

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ÉTUDE DE DIFFÉRENTES UTILISATIONS D'UN JEU VIDÉO ÉDUCATIF CONÇU
SPÉCIFIQUEMENT POUR INTERVENIR SUR CERTAINES CONCEPTIONS EN
PHYSIQUE MÉCANIQUE: MÉCANIKA

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN ÉDUCATION

PAR

FRANÇOIS BOUCHER-GENESSE

AOÛT 2012

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
AVANT-PROPOS	xi
RÉSUMÉ	xii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I - PROBLÉMATIQUE.....	3
1.1 La situation actuelle de l'éducation scientifique	3
1.2 Les conceptions en physique mécanique.....	4
1.3 Le changement conceptuel	5
1.4 Le potentiel des jeux vidéo.....	6
1.5 La recherche sur les jeux vidéo en physique mécanique.....	8
1.6 Objectif de recherche.....	9
CHAPITRE II - CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES	11
2.1 Les conceptions initiales en physique mécanique	11
2.1.1 Le Force Concept Inventory	12
2.1.2 Le changement conceptuel	18
2.2 Études sur les jeux vidéo portant sur la physique mécanique.....	18
2.2.1 La définition de jeu vidéo	19
2.2.2 Les études effectuées sur les jeux vidéo en physique mécanique.....	22
2.2.3 Synthèse des critiques importantes.....	30
2.3 Un jeu pour favoriser le changement conceptuel en physique mécanique	35
2.3.1 Critères à considérer dans le design d'un nouveau jeu	35
2.3.2 Parcours d'un joueur dans <i>Mécanika</i>	41
2.4 Hypothèses de recherche	49
2.4.1 Comparaison avec un groupe témoin.....	49
2.4.2 Effet de rétention	49
2.4.3 Utilisation en classe	50
2.4.4 Performance au jeu	51
CHAPITRE III - MÉTHODOLOGIE.....	53

3.1	Type de recherche.....	53
3.2	Description des sources de données	53
3.2.1	Population	53
3.2.2	Échantillonnage	54
3.3	Instruments de recherche	54
3.3.1	<i>Force Concept Inventory</i>	54
3.3.2	La performance à <i>Mécanika</i>	54
3.4	Devis de recherche.....	55
3.4.1	Déroulement	55
3.4.2	Les guides pédagogiques	60
3.4.3	Biais de recherche potentiels	61
3.5	Règles d'Éthique	63
3.5.1	Confidentialité	63
3.5.2	Consentement	63
CHAPITRE IV - RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS		65
4.1	Est-ce que l'utilisation de <i>Mécanika</i> en classe produit un meilleur gain sur la performance au FCI qu'un enseignement « traditionnel »?.....	65
4.1.1	Les notes du pré-test	66
4.1.2	Comparaison des gains au FCI des deux groupes.....	66
4.1.3	Comparaison avec le <i>Modeling Instruction Project</i>	67
4.1.4	Les catégories d'items pour lesquelles la performance des élèves a le plus augmenté.....	69
4.1.5	Les items qui n'ont pas été influencés par le jeu	72
4.1.6	Différences entre garçons et filles	75
4.2	Est-ce que l'effet de l'intégration du jeu en classe sur le FCI persiste à moyen terme?	76
4.3	Est-ce qu'une intégration en classe de <i>Mécanika</i> produit un meilleur gain, tel que mesuré par le FCI, qu'une utilisation détachée, où le jeu est simplement donné en devoir?	77
4.4	Est-ce que la performance d'un joueur à <i>Mécanika</i> est reliée à sa performance au FCI? ...	78
4.5	Résultats principaux	80
4.6	Limites des résultats de recherche	81
4.6.1	<i>Teaching to the test</i>	81
4.6.2	Les objectifs des enseignants au Québec.....	82

4.6.3 Le faible nombre d'enseignants.....	83
4.6.4 Groupes non aléatoires	83
4.6.5 Faible taux de participation des élèves	84
CHAPITRE V - CONCLUSION	85
ANNEXE A - DESCRIPTION DE MÉCANIKA	91
ANNEXE B - LIEN ENTRE LES QUESTIONS DU FCI ET LEUR INCLUSION DANS MÉCANIKA.....	93
ANNEXE C - FORMULAIRE DE CONSENTEMENT.....	99
ANNEXE D - EXEMPLES DE GUIDES PÉDAGOGIQUES.....	103
BIBLIOGRAPHIE.....	104

LISTE DES FIGURES

2.1	La question 8 du <i>Force Concept Inventory</i> - une rondelle se déplace à l'horizontale sur la glace	15
2.2	Le choix A à la question 8 indique que l'élève possède probablement la conception initiale CI3	15
2.3	Les données provenant du <i>Modeling Instruction Project</i> entre 1995 et 1998 (Hestenes, 2006).....	16
2.4	Une capture d'écran de SURGE	25
2.5	Une capture d'écran de SpatioPet	27
2.6	Une des applications utilisées par Rieber et Noah.....	29
2.7	Exemple d'une série d'objectifs à atteindre.....	36
2.8	Une zone de limite de vitesse	37
2.9	Une force d'impulsion dirigée vers la droite (à gauche) et une force continue de vent, agissant à l'intérieur du carré, dirigée vers le bas (à droite)	38
2.10	Le plan de vol de SpatioPet	38
2.11	La trace laissée pour indiquer la trajectoire passée d'un objet.....	39
2.12	Objet sans ombrage (vitesse basse), puis avec 1 et 2 ombrages (vitesses plus élevées).....	39
2.13	Une situation de jeu où la force gravitationnelle est présente	40
2.14	Le premier niveau de <i>Mécanika</i>	43
2.15	Les objets ne se rendent pas assez loin, puisqu'une partie seulement de la zone de vent est utilisée.	44
2.16	La position appropriée pour la zone de vent. Les objets sont accélérés sur une distance assez grande pour passer par-dessus la rampe.....	44
2.17	Le niveau B1 de <i>Mécanika</i> , sans les décors	46
2.18	Le premier essai d'un élève qui raisonne selon une conception initiale	46
2.19	La solution au niveau B1	48
3.1	Le devis de recherche	56
4.1	Les gains en pourcentage (post-test – pré-test) pour les groupes des deux expériences.	68
4.3	La différence entre le groupe expérimental et le groupe de contrôle, classé en catégorie. Les élèves ont été séparés en fonction de leur progression dans le	

	jeu. Les colonnes plus foncées et larges représentent une différence de gain entre les groupes qui est significative ($p < 0.05$).....	71
4.4	La question 14 du <i>Force Concept Inventory</i> , suivi de la répartition des réponses des élèves.....	73
4.5	Le niveau D3 de <i>Mécanika</i> portant sur quelques réponses erronées de la question 14 du <i>FCI</i>	73
4.6	La question 21 du <i>FCI</i>	74
4.7	La répartition des réponses au pré-test, à gauche, et au post-test pour ceux qui ont joué jusqu'à la série C, à droite, pour la question 21 du <i>FCI</i> (groupe expérimental).....	75
4.8	La question 20 du <i>FCI</i> , qui demande de choisir entre plusieurs descriptions d'accélération de deux blocs qui se déplacent vers la droite. Les carrés numérotés de la figure suivante représentent la position des deux blocs à des intervalles de 0,20 s.	82

LISTE DES TABLEAUX

2.1	La taxonomie des conceptions initiales dans le <i>Force Concept Inventory</i> , tel que définie par Hestenes et al. (1992)	13
2.2	Éléments essentiels de la définition de « jeu » selon Juul (2003).....	20
2.3	Comparaison des protocoles expérimentaux	32
2.4	Comparaison des jeux utilisés	34
2.5	Les séries de niveaux de <i>Mécanika</i>	42
2.6	La conception initiale CI3 dans <i>Mécanika</i>	47
3.1	Comparaison des groupes de l'expérience	59
4.1	Les variables enregistrées par <i>Mécanika</i>	78

