develop mental simulations for learning relative motion concepts. *International Journal of Science Education*, 21(9), 921-944.
- Nachmias, R. & Linn, M. C. (1987) Evaluations of Science Laboratory Data: The Role of Computer-Presented Information. *J. of Res. in Science Teaching* 24(5) 491-506.
- Nakhleh, M. (1994). A review of microcomputer-based labs: How have they affected science learning? *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 13(4), 368-81.
- Nesbit, J. & Adesope, O. (2006). Learning with concept and knowledge maps: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 76(3), 413-448.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. New York: Cambridge University Press.
- OCDE. (2005). *Are students ready for a technology-rich world? What PISA studies tell us*. Paris: OCDE.
- Pellegrino, J., Chudowsky, N., & Glaser R. (Eds.). (2001). *Knowing what students know: The science and design of educational assessment*. Report of the Committee on the Foundations of Assessment, Commission on Behavioral and Social Sciences and Education, National Research Council. Washington, DC: National Academy Press.
- Perkins, D., Schwartz, J. L., West, M., & Wiske, M. S. (Eds.). (1995). *Software goes to school: Teaching for understanding with new technologies*. New York: Oxford

University.

- Russell, D. W., Lucas, K. B., & McRobbie, C. J. (2003). The role of the microcomputer-based laboratory display in supporting the construction of new understandings in kinematics. *Research in Science Education*, 33, 217-243.
- Sawyer, K. (Ed.). (2005). *The Cambridge handbook of the learning sciences*. New York, NJ: Cambridge University Press.
- Schwab, J. J. (1973). The practical 3: Translation into curriculum. *Elementary School Journal*, August, 501-522.
- Seidel, T., & Shavelson, R. J. (2007). Teaching effectiveness research in the past decade: the role of theory and research design in disentangling meta-analysis results. *Review of Educational Research*, 77(4), 454-499.
- Selwyn, N. (2003). Doing IT for the kids: re-examining children, computers and the information society' *Media, Culture & Society*, 25(3), 351-378.
- Selwyn, N. (2004). Reconsidering political and popular understandings of the "digital divide", *New Media & Society*, 6(3), 241-262.
- Singer, J., Krajcik, J., & Marx, R. (2000). The design and evaluation of classroom supports for seamless integration of a dynamic modeling tool. In B. Fishman and S. O'Connor-Divelbiss (Eds.), *Proceedings of the International Conference of Learning Science* (pp. 62-69). Lawrence Erlbaum Associates, NJ.
- Stone-Wiske, M. S. (1998). *Teaching for understanding: Linking research with practice*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Tinker, R. F., & Krajcik, J. S. (2001). (Eds.). *Portable technologies: science learning in context*. New York: Kluwer Academic.
- Trucano, M. (2005). *Knowledge Maps: ICT in Education*. Washington, DC: Infodev/World Bank. Retrieved January 2008, from <http://www.infodev.org/en/Publication.8.html>
- van Boxtel, C., van der Linden, J., Roelofs, E., & Erkens, G. (2002). Collaborative concept mapping: Provoking and supporting meaningful discourse. *Theory Into Practice*, 41(1), 40-46.
- Von Pfuhl, R. (1980). Notions of physical laws in childhood. *Science Education*, 64(1), 59-84.
- Vygotsky, L. (1986). *Thought and Language*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wegerif, R., Mercer, N., Dawes, L. (1999). From social interaction to individual reasoning: an empirical investigation of a possible socio-cultural model of cognitive development. *Learning and Instruction*, 9(6), 493-516.
- Weller, H. G. (1995). Diagnosing and altering three aristotelian alternative conceptions in

- dynamics: Microcomputer simulations of scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(3), 271-90.
- Weller, H. G. (1996). Assessing the impact of computer-based learning in science. *Journal of Research on Computing in Education*, 28(4), 461-85.
- White, B. Y. (1993). ThinkerTools: Causal models, conceptual change, and science education. *Cognition and Instruction*, 10(1), 1-100.
- White, B., & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3-118.
- Wiske, M. S. (Ed.). (1998). *Teaching for understanding: Linking research with practice*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Wiske, M. S., Rennebohm Franz, K., & Breit, L. (2004). *Teaching for understanding with technology*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Zucker, A., Tinker, R., Staudt, C., Mansfield, A., & Metcalf, S. (2007). Increasing science learning in grades 3-8 using computers and probes: Findings from the TEEMSS Project. *Proceedings of the NARST 2007 Annual Meeting*, New Orleans.