AVANT-PROPOS

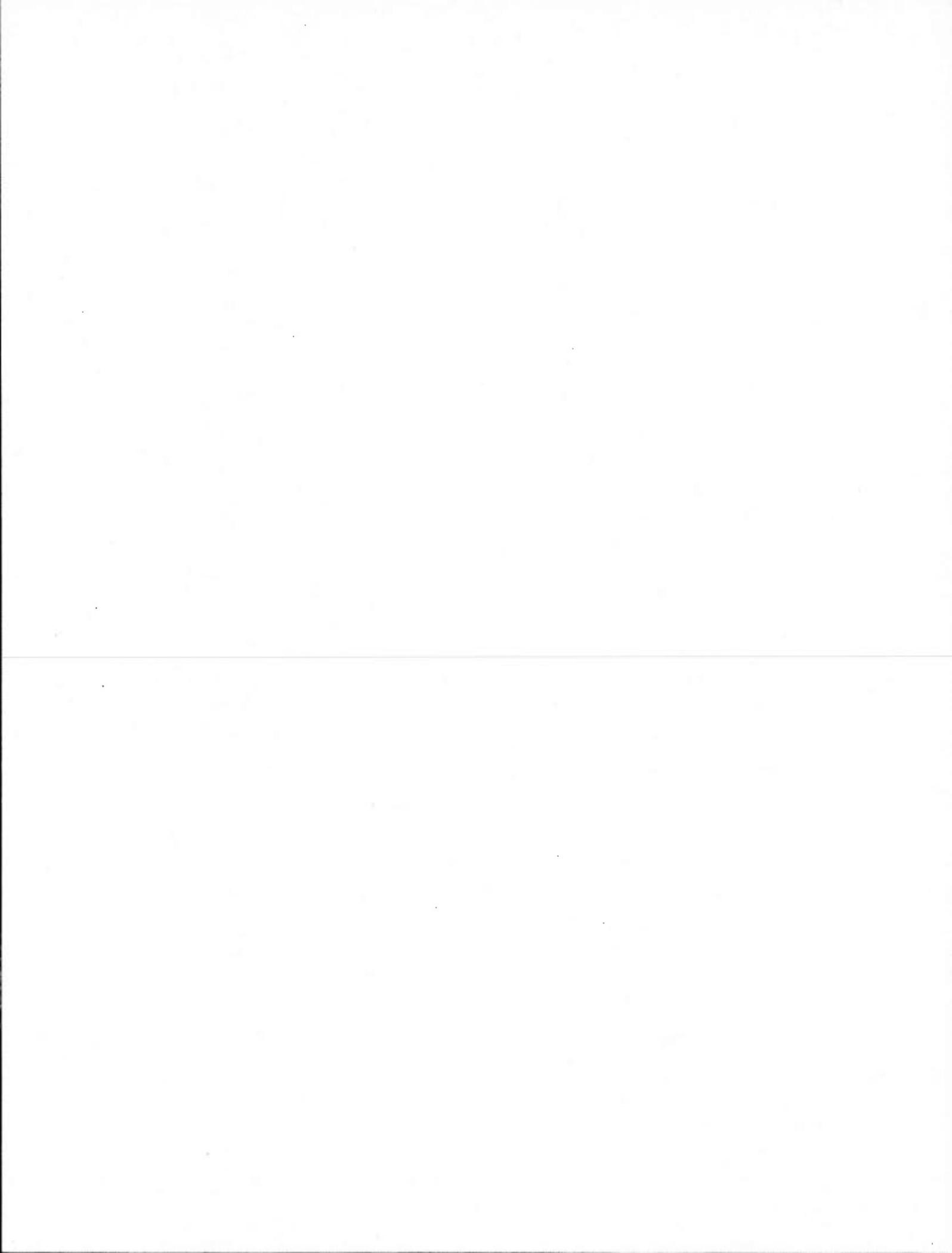
Suite à l'obtention de mon diplôme au baccalauréat en génie informatique, j'ai quitté le Québec et travaillé pour une période de deux ans comme concepteur de jeu chez Bungie, Microsoft. Bien que d'immenses efforts soient déployés pour rendre les jeux commerciaux amusants, l'impact sur la société de ces jeux est plus difficile à évaluer. Dans ce contexte, l'objectif de mon retour aux études consiste à œuvrer dans une institution qui m'aide à comprendre comment concevoir et utiliser des jeux ayant un impact positif et vérifié sur la société. Mes premiers remerciements vont à mes directeurs de recherche, qui m'offrent non seulement un milieu favorable à la réalisation de mes projets, mais aussi un excellent apport de connaissances en éducation qui aurait été difficile d'obtenir dans l'industrie du jeu.

Les contacts de mes directeurs m'ont permis de rencontrer la compagnie CREO. Cette entreprise Montréalaise développe actuellement le site web *Science en Jeu*, un portail unique dédié à l'apprentissage des sciences et technologies (CREO, 2009). La compagnie s'est montrée très intéressée à *Mecanika*, le jeu produit lors de ma maîtrise, et une demande de financement conjointe a été déposée à Inukshuk afin d'impliquer CREO dans le développement du jeu. Cette demande a été accordée, et *Mecanika* fait maintenant partie d'une des « îles » du monde virtuel de *Science en Jeu*, un univers accessible gratuitement au grand public. Je tiens à remercier l'organisme Inukshuk, l'équipe qui a travaillé sur *Mécanika* grâce à ces fonds, et les participants de l'expérience. *Mécanika* bénéficie maintenant d'un nombre important d'utilisateurs et de la visibilité de *Science en Jeu*, ce qui permet de rejoindre les enseignants qui pourraient tirer avantage du jeu en classe. Les médias ont été emballés par les résultats de recherche présentés dans ce mémoire, et ce mémoire fait l'objet d'un reportage à l'émission Découverte de Radio-Canada. En définitive, ce partenariat a rendu un outil provenant de la recherche en éducation disponible et accessible à tous.

RÉSUMÉ

De multiples études indiquent que les approches traditionnellement utilisées pour enseigner les sciences devraient être modifiées. En effet, l'intérêt des jeunes pour les sciences est à la baisse et ceux-ci vivent typiquement peu de changements conceptuels au cours de leur cheminement scolaire, en particulier dans le domaine de la physique. Or, les lacunes des approches pédagogiques traditionnelles concordent avec des atouts intéressants des jeux vidéo. Ainsi, quelques études semblent montrer un certain potentiel pour les jeux vidéo éducatifs dans le domaine de la physique mécanique. Toutefois les faiblesses des méthodologies et des jeux utilisés ne permettent pas de conclure quant à leur efficacité.

Mécanika est un nouveau jeu vidéo éducatif, disponible gratuitement en ligne et conçu spécifiquement pour intervenir sur les conceptions initiales identifiées par le test d'inventaire du *Force Concept Inventory*, un outil de mesure maintes fois validé. Une étude de l'impact de l'utilisation du jeu chez les jeunes indique qu'il favorise l'apprentissage des concepts de la mécanique newtonienne, en s'appuyant sur plusieurs indices. D'abord, l'utilisation de *Mécanika* en classe a produit un gain plus important sur la performance au *FCI* qu'un enseignement jugé « traditionnel ». Ce gain indique un changement conceptuel important, suite à une utilisation du jeu d'environ 2 heures. Ensuite, l'effet sur les résultats au *FCI* persiste à moyen terme, un mois après l'utilisation du jeu. Enfin, le support additionnel offert par les enseignants pour bien intégrer le jeu en classe, en se servant de guides pédagogiques conçus pour faire le pont entre les situations du jeu et les concepts scolaires, n'a pas aidé de façon notable les élèves à vivre un changement conceptuel plus important que si ceux-ci utilisaient le jeu sans aide externe. Cette étude démontre ainsi que les jeux vidéo peuvent jouer un rôle significatif dans le milieu de l'éducation.



INTRODUCTION

Les jeux vidéo sont aujourd'hui profondément ancrés dans notre culture, à plus forte raison encore chez les jeunes: 97% des adolescents aux États-Unis jouent sur ordinateur, Internet, appareil portable ou console (Lenhart et al., 2008). Gee (2007) explique de plus que les jeux à grand succès commercial sont ceux qui appliquent le mieux, même à l'insu de leur concepteur, les meilleures théories actuelles en éducation.

D'un autre côté, les jeux éducatifs provenant principalement d'initiatives universitaires sont rarement amusants, et ne transposent pas toujours les théories de l'éducation dans un format adapté au média du jeu vidéo (Hopson, 2006). J'ai tenté, par le biais d'une maîtrise en éducation, d'utiliser les connaissances que j'ai acquises dans l'industrie du jeu vidéo afin de contribuer à la recherche sur les jeux éducatifs. Cette dernière m'a permis d'améliorer mes connaissances sur l'apprentissage tout en apportant de nouvelles connaissances utiles dans le domaine.

Ce mémoire est divisé en cinq chapitres. Le premier, la problématique, introduit la pertinence du projet de recherche, et conclut avec un objectif de recherche. Le second porte sur les considérations théoriques et précise des questions et des hypothèses de recherche. Le troisième chapitre expose la méthodologie utilisée pour répondre à ces questions. Le quatrième chapitre présente les données récoltées et interprète celles-ci afin de répondre aux sous-questions de recherche. Enfin, le dernier chapitre porte sur les suites potentielles du projet de recherche et la place des jeux vidéo dans le milieu éducatif en général.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

1.1 La situation actuelle de l'éducation scientifique

Dans leur rapport sur l'état de la science et de l'ingénierie, le *National Science Board* des États-Unis présente les tendances les plus importantes concernant l'emploi dans ces domaines (National Science Foundation, 2004). Selon l'organisme, trois conséquences découleront de ces tendances: le nombre d'emplois aux États-Unis qui exigeront une formation dans les domaines de la science et de l'ingénierie augmentera, le nombre d'employés qui seront prêts à remplir ces exigences sera au mieux stable, et la disponibilité des personnes qui possèdent cette formation à l'étranger diminuera (National Science Board, 2004). Ces conséquences mettent en évidence le manque d'élèves qualifiés par rapport à la demande en science et technologie.

Ce problème, ressenti dans plusieurs pays, est devenu en 2004 une priorité pour l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OECD, 2008). Afin de partager ses résultats d'analyse, l'organisation a récemment publié un rapport basé sur des données provenant de 19 pays. Il révèle entre autres que l'augmentation du nombre absolu d'élèves en sciences et en technologie de ces dernières années cache en fait une baisse relative. Cette diminution est particulièrement marquée en sciences physiques et en mathématiques, où on enregistre même une diminution du nombre absolu d'élèves. L'OCDE

note aussi que la baisse des effectifs est souvent attribuée au contenu peu intéressant et difficile des formations scientifiques.

Cette situation est également ressentie à l'échelle du Québec, où l'on remarque un manque d'intérêt pour les sciences encore plus marqué que dans les autres provinces canadiennes. Statistique Canada a analysé les données du PISA 2006 et a ainsi remarqué que les jeunes Québécois ont une moins bonne impression de l'utilité de leurs études pour les préparer à une carrière scientifique, et sont moins convaincus qu'ils étudieront et travailleront dans ce domaine, comparativement aux jeunes Canadiens. Ils s'estiment d'ailleurs moins bien informés que le reste du Canada à propos des carrières scientifiques (Statistique Canada, 2007).

Dans le but de « renforcer l'acquisition des connaissances et des compétences en sciences et technologie tout au long de la formation des jeunes », le Conseil des sciences et de la technologie recommande donc au ministre de l'Éducation de « s'assurer de la solide préparation en sciences et technologie des futurs maîtres et des enseignants en exercice en veillant [...] à ce que leur formation insiste davantage sur les approches pédagogiques appropriées à ces disciplines, des approches plus stimulantes et plus efficaces » (Conseil de la science et de la technologie, 2004). Au niveau international, l'OCDE recommande elle aussi de « redéfinir les programmes d'enseignement pour proposer des contenus plus attractifs [...], particulièrement dans l'enseignement secondaire. La pédagogie devrait en outre être concentrée plutôt sur les concepts et les méthodes scientifiques que sur la seule mémorisation de l'information. » (OECD, 2008).

Ainsi, les effectifs des élèves en physique diminuent, et une piste de solution potentielle est de rendre les contenus plus intéressants et de se concentrer sur les conceptions des élèves.

1.2 Les conceptions en physique mécanique

Bien que ces conceptions des élèves soient présentes dans divers domaines, elles ont fait l'objet de plusieurs recherches particulièrement dans celui de la physique mécanique. Il est ainsi bien établi que les élèves qui commencent un cours de mécanique entretiennent des conceptions initiales très fortes à propos du mouvement, et que celles-ci sont généralement incompatibles avec les théories Newtoniennes (Brown & Hammer, 2008; diSessa, 1993).

Halloun et Hestenes (1985) se sont intéressés à ces conceptions initiales; ils ont remarqué qu'elles sont très stables, et qu'un cours de physique n'a que peu de chances de les faire évoluer.

Considérons, par exemple, la conception initiale selon laquelle un objet en mouvement s'arrêtera progressivement si la force qui a causé ce mouvement n'est plus active (Clément, 1982). Cette conception initiale des élèves se base sur l'observation du monde qui nous entoure, où les situations ne semblent pas nécessairement, en première analyse, suivre les lois de Newton. Ainsi, lorsqu'une automobile coupe son moteur, elle s'immobilise progressivement par la suite; un ballon qui roule cesse de bouger après un certain temps, etc. La friction avec le sol est une force invisible et ainsi facilement ignorée. Il n'est donc pas étonnant que la première loi de Newton¹ soit intuitivement difficile à maîtriser pour les élèves qui adhèrent à la conception qu'un objet sans l'action d'aucune « force active » s'arrêtera éventuellement.

Les enseignants vont parfois utiliser un modèle idéal pour décrire cette loi en proposant, par exemple, qu'un ballon lancé dans l'espace, sans gravité ni friction, continuera indéfiniment sa trajectoire sans changement de vitesse. Ce modèle est simple du point de vue des lois de Newton; une fois l'impulsion donnée, il n'y a plus de force en jeu et donc plus d'accélération, de décélération, ou de changement de direction. Mais la compréhension de cet exemple est pourtant très difficile pour les élèves, puisqu'il n'est pas basé sur une réalité proche de la leur, dans laquelle ils avaient développé leurs intuitions premières. Pour ces élèves, la situation du ballon sur la Terre qui décélère est en comparaison bien plus simple et intuitive.

1.3 Le changement conceptuel

Puisque certaines conceptions sont très tenaces, certains chercheurs s'intéressent aux méthodes d'enseignement efficaces qui permettront de provoquer un changement conceptuel chez les élèves, c'est-à-dire de construire de nouvelles idées en présence de leurs conceptions

¹ « Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état. » (Newton, 1687)

initiales (diSessa, 2006). Quelques chercheurs ont proposé le conflit cognitif comme une piste intéressante (Hewson & A'Beckett-Hewson, 1984), bien qu'il n'y ait pas de théorie complète et universellement acceptée sur le changement conceptuel (diSessa, 2006). Il est donc important de s'intéresser aux types d'enseignement qui seront les plus efficaces pour provoquer des changements conceptuels durables.

Hake (1998) a par exemple recueilli les réponses aux questionnaires de diverses études, pour un nombre impressionnant d'élèves (N=6542), et s'est intéressé aux changements conceptuels des élèves qui ont suivi un cours de type « traditionnel » ou de type « interactif ». Un cours est classé traditionnel lorsque l'enseignant affirme que son cours est donné principalement sous forme magistrale et utilise des laboratoires très dirigés. À l'opposé, un cours est classé interactif lorsque l'enseignant indique que son cours se base principalement sur l'implication des élèves dans des activités, celles-ci permettant des rétroactions instantanées avec les pairs ou l'enseignant. Le même questionnaire, le *Force Concept Inventory* (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992), a été utilisé pour toutes ces études, ce qui permet de comparer les résultats. La conclusion de Hake est que les cours de physique mécanique portant l'élève au centre de l'enseignement dans des situations interactives sont généralement plus efficaces pour provoquer des changements conceptuels.

L'arrivée des ordinateurs personnels a permis de construire plusieurs environnements idéaux pour offrir des situations interactives. Ces représentations par ordinateur sont particulièrement efficaces pour supporter et développer les intuitions des élèves, et ce savoir intuitif est la base qui leur permettra de développer leur savoir scientifique (diSessa, 2001). Or, il existe un type de représentation informatisé particulièrement populaire chez les jeunes : le jeu vidéo. En effet, 97% des adolescents aux États-Unis jouent à ce type de jeu disponible sur ordinateur, Internet, appareil portable ou console (Lenhart et al., 2008). Encouragé par cet engouement pour ce nouveau médium, des chercheurs se sont intéressés au potentiel éducatif des jeux vidéo.

1.4 Le potentiel des jeux vidéo

Souhaitant investiguer l'utilisation des jeux vidéo en classe, l'ISFE (Interactive Software Federation of Europe) a confié à l'European Schoolnet (un réseau de ministères chargés de

l'éducation) la réalisation d'un premier état des lieux au niveau européen. Leur rapport récent, basé sur l'analyse de six études de cas dans divers pays, conclut que « l'ensemble des constats évoqués [dans ce rapport] indique que l'utilisation des jeux [vidéo] en classe a quelque chose à apporter aux systèmes éducatifs. » (Wastiau, Kearney, & Van den Berghe, 2009).

Ce même rapport dénote quelques caractéristiques des jeux qui semblent concorder avec des éléments jugés essentiels pour provoquer le changement conceptuel. D'abord, les jeux contiennent au cœur même de leur déroulement la formulation d'un compte-rendu au joueur (Wastiau et al., 2009), ce qui est une des caractéristiques importantes identifiées par Hake (1998) lorsqu'il réfère aux cours interactifs. Ensuite, ils donnent au joueur un rôle actif (Wastiau et al., 2009), et l'implication d'un élève dans le processus de restructuration de son savoir est un critère important pour qu'il apprenne un nouveau concept (Dreyfus, Jungwirth, & Elovitch, 1990).

En ce qui concerne les études empiriques, une revue de littérature sur l'efficacité des jeux vidéo éducatifs indique que la plupart des 48 études analysées ont observé un apprentissage suite à l'utilisation des jeux (Hays, 2005). Toutefois, pour la majorité des études qui incluaient un groupe de contrôle, le groupe expérimental qui utilisait le jeu et le groupe de contrôle ont produit des effets similaires. Un des principaux résultats de cette revue est qu'il ne faut pas généraliser les résultats des études sur les jeux pour tous les domaines, puisque ces domaines présentent des difficultés d'apprentissage différentes. Par exemple, l'apprentissage par cœur de tables de multiplication demande des techniques d'enseignement qui sont susceptibles d'être différentes de celles qui sont efficaces pour provoquer un changement conceptuel.

Or si les constats sur l'efficacité des jeux vidéo éducatifs sont variés, tous s'entendent sur le besoin de mener plus de recherches rigoureuses dans ce domaine. La première conclusion de la revue de littérature de Hays (2005) est que les recherches empiriques sur l'efficacité des jeux vidéo éducatifs sont fragmentées, remplies de termes mal définis et d'erreurs méthodologiques. Une de ces erreurs fréquentes est que les jeux qui sont testés produisent bien des résultats positifs sur l'apprentissage, mais l'absence fréquente d'un groupe de

contrôle ne permet pas de comparer si ces jeux sont plus efficaces qu'un enseignement plus traditionnel.

Le rapport de l'European Schoolnet indique de même que « les enseignants interrogés déclarent souhaiter en savoir plus sur l'utilisation des jeux électroniques en classe, et en particulier disposer d'études d'impact consacrées à de telles pratiques » (Wastiau et al., 2009). Quelques recherches d'envergure ont été analysées dans ce rapport, mais « une grande partie des recherches menées ne concernent pas l'utilisation du jeu dans un contexte pédagogique scolaire. Or, c'est précisément à ce niveau que se situent les besoins des enseignants. » (Wastiau et al., 2009). Le rapport identifie quelques thématiques prioritaires de recherche, dont celles-ci, auxquelles nous avons choisi de nous intéresser : « Quel type de jeu, pour quel impact sur quelles compétences, et dans quel type de contexte pédagogique? » et « Quel rôle pour l'enseignant afin de bénéficier pleinement du potentiel des jeux dans le processus pédagogique? » (Wastiau et al., 2009).