ANNEXES

ANNEXE A

Calendrier du projet de recherche

Activités de recherche auprès de l'enseignant et des élèves

- Octobre 2007 :
 - Choix d'un enseignant ou d'une enseignante (de septième année) qui enseigne entre autres les sciences et qui applique le modèle ontarien. Choix équivalent côté québécois.
- Novembre-décembre 2007 :
 - Signature du formulaire de consentement par les parents (Annexe B).
 - Planification de la séquence des activités d'apprentissage et de recherche, incluant une rencontre de la chercheuse avec l'enseignant (pour aligner les instruments de cueillette de données avec la pratique de l'enseignant).
 - Cueillette de données (pré-expérience) : conceptions spontanées des élèves concernant le concept de force au démarrage de l'expérience.
 - Expérience des élèves avec la ou les module(s) et cueillette de données en cours d'expérience auprès des élèves (calendrier à ajuster entre l'enseignant et le chercheur)
 - Concernant la question de l'engagement de l'élève dans la situation d'apprentissage présentée
 - Observation du degré d'engagement au moyen des trois instruments suivants:
 - Rapport d'activité de l'élève (nature de l'activité réalisée, temps où l'activité a démarré et où elle s'est terminée, impression sur l'activité, jugement de son importance, suggestions pour une suite à l'activité en vue d'une meilleure compréhension, suggestions pour améliorer l'activité). Un tel rapport permet d'observer si l'apprenant reste centré sur le problème ou sur la tâche, s'il va au-delà des attentes énoncées en regard de l'activité d'apprentissage dans laquelle il est engagé.
 - Fiche d'observation :
 - Description de l'interaction individuelle, soit l'interaction élève-machine
 - Description de l'interaction en groupe élève-élève(s)
 - Description des éléments imprévus
 - Description de l'activité hors tâche
 - Questionnaire d'évaluation de l'activité (mobilisation de l'élève à réaliser la tâche).
 - Concernant la question de la compréhension du concept présenté comme objet d'apprentissage (à la fin de l'expérience)

- Tâche d'évaluation de la compréhension du concept
- Concernant la question du transfert des connaissances acquises à une nouvelle situation qui se présente (dernière activité)
 - Instrument d'évaluation du transfert de connaissances : une situation authentique présentée à l'apprenant qui doit utiliser sa compréhension du concept de force afin de résoudre le problème présenté.

Activités de recherche auprès de l'enseignant seulement

- Cueillette du plan de leçon, incluant exercices ou devoirs demandés aux élèves ainsi que les ressources utilisées (par ex., vidéo, livres, etc....)
 - Conduite d'une entrevue ou administration d'un questionnaire (compréhension de la notion, compréhension de la démarche de l'élève, compréhension des acquis des élèves, compréhension des affordances et des limites de la situation d'apprentissage créée (aspects pédagogique et technologique).
 - Les questions posées à l'enseignant-e par voie de questionnaire furent essentiellement les mêmes que celles de l'entrevue:
 - Est-ce qu'à l'aide des outils du projet l'élève est arrivé à bien comprendre les concepts visés?
 - Développez votre réponse en mettant en évidence les étapes de la démarche qui se sont avérées importantes.
 - Après cette expérience, quelles sont les possibilités et les limites de ces outils?
- Note - L'enseignant avait à référer aux résultats scolaires des élèves en livrant ses réflexions concernant l'apprentissage et l'évaluation des concepts pertinents (examen interne à l'école, à la CS ou du Ministère)
- Remise du rapport d'étape (31 janvier 2008)
 - Version préliminaire du rapport final de la phase exploratoire remise le 31 mai 2008 pour discussion en conférence téléphonique
 - Version quasi finale du rapport remise le 8 juin 2008-06-08 pour discussion en conférence téléphonique
 - Remise du rapport final de la phase exploratoire, d'un sommaire exécutif de deux pages ainsi que d'un article pour Éducation Canada (30 novembre 2008). Voir CCL - AERA –CEA
 - Sessions de transfert de connaissances (enseignants, preneurs de décisions, automne 2008)

ANNEXE B

Formulaires de consentement

UN PROJET IMPORTANT
CONSENTEMENT D'UNE PERSONNE MINEURE
À ÊTRE SIGNÉ PAR LE PARENT OU LE TITULAIRE DE L'AUTORITÉ PARENTALE

Saviez-vous que l'école de votre enfant participe au projet *Comprendre le concept de force en science* qui met en place de nouveaux moyens pour favoriser ses apprentissages et sa réussite. Le Ministère de l'Éducation de l'Ontario ainsi que le Ministère de l'Éducation, Loisir et Sport du Québec ont mis de l'avant ce projet. L'Association canadienne d'éducation le réalise en collaboration avec des chercheurs universitaires.