1.5 La recherche sur les jeux vidéo en physique mécanique

Le domaine de la physique mécanique éprouve un besoin important pour un type d'enseignement qui met l'élève au cœur de son apprentissage, et les jeux semblent constituer une piste intéressante pour y arriver. Quelques chercheurs se sont conséquemment aventurés à construire des jeux éducatifs portant sur la physique mécanique, mais les études manquent de sujets pour être interprétées autrement que comme une indication préliminaire de leur potentiel (Clark, Nelson, D'Angelo, Slack, & Martinez-Garza, 2010; Potvin, Riopel, Charland, Ayotte, & Boucher-Genesse, 2010; Rieber & Noah, 1997; White, 1984). De plus, seulement deux de ces études utilisent un groupe de contrôle, et aucune n'étudie l'effet de rétention de l'apprentissage. Le corpus actuel ne permet donc pas de tirer des conclusions définitives sur l'efficacité des jeux vidéo éducatifs dans le domaine de la physique mécanique.

Or, s'il existe un contexte favorable pour étudier l'impact des jeux sur le changement conceptuel en physique mécanique, l'outil nécessaire à cette étude semble manquer. Les jeux construits pour les recherches existantes en physique mécanique n'étudient qu'un nombre

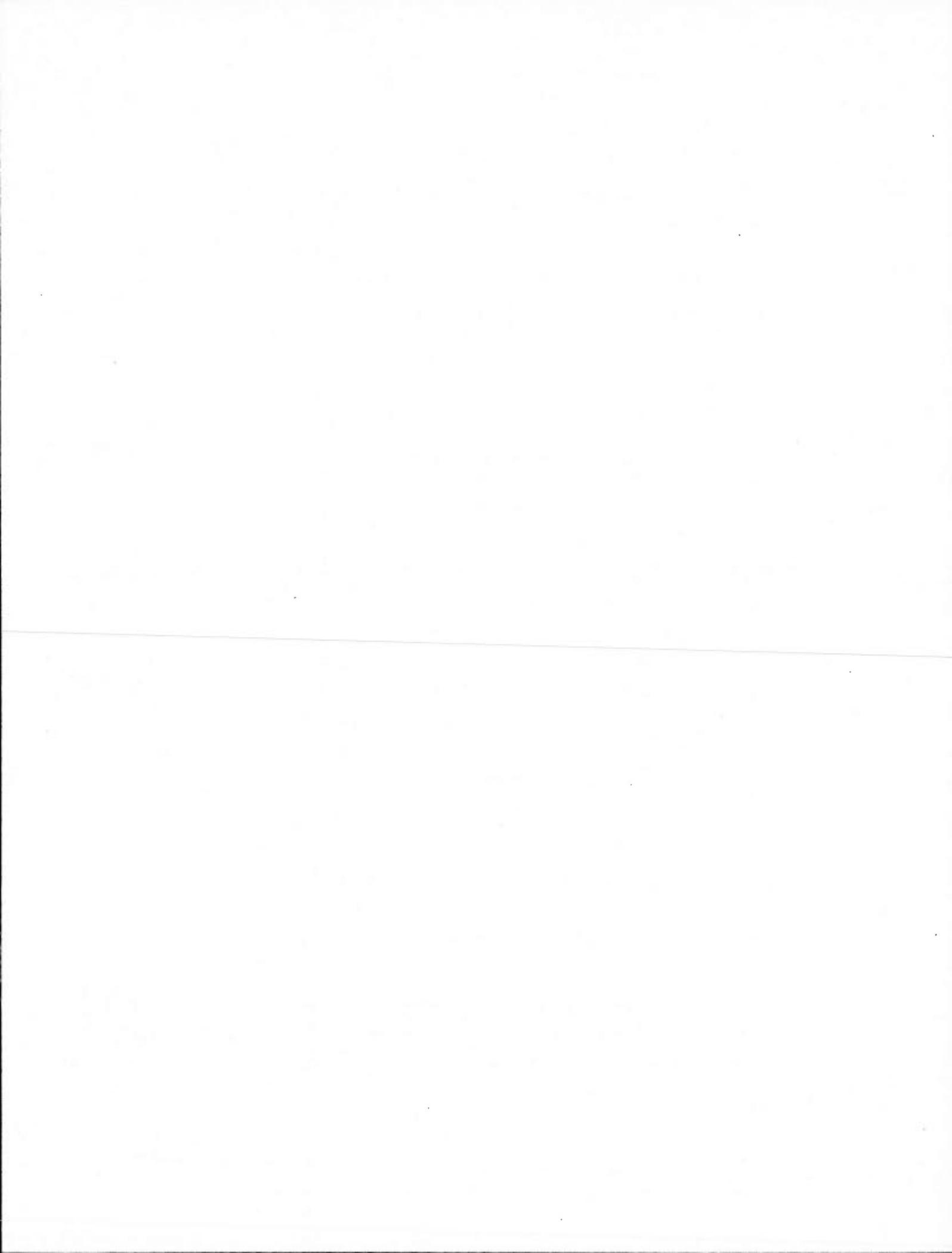
limité de types de forces, ne sont pas assez complexes ou n'encouragent pas la réflexion (se référer à l'analyse détaillée de ces études et des jeux qu'ils utilisent à la section 2.2.2 des considérations théoriques, au chapitre II). Il est donc souhaitable de produire ou faire produire un nouveau jeu pour mener une étude qui permettra de mettre en évidence une différence au niveau conceptuel chez les élèves.

1.6 Objectif de recherche

En résumé, puisque:

- le nombre d'élèves inscrits en sciences physiques diminue;
- l'OCDE recommande de changer l'enseignement de la physique pour le rendre plus attrayant, et de se concentrer sur les concepts;
- les conceptions initiales sont résistantes à l'enseignement traditionnel de la physique;
- les enseignements qui ont plus de chance de provoquer un changement conceptuel
 - tiennent compte de ces conceptions initiales;
 - impliquent l'élève activement dans le cours;
 - donnent des rétroactions instantanées;
- les ordinateurs, et plus spécifiquement les jeux vidéo, répondent à ces critères et sont particulièrement bien adaptés pour influencer l'intuition des joueurs;
- les jeux éducatifs ont prouvé leur efficacité dans certains domaines, mais ces résultats ne peuvent pas être transférés automatiquement à toutes les autres disciplines;
- quelques études semblent montrer un certain potentiel pour les jeux vidéo éducatifs dans le domaine de la physique mécanique, mais la faiblesse des méthodologies utilisées ne permet pas de conclure à leur efficacité dans ce domaine spécifique;
- il n'existe pas actuellement de jeu optimisé pour étudier l'influence de ce médium sur le changement conceptuel en physique mécanique;

nous proposons de concevoir un nouveau jeu vidéo et de le mettre à l'épreuve dans une expérimentation avec un groupe de contrôle. Plus précisément, notre objectif de recherche est de montrer expérimentalement l'effet positif sur le changement conceptuel de scénarios d'utilisation d'un jeu vidéo éducatif conçu spécifiquement pour intervenir sur certaines conceptions en physique mécanique.



CHAPITRE II

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Ce projet de recherche s'intéresse aux changements conceptuels associés à l'utilisation des jeux vidéo. Les considérations théoriques seront donc divisées en trois parties: la première partie portera sur les conceptions initiales en physique mécanique, la seconde sur les études existantes sur les jeux vidéo en physique mécanique, et la troisième sur le fonctionnement de l'outil utilisé pour la recherche, *Mécanika*.

2.1 Les conceptions initiales en physique mécanique

Vers le début des années 1980, quelques chercheurs ont constaté que les élèves arrivaient déjà en classe de physique mécanique avec des idées préconçues (Clement, 1982; I. Halloun & Hestenes, 1985). Ces auteurs ont proposé que ces idées préconçues des élèves reposent sur un système de croyances basé sur le « bon sens » et sur des intuitions qui proviennent de leurs observations du monde qui les entoure. Toujours selon ces chercheurs, ces croyances, que nous nommerons « conceptions initiales », sont très stables, changent peu après un cours en physique mécanique, et sont souvent en contradiction avec les concepts Newtoniens enseignés.

Une des particularités qui rend l'étude de ces conceptions intéressantes est que plusieurs élèves partagent les mêmes conceptions initiales (I. Halloun & Hestenes, 1985). Il est ainsi possible d'établir un curriculum qui tienne compte de ces conceptions fréquentes et

« populaires » pour aider un plus grand nombre d'élèves à comprendre les phénomènes étudiés. Les études de diSessa (1993) et de Hestenes et al. (1992) ont permis de construire deux taxonomies distinctes basées sur ces conceptions initiales des élèves en physique mécanique.

Les études de diSessa (1993) montrent que plusieurs croyances sont fondées sur des ressources cognitives qu'il nomme « primitives phénoménologiques », ou *p-prims*. Ces *p-prims* sont des abstractions naïves qui sont utilisées pour expliquer certaines situations spécifiques. Par exemple, la *p-prim* « force as a mover » est la croyance que les objets se déplacent dans la direction où ils sont poussés, peu importe leur vitesse initiale. DiSessa a construit une liste simple de ces *p-prims* (diSessa, 1993, p. 217), ce qui permet aux concepteurs de situations pédagogiques de s'attarder sur chacune sans en oublier.

Hestenes et al. (1992) ont eux aussi construit une taxonomie de conceptions initiales (expliquée au Tableau 2.1). Cette taxonomie sera utilisée dans le cadre du présent travail, puisqu'elle est directement reliée à un instrument de recherche, le *Force Concept Inventory*, l'outil le mieux validé et le plus universellement utilisé. Il semble donc être tout indiqué pour mesurer l'impact du jeu qui sera développé pour l'étude décrite dans ce mémoire.

2.1.1 Le Force Concept Inventory

2.1.1.1 Le test

Le *Force Concept Inventory*, ou *FCI* (Hestenes et al., 1992), est une version évoluée du *Mechanics Diagnostic Test*, un instrument de recherche produit par les mêmes auteurs. Le test tente d'évaluer les conceptions d'un élève en lui soumettant des choix de réponses qui correspondent aux conceptions initiales les plus fréquentes (en plus de la bonne réponse). Ces choix erronés ont été obtenus en demandant à un groupe initial d'élèves d'écrire et expliquer leurs réponses, au lieu d'utiliser des choix de réponses prédéterminées. Comme les questions sont écrites dans un langage simple et facilement compréhensible par des élèves non-initiés à la physique, le test peut être passé avant et après un cours de physique.

Les résultats au test sont remarquablement constants entre différents groupes : Hestenes et al. (1992) ont observé que les résultats de plus de mille élèves suivant un cours traditionnel

donné par sept enseignants différents étaient très similaires. Ces résultats ont depuis été reproduits par d'autres auteurs dont Hake (1998), qui a observé la même constance avec 6542 élèves. Cette stabilité du test ainsi que l'analyse des réponses en entrevue ont permis d'établir que le *FCI* mesure précisément la compréhension des concepts Newtoniens de force. Ainsi, la possibilité d'une réponse fautive à un item donnée à tort (faux négatif) est estimée à moins de 10%, alors que la possibilité d'une bonne réponse à un item donnée à tort (faux positif) est un peu plus haute, considérant qu'un choix au hasard donne 20%.

2.1.1.2 Taxonomie

Les auteurs ont divisé les conceptions initiales les plus fréquentes et les plus importantes de la physique Newtonienne en catégories, et ont indiqué à quel choix de réponse du test elles correspondent. Cette liste, reproduite au Tableau 2.1, s'avère très utile pour analyser et comprendre les conceptions initiales qui influencent les réponses erronées des élèves.

Tableau 2.1

La taxonomie des conceptions initiales dans le *Force Concept Inventory*, tel que définie par Hestenes et al. (1992)

Conception initiale	Item au <i>FCI</i>
0. Cinématique	
K1. Position - vitesse non distinguées	19B,C,D
K2. Vitesse - accélération non distinguées	19A; 20B,C
K3. Composition non vectorielle de la vitesse	9C
K4. Système de référence égocentrique	14A,B
1. Impetus	
I1. Impetus fournit par un impact	5C,D,E; 11B,C; 27D; 30B,D,E
I2. Perte/recouvrement de l'impetus d'origine	7D; 8C,E; 21A; 23A,D
I3. Dissipation de l'impetus	12C,D; 13A,B,C; 14E; 23D; 24C,E; 27B
I4. Augmentation graduelle de l'impetus	8D; 10B,D; 21D; 23E; 26C; 27E
I5. Impetus circulaire	5C,D,E; 6A; 7A,D; 18C,D
2. Forces actives	
AF1. Seuls des agents actifs exercent des forces	15D; 16D; 17E; 18A; 28B; 29B; 30A
AF2. Un mouvement implique une force active	5C,D,E; 27A
AF3. Mouvement nul = force nulle	29E
AF4. La vitesse est proportionnelle à la force appliquée	22A; 26A

Conception initiale	Item au FCI
AF5. L'accélération implique une force croissante	3B
AF6. Une force cause l'accélération jusqu'à la vitesse maximale	3A; 22D; 26D
AF7. Une force active se dissipe	22C,E
3. Paires action/réaction	
AR1. Plus de masse implique plus de force	4A,D; 15B; 16B; 28D
AR2. L'agent le plus actif produit le plus de force	15C; 16C; 28D
4. Concaténation des influences	
CI1. La plus grande force détermine le mouvement	17A,D; 25E
CI2. Un compromis des forces détermine le mouvement	6D; 7C; 12A; 14C; 21C
CI3. La dernière force à agir détermine le mouvement	8A; 9B; 21B; 23C
5. Autres influences sur le mouvement	
CF. Force centrifuge	5E; 6C,D,E; 7C,D,E; 18E
Ob. Des obstacles n'exercent pas de forces	4C; 5A; 11A,B; 15E; 16E; 18A; 29A
Résistance	
R1 La masse fait s'arrêter les objets	27A,B
R2. Mouvement lorsque la force excède la résistance	25A,B,D; 26B
R3. La résistance s'oppose à la force/impetus	26B
Gravité	
G1. L'air assiste la gravité	3E; 11A; 17D; 29C
G2. Gravité intrinsèque à la masse	3D; 11E; 13E
G3. Objets plus lourds tombent plus vite	1A; 2B,D
G4. La gravité augmente avec la chute des objets	3B; 13B
G5. La gravité agit après la dissipation de l'impetus	12D; 13B; 14E

La conception initiale CI3, par exemple, indique que la dernière force à interagir avec un objet déterminera complètement sa trajectoire (ce qui correspond à la *p-prim* « Force as a mover » de diSessa). Prenons l'exemple d'une rondelle de hockey vue du dessus qui se déplace à une vitesse constante vers la droite, tel qu'illustré à la Figure 2.1.

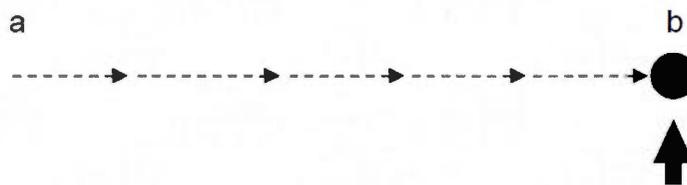


Figure 2.1 La question 8 du *Force Concept Inventory* - une rondelle se déplace à l'horizontale sur la glace

Selon la conception CI3, un coup de bâton au point b vers le haut déterminera complètement sa trajectoire. La Figure 2.2 montre que la vitesse initiale horizontale est complètement ignorée, puisque la dernière force, le coup de bâton, agit seulement dans l'axe vertical.

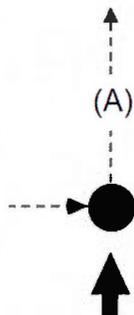


Figure 2.2 Le choix A à la question 8 indique que l'élève possède probablement la conception initiale CI3

2.1.1.3 Interprétations du Force Concept Inventory

Lorsque deux groupes d'un devis d'expérimentation sont comparés, la note qui devrait être utilisée n'est pas la moyenne des résultats d'un groupe au *FCI*, mais plutôt le gain moyen normalisé entre deux points de mesure au *FCI* (post-test et pré-test). Cette formule, proposée par Hestenes & Halloun (1995), est le ratio entre le gain moyen sur le gain maximum possible.

$$h = \frac{\% \text{ post} - \% \text{ pre}}{100 - \% \text{ pre}}$$

La raison de cet ajustement est que les élèves qui obtiennent une note élevée au pré-test ont des chances plus faibles d'obtenir un fort gain en pourcentage, comparativement aux élèves qui obtiennent une note très faible initialement. Cette formule du gain moyen ajusté permet

de prendre en considération l'écart limité entre la plus haute note possible de 100% et les notes élevées au pré-test.

Un gain $h=0.60$ et plus est un gain fort, $h=0.20$ est un gain faible. La Figure 2.3 montre l'effet de diverses techniques d'enseignement sur 7500 élèves. Le gain de l'enseignement traditionnel est de $h=0.22$, alors que les enseignants qui ont été entraînés et ont utilisé le *Modeling instruction*, une technique d'enseignement qui tient compte des conceptions initiales des élèves, obtiennent un gain plus fort de $h=0.35$. La colonne de droite ($h=0.56$) réfère au gain obtenu par un sous ensemble d'enseignants particulièrement familiers avec la technique du *Modeling instruction*, et qui l'utilisent pour la deuxième année.