Nous avons besoin de votre consentement

Bien sûr, nous aimerions compter sur la participation de votre enfant, car sans la coopération des élèves, il sera impossible de réaliser cette étude. C'est pourquoi nous vous demandons de signer le présent formulaire. Votre signature attestera de votre consentement à la participation de votre enfant à cette étude, notamment en autorisant les chercheurs à observer son utilisation des logiciels, à lui poser des questions, oralement ou par écrit, et à consulter son dossier scolaire de base (résultats scolaires, bulletins, fiche d'inscription).

Tout comme vous, votre enfant a le choix

Autre précision importante : tout comme vous, votre enfant peut accepter ou refuser de participer à cette étude qui se poursuivra jusqu'en juin 2008. Notez bien qu'en tout temps vous pouvez retirer votre consentement. Le refus de participer n'aura aucune conséquence fâcheuse.

Qu'est-ce qu'on attend de votre enfant?

- Il sera invité à deux reprises à répondre à un questionnaire ou à participer à une entrevue en petit groupe (30 minutes) sur ce qui l'intéresse ou ne l'intéresse pas dans l'activité d'apprentissage qui lui aura été présentée;
- Il sera invité à deux reprises à passer un test (10-15 minutes).

Confidentialité, droit d'accès et de rectification

La loi protège tous les renseignements personnels recueillis au cours de cette étude. À l'exception des renseignements accessibles au personnel enseignant dans le cours normal des activités pédagogiques, seul le personnel de recherche aura accès aux renseignements révélés par les réponses aux questionnaires et les entrevues. À noter que toutes les feuilles remplies par votre enfant seront détruites au 23 décembre 2008. Enfin, en vertu de la loi, un organisme public est tenu de vous donner le droit d'accès et de rectification à l'égard de tous les renseignements personnels qu'il détient sur vous ou votre enfant

J'accepte que mon enfant participe au projet *Comprendre le concept de force en science* selon les modalités décrites dans la présente lettre d'information.

Nom de l'enfant

(en lettres moulées)

Nom du signataire

Signature du parent ou du titulaire de l'autorité parentale

Date

Nous avons une demande de plus à vous faire

Nous ferons quelques montages de situations exemplaires à partir d'extraits des textes des élèves, de photos et de séquences vidéo. Accepteriez-vous que de tels documents écrits ou visuels de votre enfant soient montrés sur un site officiel à titre d'exemple de ce que les jeunes arrivent à réaliser avec les logiciels utilisés? Seules des situations qui avantagent votre enfant en train d'apprendre seront montrées publiquement, soit lors de communications auprès de professionnels de l'éducation ou dans un rapport publié sous format papier ou sur Internet. En aucun cas le nom de votre enfant qu'il fréquente ne seront dévoilés. Si vous êtes en accord avec cette seconde demande, nous vous invitons à prendre connaissance de la formule de consentement reproduite ci-dessous et à la signer.

J'ai pris connaissance de la présente lettre d'information concernant le projet *Comprendre le concept de force en science* et je consens à ce que les documents écrits ou visuels de mon enfant qui seront recueillis au cours de la recherche puissent être publiés et diffusés selon les modalités décrites ci-dessus. À cette fin, je cède gratuitement à l'Association canadienne d'éducation les droits d'utilisation de ce matériel, pour les fins et de la manière qui y sont indiquées. Conséquemment, des extraits du travail de mon enfant pourront être reproduits, exposés, publiés, vendus ou distribués d'une façon ou d'une autre (par exemple, de manière électronique ou sur format papier), et en un lieu ou l'autre. En tout temps, d'ici juin 2008, je me réserve le droit de révoquer le présent consentement et la cession de droits dont il est assorti, sans aucune pénalité.

Nom de l'enfant
du signataire

(en lettres moulées)

Nom

Signature du parent ou du titulaire de l'autorité parentale

Date

La permission de votre enfant aussi nous importe!

J'ai discuté de ma participation au projet l'École éloignée en réseau avec mon (mes) parent-s ou le titulaire de l'autorité parentale et j'accepte d'être observé, interviewé et de répondre à des questionnaires et tests à 4 reprises ainsi que de voir mes bons coups faire partie d'extraits vidéos.

Signature de l'élève : _____

Date : _____

Merci à l'avance de votre collaboration.