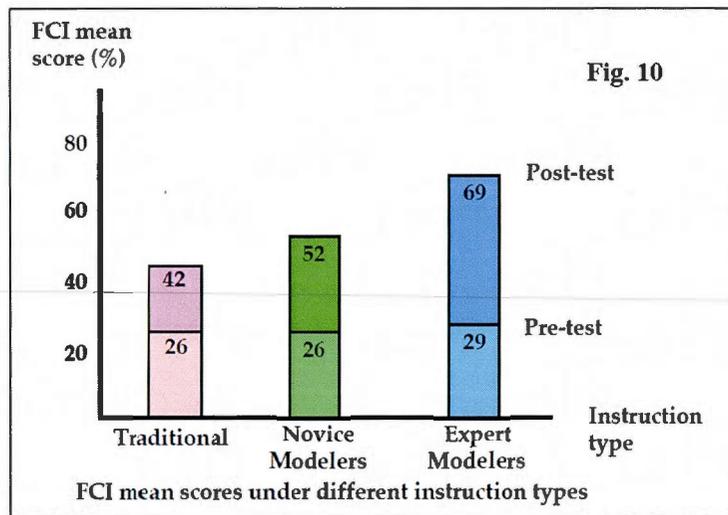


Figure 2.3 Les données provenant du *Modeling Instruction Project* entre 1995 et 1998 (Hestenes, 2006)

La note moyenne au *FCI* sera tout de même utilisée afin de comparer les résultats observés avec ceux des autres études. Les auteurs estiment d'ailleurs qu'une note moyenne de 85% et plus indique une maîtrise des concepts Newtoniens, et qu'une note de 60% est le seuil minimal pour comprendre la physique Newtonienne. La note normale au pré-test pour des élèves au secondaire est de 26%. Leur post-test après un enseignement traditionnel se situe généralement autour de 42%.

Si la note finale et la formule du gain h permettent d'avoir une vue d'ensemble de la compréhension Newtonienne des élèves, il n'en demeure pas moins intéressant de

Si la note finale et la formule du gain h permettent d'avoir une vue d'ensemble de la compréhension Newtonienne des élèves, il n'en demeure pas moins intéressant de comprendre quels concepts en particulier sont les plus affectés par une nouvelle méthode pédagogique. On peut pour ce faire classer les items du test en catégories. Le classement de Savinainen et Scott (2002) en 6 catégories (la cinématique, la 1^{ère} loi de Newton, la 2^e loi de Newton, la 3^e loi de Newton, la force gravitationnelle et les forces de contact) sera utilisé, puisque celui-ci correspond assez bien aux concepts prescrits au programme de cinquième secondaire au Québec (Champagne, 2010).

Heller et Huffman (1995) ont mis en doute le fait qu'on puisse décomposer le concept de force en six dimensions conceptuelles. Ils ont analysé les réponses des élèves de 145 écoles secondaires et de 750 universités, et ont déterminé que bien que les items du *FCI* peuvent être reliés en catégories, les réponses à ces items dans ces catégories ne corrélaient pas toujours bien ensemble. Ces auteurs affirment donc que le *FCI* mesure une partie des connaissances des élèves, qui ne forme pas nécessairement un concept de force cohérent. Hestenes et Halloun (1995) affirment que cette analyse correspond parfaitement à leur propre diagnostic : la note au *FCI* est plutôt une mesure de la différence entre les conceptions des élèves et les conceptions Newtoniennes. De plus, il a été récemment montré que les conceptions des élèves ont justement tendance à ne pas former un tout cohérent (Lasry et al., 2011), ce qui explique les résultats observés par Heller et Huffman. Les catégories de Savinainen peuvent tout de même être utilisées afin d'étudier dans quel domaine les élèves ont tendance à modifier leurs conceptions initiales pour des conceptions Newtoniennes.

La plupart des chercheurs sont d'accord pour dire qu'une faible note au *FCI* indique une lacune dans la compréhension des concepts de base en mécanique. Heller et Huffman ont toutefois avancé qu'une note élevée n'indique pas nécessairement une compréhension unifiée des forces. Malgré cette objection, ces mêmes auteurs admettent pourtant que le *FCI* est un des tests de physique les plus fiables et les plus utiles pour les enseignants, et qu'il s'agit du meilleur test disponible pour évaluer l'efficacité de l'enseignement dans les cours de physique mécanique (Heller & Huffman, 1995). Il a aussi été montré que le test a une cohérence interne élevée (Lasry et al., 2011), ce qui indique que la note des élèves au test ne changera pas si ceux-ci ne vivent pas de changement conceptuel en physique mécanique.

Il semble approprié, considérant ce quasi-consensus scientifique, de baser la conception de nouvelles méthodes d'enseignement sur la taxonomie des conceptions initiales (Tableau 2.1) qui définit le *Force Concept Inventory*. Un jeu vidéo éducatif qui vise à provoquer un changement conceptuel chez les élèves en physique mécanique pourrait donc lui aussi être construit en tenant compte de cette taxonomie.

2.1.2 Le changement conceptuel

Le changement conceptuel, soit l'acte de construire de nouvelles idées en présence de leurs conceptions initiales (diSessa, 2006), a été étudié à partir de quelques perspectives théoriques. Un des modèles d'apprentissage décrit le changement conceptuel comme un conflit entre les conceptions initiales d'un apprenant et les nouvelles conceptions (Hewson & A'Beckett-Hewson, 1984). Il est suggéré que l'apprenant acceptera probablement une nouvelle conception si elle est "intelligible, vraisemblable et fertile" (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982). D'autres facteurs importants favorisent le changement conceptuel, comme par exemple la cohérence interne des idées d'un élève.

Ce modèle semble aussi bien s'appliquer aux conceptions initiales en physique mécanique. Des chercheurs de l'Université de Maryland ont conçu une suite de tutoriels afin d'en étudier l'efficacité à provoquer un changement conceptuel chez les élèves. Ces tutoriels, basés sur les travaux de chercheurs de l'Université de Washington, tentent de provoquer un conflit cognitif chez l'élève en lui présentant des situations qui ont toutes les chances d'être incompatibles avec ses conceptions initiales. Les chercheurs ont démontré que cette approche est beaucoup plus efficace que les cours traditionnels pour changer les conceptions initiales des élèves, tel que mesuré par le *Force Concept Inventory* (Redish, Saul, & Steinberg, 1997). Il semblerait donc que la provocation de conflits cognitifs pourrait être une stratégie prometteuse pour un jeu vidéo éducatif en physique mécanique.

2.2 Études sur les jeux vidéo portant sur la physique mécanique

Les jeux vidéo éducatifs ont fait l'objet d'un nombre important d'études ces dernières années (Hays, 2005). La plupart des études sur les logiciels sont toutefois basées sur des simulations

concentrerons sur les jeux vidéo dans cette étude, il convient de bien définir ce terme avant de sélectionner les études qui seront pertinentes à analyser.

2.2.1 La définition de jeu vidéo

La définition de jeu vidéo passe d'abord par l'observation de ce qu'on entend par un jeu. Le média utilisé pour jouer au jeu est en effet peu important dans cette définition : les jeux de sports existent autant dans la vie réelle que sur console, et les jeux de carte les plus populaires existent tous sur ordinateur.

Comme les concepts de « jeu » et de « jouer » sont assez différents pour mériter des noms distincts dans d'autres langues (*play* et *game* en anglais), il est important de noter que le concept qui sera ici étudié portera sur le jeu lui-même (*game*). Plusieurs auteurs ont tenté de définir la notion de jeu (Abt, 2002; Avedon & Sutton-Smith, 1979; Caillois, 2001; Costikyan, 2002; Crawford, 1984; Huizinga, 1971; Juul, 2003; Kelley, 1998; Parlett, 1999; Salen & Zimmerman, 2003; Suits, 2005). Ces auteurs s'entendent tous sur le fait qu'un jeu possède un ensemble de règles, mais leurs définitions ne s'entrecroisent pas d'avantage.

La définition utilisée pour cette recherche est celle de Jesper Juul, puisqu'elle provient d'une méta-analyse détaillée des définitions précédentes, tient compte des aspects les plus importants de ces définitions, et se concentre sur la notion de « jeu » plutôt que sur la notion de « jouer ».

« A game is a rule-based formal system with a variable and quantifiable outcome, where different outcomes are assigned different values, the player exerts effort in order to influence the outcome, the player feels attached to the outcome, and the consequences of the activity are optional and negotiable. » (Jesper Juul, 2003, p. 35)

Cette définition comporte plusieurs éléments essentiels qui sont explicités dans le Tableau 2.2.

Tableau 2.2
Éléments essentiels de la définition de « jeu » selon Juul (2003)

Élément	Description
Basé sur des règles formelles	Les règles décrivent ce que le système de jeu produira en sortie; elles doivent être assez bien définies pour permettre de jouer sans avoir à les remettre en question régulièrement. Ces règles sont apparentées au terme « mécanique de jeu » (<i>game mechanism</i>), qui selon Sicart (2008), sont des méthodes conçues pour interagir avec l'état actuel du jeu. Lorsque trois cercles forment une ligne dans un jeu de Tic-Tac-Toe, une des mécaniques du jeu (ou méthode) stipule que l'état du jeu passe de l'état « jeu » à l'état « victoire ».
Résultats variables et quantifiables	Un « résultat » est une modification significative de l'état du jeu. Dans une partie de basketball, l'état du jeu change à chaque fois qu'un point est compté, mais également lorsque la partie se finit. Un jeu doit avoir plusieurs résultats possibles (à l'encontre du théâtre ou du cinéma), sinon l'interaction entre le joueur et le jeu n'aurait aucun impact. Un résultat quantifiable signifie simplement que le résultat du jeu doit être compris par le joueur.
Valorisation du résultat	Certains résultats doivent être jugés mieux que d'autres. Gagner à un jeu est ainsi souvent jugé plus intéressant que de perdre.
Effort du joueur	Le jeu doit présenter un défi pour le joueur; la tâche à remplir ne doit pas être triviale. Si elle l'était, le résultat du jeu ne serait pas variable, puisque le joueur gagnerait à chaque tentative.
Attachement du joueur au résultat	Le joueur doit ressentir une émotion reliée au résultat du jeu.