Direction d'école

Responsable du projet à l'ACE

Nom de l'école

Pour de plus amples renseignements:

Association canadienne d'éducation (ACE),
Gilles R. Latour, 317 Adelaide Street West, #300
Toronto (Ontario) M5V 1P9, Tel/Tél. : 416-591-6300
ext/poste 237

Professeure Thérèse Laferrière, Faculté des sciences de l'éducation
Université Laval, Québec, QC, G1K 7P4
Téléphone : (418) 656-2131 (5480), Courriel : tlaf@fse.ulaval.ca

**PROJET DE RECHERCHE
COMPRENDRE LE CONCEPT DE FORCE EN SCIENCE**

**Formulaire de consentement informé concernant
la participation d'un enseignant ou d'une enseignante à cette recherche**

La nature et les procédés de la recherche réalisée par l'Association canadienne d'éducation (ACE) se définissent comme suit :

1. La recherche comprend :
 - a. Deux temps de planification d'activité d'apprentissage dans le contexte du programme scolaire ainsi que deux temps de retour sur l'expérience menée auprès des élèves et incluant les premiers résultats obtenus (90 minutes chaque fois).
 - b. Des illustrations multimédia (texte, image, vidéo) de moments exemplaires.
 - c. Une entrevue afin de connaître votre opinion sur l'activité (40 minutes).

Veuillez lire le texte ci-dessous et, si vous acceptez de participer, veuillez indiquer votre consentement en signant le formulaire et en le soumettant soit à Gilles Latour de l'Association canadienne d'éducation, soit au responsable délégué par celui-ci. Si vous avez des questions auxquelles vous aimeriez des réponses avant de compléter le formulaire, veuillez envoyer un courriel à Thérèse.Laferrière@fse.ulaval.ca ou lui écrire par la poste à :

Professeure Thérèse Laferrière, Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval, Québec, QC, G1K 7P4. Téléphone : (418) 656-2131 (5480). Courrier électronique : tlaf@fse.ulaval.ca

L'Association canadienne d'éducation respecte le code déontologique de recherche et, en tout temps, les intérêts, le bien-être et la sécurité des répondants et répondantes. Ce formulaire, et l'information qu'il comporte, vous est remis pour votre protection et pour vous permettre de bien comprendre les procédures qui seront employées lors du processus. Signer ce formulaire signifie que vous avez eu le temps nécessaire pour lire et comprendre l'information et que vous vous engagez à participer de votre plein gré à ce projet de recherche.

J'ai pris connaissance du présent formulaire, comprends et accepte que les modes de cueillette de données utilisés pour les fins de la recherche seront les suivants :

- a) Fiche d'observation – la même fiche sera remplie par le même membre de l'équipe de recherche à quatre reprises.
- b) Entrevue – elle sera effectuée par la même personne ayant effectué les observations.

La participation à cette recherche fournira l'occasion aux participants et à leur communauté professionnelle de réfléchir sur la portée des nouvelles technologies d'apprentissage ainsi que les nouveaux rôles et les nouvelles règles s'appliquant. Les bénéfices sont de l'ordre de l'innovation éducative et des retombées pour les systèmes d'éducation ontarien et québécois.

En ce qui concerne le caractère confidentiel des renseignements fournis, il faut comprendre que le faible nombre de classes participantes rendra difficile, sinon impossible, que ne soit connu leur nom ainsi que le nom de leur école. Les mesures suivantes néanmoins s'appliquent :

- a. L'ACE, organisme chargé de la réalisation du projet de recherche, fera signer une entente de confidentialité aux membres de l'équipe de recherche.
- b. Les données seront conservées jusqu'au 23 décembre 2008, dans des conditions sécuritaires, et alors entièrement détruites. Les illustrations multimédia (texte, image, vidéo) des activités poursuivies devront avoir été autorisées par les participants avant diffusion.

Chaque participante ou participant au volet recherche pourra se retirer de la recherche en tout temps sans avoir à fournir de raison ni à subir de préjudice quelconque.

Il n'y a pas de compensation financière liée à la participation à cette recherche, mais les activités sont réalisées sur le temps de tâche des participants.

Les chercheurs n'ont aucun intérêt financier relié à aucun des logiciels sur lesquels pourrait se retrouver le contenu des échanges électroniques des participants.

Pour rejoindre les personnes responsables,

Monsieur Gilles Latour

Association canadienne d'éducation (ACE),
Gilles R. Latour, 317 Adelaide Street West,
#300
Toronto (Ontario) M5V 1P9, Tel/Tél. : 416-
591-6300 ext/poste 237

Professeure Thérèse Laferrière, Fac. des sciences de l'éd.
Université Laval, Québec, QC, G1K 7P4
Téléphone : (418) 656-2131 (5480), Courriel :
tlaf@fse.ulaval.ca

Toute plainte ou critique pourra être adressée à l'Association canadienne d'éducation.

Toute plainte pourra aussi être adressée au Bureau des plaintes du Ministère de l'Éducation concerné.

Je soussigné(e) _____ consens librement à participer à la recherche intitulée : "L'école éloignée en réseau".