Élément	Description
Conséquence de l'activité optionnelle	<p>Le jeu doit être pouvoir joué sans conséquences dans la vie réelle. Des joueurs de basketball peuvent jouer professionnellement et être payés, ou les spectateurs peuvent même miser de l'argent sur le résultat, ce qui a des conséquences dans le vrai monde. L'activité du « basketball » reste par contre un jeu, parce qu'il demeure possible de pratiquer celle-ci sans ces conséquences.</p> <p>Cette précision permet de distinguer les jeux de combat de la guerre, telle que définie selon le protocole de Genève. La guerre est un système qui se base sur des règles formelles (prohibition de certains gaz), les résultats sont variables, quantifiables, valorisés, etc. Toutefois, à la différence des jeux de combat, la guerre véritable ne peut être exercée sans conséquences réelles dans le monde.</p>

La notion de jeu étant mieux délimitée, il devient maintenant possible de définir ce qui est entendu par « jeu vidéo ». La définition qui sera retenue pour la présente étude est celle d'un jeu dont la majorité des règles sont gérées par un système électronique. Cet aspect a permis aux jeux vidéo d'offrir des règles beaucoup plus complexes; les joueurs n'ont plus la tâche d'administrer ces règles de jeu, ce qui leur permet de les découvrir tout en jouant (Juul, 2003).

Un jeu vidéo ne se doit pas nécessairement d'intégrer une partie « vidéo », au sens d'une suite fluide d'images. En ce sens, le terme « jeu digital », tel qu'utilisé par Salen & Zimmerman (2003), serait probablement plus approprié. Selon ces auteurs, si les jeux digitaux ne se départagent pas aisément des jeux, ils possèdent tout de même quelques caractéristiques en commun. D'abord, les jeux digitaux permettent une interactivité immédiate, mais limitée, puisque la plupart de ces interactions se passent par le biais de claviers, manettes, et boutons. Ensuite, ils permettent d'automatiser le déroulement de systèmes complexes, ce qui permet à certains types de jeu d'exister. Toutefois, comme le

terme « jeu digital » n'est pas adopté par la communauté scientifique, nous nous en tiendrons ici au terme « jeu vidéo ».

La caractéristique principale des jeux vidéo qui permet de les distinguer des simulations se trouve au niveau de la valorisation des résultats. Une simulation offre un environnement informatisé basé sur des règles formelles, mais n'indique pas si un état de la simulation est préféré à un autre. Par opposition, dans un jeu vidéo, on valorise les états qui permettent de franchir les obstacles, de gagner, de réussir les niveaux, etc. Sauvé et al. (2007) expliquent de même que les simulations modélisent le plus fidèlement possible la réalité, ce qui n'est pas nécessairement le cas des jeux vidéo. La notion de jeu vidéo étant définie, il convient maintenant d'analyser les recherches existantes portant sur l'efficacité des jeux vidéo en physique mécanique.

2.2.2 Les études effectuées sur les jeux vidéo en physique mécanique

Lors de sa revue de la littérature sur l'efficacité des jeux vidéo éducatifs, Hays (2005) a constaté que malgré le nombre important d'articles publiés sur le sujet, la plupart expriment essentiellement des opinions sur le potentiel des jeux, et quelques-uns seulement sont des recherches empiriques avec des résultats statistiquement significatifs. Les recherches qui portent spécifiquement sur la physique mécanique sont encore plus rares; elles seront analysées dans cette section. Les jeux utilisés par ces études seront d'abord brièvement décrits, puis les détails de la recherche et leur critique suivront. Des caractéristiques importantes pour la recherche et le développement de jeux seront soulevées lors de ces analyses, et elles seront par la suite énumérées sous forme de critères. Ces critères seront utiles pour diriger la conception et l'étude d'un nouveau jeu.

2.2.2.1 Le vaisseau spatial de White (1984)

Barbara White utilise un jeu simple pour cette étude, où le joueur contrôle un vaisseau dans l'espace. Il évolue dans un monde idéal pour expliquer les lois de Newton (sans friction ni gravité), grâce à des impulsions de grandeur fixe que le joueur envoie en temps réel par clavier dans une des quatre directions cardinales. Chaque niveau représente un défi

particulier; dans un cas le jeu demande par exemple d'arriver à une vitesse nulle sur une position précise, dans l'autre il demande de frapper une cible.

Le jeu a été testé sur un petit nombre d'élèves ($N=18$) au secondaire, l'âge moyen étant d'environ 16 ans. Les sujets répondaient à un test écrit en pré-test, utilisaient le jeu pendant une heure, sans l'assistance d'un enseignant, et répondaient une seconde fois au même test. Le test utilisé a été conçu par White (1984), puisque le *FCI* n'existait pas encore à ce moment. Un groupe témoin ($N=14$) qui n'a subi aucune intervention a aussi répondu à ces tests, afin de compenser pour l'apprentissage pouvant résulter du simple fait de répondre au pré-test. Les élèves du groupe expérimental ont vécu un gain important entre le pré-test et le post-test, comparativement au groupe de contrôle ($t = 3.94$, $df = 30$, $p = .0002$).

Cette étude comporte plusieurs limites. D'abord l'échantillon utilisé est très restreint ($N=18$). Ensuite, le test était très similaire au jeu; les mises en situation reprenaient exactement le contexte du jeu, soit un vaisseau dans l'espace. Le *Force Concept Inventory*, un test désormais standard pour évaluer les concepts des sujets en physique mécanique, serait plus approprié pour mesurer le transfert des notions apprises dans le jeu vers d'autres contextes.

De plus, si les résultats semblent indiquer que le jeu peut probablement aider à comprendre des principes de la physique mécanique, il ne compare pas l'efficacité du jeu à un autre type d'enseignement. Il est facile de concevoir que n'importe quelle tâche sur un sujet en particulier entraîne un certain effet d'apprentissage, mais il serait bien plus utile de savoir si cette tâche est plus efficace qu'une autre.

Dans un autre ordre d'idée, il n'y a aucune étude de la rétention des concepts après plusieurs semaines. Les gains observés seraient beaucoup plus pertinents s'ils étaient persistants, et non pas mesurés directement après avoir utilisé le jeu. Ainsi une étude portant sur le changement conceptuel recommande de faire un post-test peu après le traitement, mais de porter aussi une attention particulière au risque de mesurer un changement conceptuel temporaire seulement (Potvin, Riopel, Charland, & Mercier, accepté).

Enfin, les dernières critiques s'adressent au jeu produit pour cette étude, et proviennent directement de l'auteur. D'abord, White remarque que les élèves devraient expérimenter avec plusieurs types de forces au lieu de simplement se limiter aux impulsions, en ajoutant par

exemple les forces du vent ou de la gravité. Ensuite, elle remarque aussi qu'une progression graduelle vers un modèle idéal pour enseigner les lois de Newton aiderait les élèves à faire progresser leurs conceptions initiales :

« It was suggested previously that one of the sources of "neglect-momentum" difficulties is that the students live in a world where friction affects the motion of objects. This leads to beliefs such as, things go in the direction that you kick them and you need a constant force to get constant motion. In order to make links between these intuitive beliefs derived from everyday experiences and the reality of Newton's laws, the students need to become aware of the role of friction and, further, that in a world without friction, things do not necessarily go in the direction that one kicks them and that one does not need a constant force to get constant motion. One way to perhaps achieve this awareness within the context of the Newtonian microworld is to introduce friction into the microworld and then gradually remove it. » (White, 1984, p.90)

Un des problèmes soulevés par l'utilisation de ce logiciel est que les variables du jeu n'étaient pas représentées clairement. Ainsi, les changements de vitesse du vaisseau n'étaient pas souvent perçus par les élèves, et sa trajectoire n'était pas bien représentée. White suggère d'utiliser des supports visuels pour illustrer ces variables, en représentant par exemple la trajectoire passée du vaisseau par une trace continue, ou en affichant constamment la vitesse du vaisseau sur celui-ci. Enfin, la dernière recommandation de White est de créer des défis qui portent à la fois sur la vitesse et la direction des objets, et qui montrent ainsi une plus grande complexité.

2.2.2.2 Le projet SURGE de Clark et al. (2010)

La Fondation Nationale pour la Science (National Science Foundation) aux États-Unis a accordé un financement important d'environ 400 000\$ US en janvier 2010 pour un projet de recherche nommé SURGE (*Scaffolding Understanding by Redesigning Games For Education*) (Clark et al., 2010). SURGE utilise un jeu, illustré à la Figure 2.4, qui se veut la suite logique du vaisseau de White (1984). Les joueurs contrôlent encore un vaisseau dans l'espace à l'aide d'impulsions, mais ils pourront éventuellement aussi le contrôler grâce à des impulsions répétées en continu. D'autres petits jeux basés sur des principes différents sont aussi présents dans ce projet.