Lu et signé le _____ 2007, à _____

Signature du (de la) participant(e)

Signature de la chercheure

Date d'approbation par le
Comité d'éthique de la recherche
de l'Association canadienne d'éducation : 6 juin 2007

ANNEXE C

Contexte franco-ontarien

Les forces en action

Itinéraire d'étude pour la recherche

6 décembre 07

1^{er} cours : - l'enseignant a enseigné les différents types de structures (ex. pleine, à coque, à ossature).

12 décembre 07

2^e cours : - les élèves ont construit deux coupôles géodésiques à l'aide de papiers journaux (les élèves de la classe étaient séparés en deux groupes : un groupe devait construire leur coupole avec des longs petits tubes et l'autre groupe devait construire leur coupole avec des petits gros tubes).

Marion Barfurth (chercheure) présente pour tout les cours suivants :

10 janvier 08

3^e cours : - les élèves ont répondu au questionnaire 1 (Pré-questionnaire) sur les forces en action. Ensuite, ils ont visionné le logiciel du SAMFO (sections 6 et 7 seulement).

14 janvier 08

4^e cours : - les élèves ont répondu au questionnaire 2 (Appréciation du logiciel) et au questionnaire 3 (Post-questionnaire). Ensuite, l'enseignant a expliqué les critères de conception et d'évaluation de la structure qu'ils devront construire. En terminant, ils ont commencé la fabrication de leur structure individuellement.

15 janvier 08

5^e cours : - les élèves ont terminé la construction leur structure.

17 janvier 08

6^e cours : les élèves ont testé leur construction et complété « l'évaluation structure en papier »

21 janvier 08

7^e cours : retour au logiciel SAMFO

24 janvier 08

8^e cours : deuxième construction en papier

9^e cours : les élèves ont testé leurs construction et compléter « l'évaluation structure en papier »

Contexte québécois

Les activités proposées aux élèves lors de la première phase ont été les suivantes :

- Cours 1 : Passation du test diagnostique.
Dans le KF, rédaction d'une note par élève exposant sa conception du concept de force. L'illustration de sa pensée à l'aide d'exemples a été suggérée.
Discussion en grand groupe sur la définition d'une force (15 min).
- Cours 2 : Discussion en grand groupe à partir de notes d'élèves (20 min). La définition d'une force et des types de forces sont abordés.
La question suivante est proposée : « Comment les forces interviennent-elles dans le fonctionnement d'objets ou de systèmes mécaniques ? » Celle-ci conduit à la définition d'un système mécanique. Dans le KF, les élèves partagent les réflexions qui émergent de cette question.
Présentation de la visée de la première phase : Analyse d'un objet ou système mécanique et construction d'un schéma de principes.
- Cours 3 : Discussion en grand groupe sur les types de mouvement que l'on retrouve dans les systèmes mécaniques (20 min). D'un point de vue technologique, comment décrit-on les mouvements et forces présentes dans un objet ?
D'un point de vue mathématique : étude de la translation et résolution de problèmes (40 min).
- Cours 4 : En grand groupe, retour sur le devoir portant sur la translation et étude de la rotation.
- Cours 5 : En grand groupe, retour sur le devoir portant sur la rotation.
À partir de notes d'élèves tirées du KF, discussion sur les composantes d'un système mécanique et identification des cinq machines simples (30 min).
Dans le KF, enrichissement de la réflexion à l'aide de la question suivante exposée oralement : « les systèmes sont composés de machines simples. Pourquoi avoir inventé ces différentes machines simples ? » Cette question conduira à l'identification de la transmission et/ou de la transformation du mouvement rendue possible grâce à une machine simple.
- Cours 6 : Au laboratoire de technologie.
Quatre équipes de six élèves sont formées. Quatre ateliers de manipulation d'une durée de 10 minutes sont proposés (les ateliers sont disponibles à l'Annexe C) :
 1. Étude d'objets mécaniques de type levier
 2. Expérimentation sur plan incliné
 3. Expérimentation sur treuil (atelier animé par le stagiaire)
 4. Expérimentation de systèmes constitués d'une, deux, trois ou plusieurs poulies (atelier animé par l'enseignante)
 Les équipes circulent à tour de rôle entre les ateliers.
- Cours 7 à 9 : En équipe de trois ou quatre, choix d'un objet ou système mécanique.
Analyse du système et réalisation du schéma de principes. Les traces du processus d'analyse sont exposées sur le KF.

Les contenus (savoirs essentiels et les compétences) du Programme de formation de l'école québécoise (primaire)

Pour la situation d'apprentissage évaluation (SAÉ), les enseignantes ont utilisé le programme de formation de l'école québécoise de science et technologie du 3^e cycle du primaire, plus particulièrement les contenus et les savoirs essentiels suivants :

Forces et mouvements

- Effets de l'attraction gravitationnelle sur un objet
- Effets d'une force sur la direction d'un objet
- Effets combinés de plusieurs forces sur un objet
- Pression

Concepts principaux : force, mouvement, poulie, palan, levier, plan incliné, engrenage, treuil, et mécanisme.

Les savoirs essentiels doivent être mobilisés afin de développer les trois compétences suivantes dans le domaine d'apprentissage science et technologie au troisième cycle :

Compétence 1 : Proposer des explications ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique.

Composantes de la compétence :

- Identifier un problème ou cerner une problématique.
- Recourir à des stratégies d'exploration variées.
- Évaluer sa démarche.

Compétence 2 : Mettre à profit les outils, objets et procédés de la science et de la technologie.

Composantes de la compétence :

- S'approprier les rôles et fonctions des outils, techniques, instruments et procédés de la science et de la technologie.
- Relier divers outils, objets ou procédés technologiques à leurs contextes et à leurs usages.
- Évaluer l'impact de divers outils, instruments ou procédés

Compétence 3 : Communiquer à l'aide des langages utilisés en science et en technologie.

Composantes de la compétence :

- S'approprier des éléments du langage courant liés à la science et la technologie.
- Utiliser des éléments du langage courant et du langage symbolique liés à la science et à la technologie.
- Exploiter les langages courant et symbolique pour formuler une question, expliquer un point de vue ou donner une explication.

Les contenus (savoirs essentiels et les compétences) du Programme de formation de l'école québécoise (secondaire)

S'appuyant sur le programme de formation de l'école québécoise de science et technologie du premier cycle du secondaire, le concept de force s'inscrit dans la nomenclature des contenus de formation de l'univers technologique. Tel que mentionné dans le programme, on vise chez l'élève, par l'étude des forces, mouvements et des transformations de l'énergie, la compréhension du fonctionnement de certains systèmes technologiques, afin ultimement, de pouvoir réinvestir ces concepts dans la conception et la fabrication d'un prototype d'objet technique (MELS, 2006, p. 283). Le MELS propose d'exploiter le concept avec les élèves par l'analyse d'objets techniques. Ceux-ci se voulant des manifestations concrètes de la présence de forces et de mouvements. On peut alors lire : « Les forces qui agissent sur les pièces d'un mécanisme sont susceptibles de modifier leurs mouvements et d'exercer des contraintes mécaniques pouvant parfois modifier leurs mouvements et d'exercer des contraintes mécaniques pouvant parfois provoquer des déformations ou des ruptures. » Dans ce prolongement, l'étude des forces et des mouvements permet de saisir le fonctionnement des mécanismes de transmission (engrenages, poulies, vis sans fin, etc.) et de transformation du mouvement (cames, bielles, etc.). Bref, l'application du concept de force permet de mieux comprendre certaines machines simples et leur utilisation.

Parmi les concepts prescrits dans le programme, il y a les :

- Types de mouvements
- Effets d'une force
- Machines simples
- Mécanismes de transmission du mouvement
- Mécanismes de transformation du mouvement

Ces concepts doivent être mobilisés afin de développer les trois compétences dans le domaine d'apprentissage de la science et de la technologie et qui sont :

Compétence 1 : Chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique

Composantes de la compétence :

- Cerner un problème
- Choisir un scénario de conception
- Analyser ses résultats et sa solution
- Concrétiser sa démarche

Critères d'évaluation :

- Représentation adéquate de la situation

- Élaboration d'une démarche pertinente pour la situation
- Mise en œuvre adéquate de la démarche
- Élaboration de conclusions, d'explications ou de solutions pertinentes

Compétence 2 : Mettre à profit les outils, objets et procédés de la science et de la technologie.

Composantes de la compétence :

- Dégager des retombées de la science
- Comprendre le fonctionnement d'objets techniques
- Comprendre des phénomènes naturels

Critères d'évaluation :

- Formulation d'un questionnement approprié
- Utilisation pertinente des concepts, des lois, des modèles et des théories de la science et de la technologie
- Production d'explications ou de solutions pertinentes
- Justification adéquate des explications, des solutions ou des décisions

Compétence 3 : Communiquer à l'aide des langages utilisés en science et en technologie.

Composantes de la compétence :

- Participer à des échanges d'information à caractère scientifique et technologique
- Divulguer des savoirs ou des résultats scientifiques et technologiques
- Interpréter et produire des messages à caractère scientifique et technologique.

Critères d'évaluation :

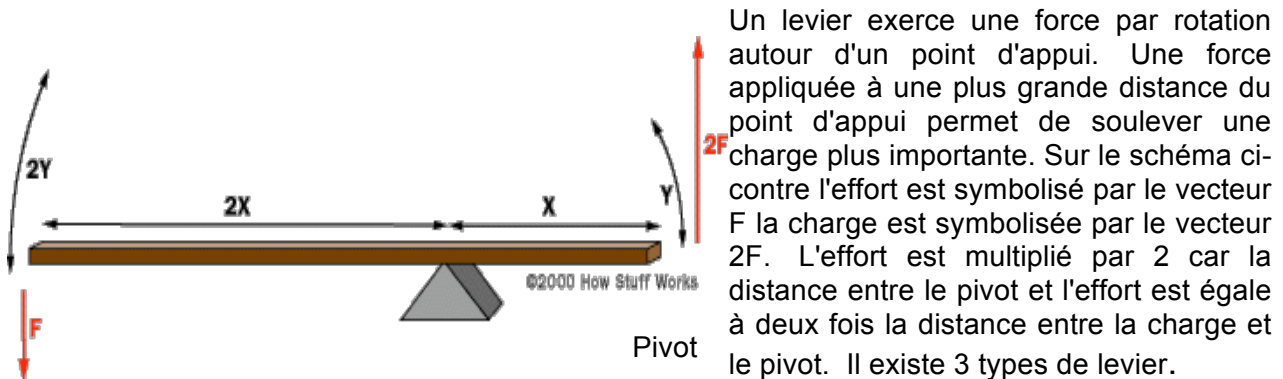
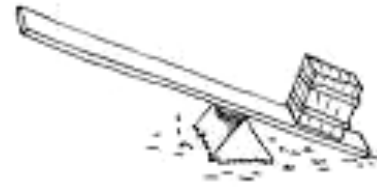
- Interprétation adéquate de messages à caractère scientifique et à caractère technologique
- Respect de la terminologie, des règles et des conventions propres à la science et à la technologie dans la production de messages

Contexte urbain, première secondaire

Ateliers proposés au cours 6 de la séquence d'enseignement

STATION A

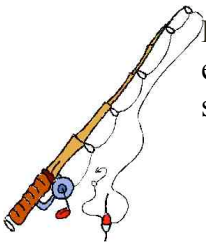
Machine simple : Le levier



Levier du 1^{er} type (levier inter-appui) : Le pivot est situé entre la charge et l'effort (exemples : levier, pince, pied de biche)



Levier du 2^e type (levier inter-résistant) : L'axe du pivot est situé à une extrémité de la barre. La charge est située entre la force et le pivot.

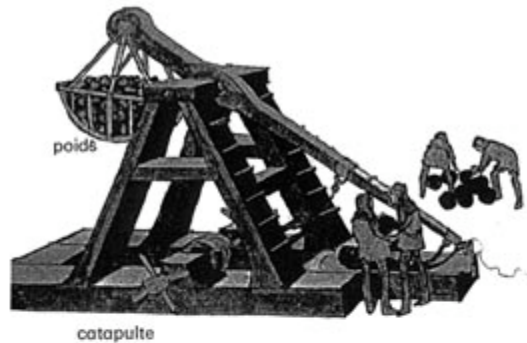


Levier du 3^e type (levier inter-moteur) : L'axe du pivot se situe à l'une des extrémités de la barre. L'effort est entre le pivot et la charge. Un gros effort sur un petit déplacement entraîne un mouvement important de la charge.

Tâches proposées :

- A) Faites le schéma de principes (forces et mouvements en présence) pour les deux objets proposés (pince, marteau). Identifiez où se situe le pivot (point d'appui).
- B) Esquissez rapidement, les objets suivants afin de déterminer s'ils sont des leviers. S'ils le sont, déterminer où se situe le pivot (point d'appui) par rapport à la charge et à la force.

a. Une catapulte



b. Bâton de hockey qui frappe une rondelle (attention, il faut penser à la position du joueur)

STATION B

Machine simple : Le plan incliné

Distance à parcourir

Hauteur



Tâches proposées :

- C) Faites varier la hauteur de la hauteur du plan incliné afin de vérifier si celle-ci a une influence sur la force qu'il faut exercer pour déplacer la voiture rouge jusqu'au sommet de la pente. Notez vos observations.
- D) Faites le schéma de principes (forces et mouvements en présence) pour la machine simple proposée.
- As-tu pensé à schématiser la force gravitationnelle ?
 - As-tu pensé à schématiser la force de friction ?

- E) **Mise en situation** : Vous devez mettre une boîte dans un camion de déménagement sans l'aide d'un plan incliné. Vous refaites le même travail, mais cette fois, avec l'aide de cette machine simple. Quels sont les avantages et les inconvénients de l'utilisation du plan incliné ?



- F) La force gravitationnelle est celle qui attire les objets vers le centre de la Terre. Plus la masse d'un objet est grande, plus celui-ci est attiré fortement. Lorsque tu tires sur la corde, afin d'aider la voiture à monter la pente, la force gravitationnelle t'aide-t-elle ou te nuit-elle ? Explique ton point de vue.

Station C

Treuil

Animée par le stagiaire

RÉSUMÉ DE L'ANIMATION : L'étude du treuil est proposée. Les composantes matérielles sont identifiées. Par la suite, l'animateur invite les élèves à identifier les forces en jeu ainsi que les transformations de mouvements engendrées par les composantes du treuil.

Les élèves sont invités à dégager les avantages de l'utilisation du treuil et à les formuler en tenant compte du fonctionnement du système. Pour faciliter cette étude, l'animateur choisira l'élève qui semble avoir la plus grande masse parmi les cinq élèves qui se présenteront. Cet élève devra s'asseoir sur le banc qui est lié au treuil. Un deuxième élève, celui ayant la masse la plus petite, sera invité à utiliser le treuil pour lever son collègue.

Station D

Poulies

Animée par l'enseignante

RÉSUMÉ DE L'ANIMATION : L'étude de trois systèmes composés d'une, deux ou de plusieurs poulies est proposée. Des masses sont disposées sur la table et les élèves sont invités à comparer les trois systèmes en considérant la force qu'il faut exercer pour soulever une même masse pour chaque système. Pour ce faire, les élèves doivent suspendre la ou les masse(s) choisies à la corde utilisée dans chaque système. Par la suite, l'animateur invite les élèves à identifier les forces en jeu, leur répartition dans le système ainsi que les transformations de mouvements engendrées par la combinaison de poulies. Les élèves sont invités à dégager les avantages et limites de l'utilisation d'une ou de plusieurs poulies.

ANNEXE D

Instruments de collecte de données

1. Mise en situation - pré-questionnaire : Les forces en actions
2. Mise en situation -post-questionnaire : Les forces en actions (Partie 2)
3. Activité de construction

Les forces en action

Nom : _____

Date : _____

Mise en situation

Un ingénieur désire construire une structure. Mais avant de débiter la construction, il voudrait savoir comment les forces de compression, de tension, de cisaillement et de torsion agiront sur sa structure afin qu'il puisse construire une structure stable et solide. Expliquez à l'ingénieur, dans vos propres mots et à l'aide de schéma, comment les forces énumérées ci-dessus interagiront avec sa structure.

Les forces en action (Partie 2)

Nom : _____

Date : _____

Mise en situation

Un ingénieur désire construire une structure. Mais avant de débiter la construction, il voudrait savoir comment les forces de compression, de tension, de cisaillement et de torsion agiront sur sa structure afin qu'il puisse construire une structure stable et solide. Expliquez à l'ingénieur, dans vos propres mots et à l'aide de schéma, comment les forces énumérées ci-dessus interagiront avec sa structure.

Questionnaire II

Nom: _____

date: _____

1. En utilisant le site de SAMFO et en particulier le module sur « Les Forces », évaluer votre expérience selon l'échelle proposée :

- 1. Pas aimé du tout
- 2. Peu aimé
- 3. Moyennement aimé
- 4. Beaucoup aimé
- N/A. Ne s'applique pas

a) Les interactions entre les personnages	1	2	3	4	N/A
b) Les mises en situations et les exemples	1	2	3	4	N/A
c) Apprendre un nouveau concept avec l'ordinateur	1	2	3	4	N/A

2. Nommez trois (3) aspects du module que vous avez appréciés?

1.	
2.	
3.	

3. Nommez trois (3) aspects du module que vous voudriez qu'ils soient améliorés?

1.	
2.	
3.	

4. Est-ce que les exemples ont aidé à comprendre les concepts?

☐ OUI ☐ NON ☐ JE NE SAIS PAS

Pourquoi?

5. Est-ce que les questions à la fin du module ont aidé à clarifier tes apprentissages?

☐ OUI ☐ NON ☐ JE NE SAIS PAS

Pourquoi?.

6. Préférez-vous cette façon d'apprendre?

☐ OUI ☐ NON ☐ JE NE SAIS PAS

Pourquoi?.

7. D'autres commentaires ou suggestions?

Titre de l'activité	
La construction d'une structure (en papier)	
Exigences	
Hauteur : _____ cm Capacité à soutenir une surcharge (ex. livres) : _____ livre(s) Capacité à résister à une force dynamique (ex. vent) : oui ou non	Niveau :
Compréhension	
1. Explique, dans tes propres mots, la raison pour laquelle ta structure s'est effondrée.	
2. Explique, à l'aide d'un schéma, l'endroit et le type de forces (ex. compression, tension, cisaillement ou torsion) qui a détruit ta structure.	
3. Explique, à l'aide d'un schéma, comment tu aurais pu renforcer ta structure pour éviter qu'elle s'effondre.	