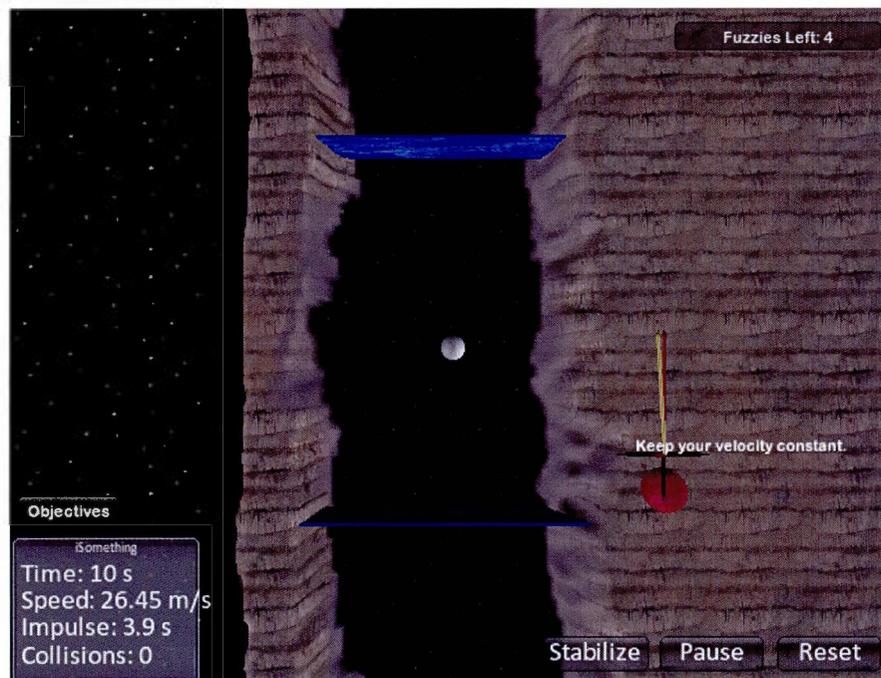


Figure 2.4 Une capture d'écran de SURGE

L'étude de l'université de l'Arizona porte sur un contenu dédié à des enfants assez jeune (13-14 ans), et couvre ainsi une portion assez restreinte des concepts de physique mécanique vus au Québec à la fin du secondaire. Les chercheurs ont cette fois utilisé une portion du *Force Concept Inventory*, contrairement à White, pour déterminer l'impact de leur outil. Les premiers résultats ne sont basés que sur la différence entre le pré-test et le post-test pour 24 élèves universitaires, et donc beaucoup plus âgés. Les élèves ont démontré un gain significatif ($p = 0.037$) pour la plupart des items testés du *FCI*, sauf pour un item qui a diminué de façon significative ($p = 0.029$). Bien que ces résultats préliminaires ne se basent pas sur un échantillon assez grand pour conclure quoi que ce soit de façon significative, ils pointent tout de même vers deux conclusions: un jeu éducatif portant sur l'apprentissage de la physique Newtonienne peut potentiellement être efficace pour provoquer un changement conceptuel, mais ce changement peut aussi par inadvertance renforcer des conceptions initiales.

Cette étude, bien que préliminaire, ne comporte qu'un nombre limité de sujets, n'a pas de groupe de contrôle et n'a pas examiné l'effet de rétention du gain.

Le jeu utilisé possède aussi quelques lacunes. SURGE commence dans un monde sans gravité, ce qui correspond à un modèle optimal pour représenter les lois de Newton. Bien que ce modèle soit simple du point de vue des règles physiques en jeu, il est par contre assez intimidant et complexe pour les élèves, puisqu'ils n'ont jamais fait l'expérience d'un tel monde. Les élèves débutants doivent non seulement s'approprier le fonctionnement de l'outil SURGE, mais ils doivent en plus comprendre comment les objets se déplacent dans l'espace.

SURGE demande ensuite aux élèves de réagir rapidement lorsque le vaisseau est en mouvement, ce qui peut les encourager à agir en fonction de réflexes plutôt que de réflexions. Une des recommandations de White (1984) dans la conclusion de son étude est qu'elle aurait jugé utile de disposer d'une option qui permette aux élèves d'arrêter le jeu complètement et de manipuler des impulsions sans être pressés par le temps. Le même raisonnement peut s'appliquer au jeu SURGE.

2.2.2.3 SpatioPet de Potvin et al. (2010)

Potvin et al. (2010) ont développé SpatioPet, un jeu qui demande à l'élève une approche différente des deux derniers jeux analysés, en ce sens qu'il lui donne le temps de penser à sa stratégie avant d'agir. SpatioPet est un laboratoire virtuel interactif qui met en scène une « baleine-géante-unicellulaire-télé-commandée-de-l'espace » qui se propulse dans le vide interplanétaire par des flatulences (des « pets ») qu'elle peut émettre par le postérieur (accélérations) ou par les oreilles (pour assurer sa rotation). Son objectif est de se déplacer dans l'espace jusqu'à atteindre une cible tournoyante. Pour contrôler la baleine, l'élève « programme » sur une grille temporelle les moments où la baleine va « flatuler ». Une fois sa programmation faite, il démarre la simulation et la baleine exécute le « plan de vol ». La baleine doit alors se faufiler entre des objets (si elle les touche, elle « meurt »), attendre l'ouverture de portes et résister à l'attraction gravitationnelle de planètes voisines.

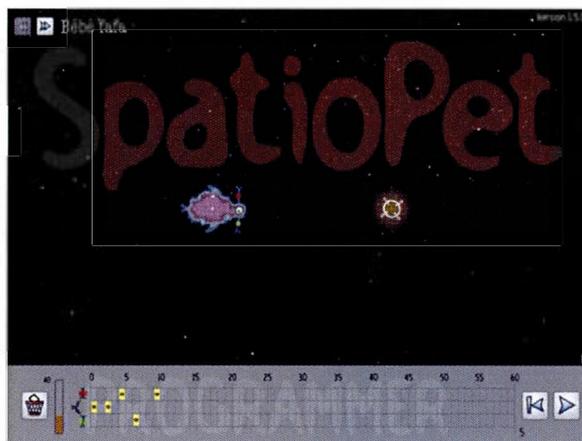


Figure 2.5 Une capture d'écran de SpatioPet

La programmation par les élèves des « plans de vols » contraint ces derniers à des choix qui mènent la baleine à toujours se trouver à des valeurs de distances qui sont entières ou demi-entieres, permettant alors d'effectuer des dénombrements simples (ex : un déplacement de 6,5m en 3 secondes), qui facilitent les liens entre la compréhension qualitative et la compréhension quantitative. La « baleine » laisse d'ailleurs des traces de son passage (à chaque seconde) permettant de mieux voir les mouvements et leurs variations à partir d'observations et de décomptes simples.

L'aspect le plus intéressant du jeu est qu'il autorise la construction de séquences complètes de niveaux par les enseignants. Ces derniers, à partir de la connaissance qu'ils ont de leurs élèves et de leurs difficultés spécifiques, peuvent alors inventer de toutes pièces des labyrinthes, des parcours et des défis particuliers, en ajustant tous les paramètres modifiables (gravité, maximums, obstacles, mouvement des obstacles, etc.). Ils peuvent alors soumettre ces séquences à leurs élèves en laboratoire d'informatique ou en devoirs à faire à la maison.

Les chercheurs ont étudié les effets de ce jeu sur l'apprentissage en prenant soin de l'intégrer dans le contexte d'un cours, au lieu de tester son utilisation de façon séparée. Au lieu de donner aux enseignants une séquence de niveaux fixe, ils ont demandé à chaque enseignant de créer des niveaux adaptés à leur cours. Ces niveaux étaient donnés en devoir aux élèves du groupe expérimental (N=58), et des devoirs papier « équivalents » étaient donnés aux élèves du groupe témoin (N=61).

Les enseignants tentaient d'améliorer la note de leurs élèves au *FCI* en préparant des niveaux qui étaient reliés aux concepts évalués par le test. Un aspect négatif de cette méthodologie est que les enseignants connaissaient la nature du test, et pouvaient donc inconsciemment enseigner le contenu de celui-ci pendant leur cours. Cet enseignement pourrait provoquer une forte amélioration au post-test, et ce pour les deux groupes. L'influence du jeu serait dans ce cas plus difficile à détecter.

Cette recherche se sert du test du *Force Concept Inventory* pour étudier le changement conceptuel déclenché par l'utilisation du jeu en classe. Elle ne se sert toutefois que de 15 des 30 items du test, ce qui est déconseillé par les créateurs du test (Hestenes & Halloun, 1995). Ceux-ci précisent qu'il faut toujours administrer et interpréter le *FCI* dans son entièreté, puisqu'on peut ainsi comparer la technique d'enseignement utilisée dans l'étude avec d'autres expériences qui ont aussi utilisé le test complet. De plus, les sous-parties du test sont beaucoup moins fiables et informatives que le test complet, puisque ce dernier mesure la cohérence des réponses à travers toutes les dimensions du concept de force Newtonienne. Enfin, contrairement aux autres études analysées, les chercheurs ont étudié la rétention des concepts des élèves, avec un post post-test qui a été passé environ 3 semaines après le post-test.

Les chercheurs n'ont pas observé de différence significative entre les moyennes aux post-tests des deux groupes. Ils ont toutefois observé une différence significative pour quelques items précis. Pour certains items relatifs aux impulsions, le jeu a eu un effet significativement positif. Pour ce qui est par contre de quelques items qui ne touchent pas aux notions vues dans le jeu, comme par exemple le mouvement circulaire, l'effet est significativement négatif. Les chercheurs énumèrent quelques raisons qui pourraient expliquer pourquoi l'utilisation du jeu n'a pas provoqué de gain significatif au *FCI*. Le nombre d'étudiants relativement bas ou le temps d'expérimentation assez court peuvent servir à expliquer les résultats. Une autre possibilité est que les caractéristiques du jeu et celles du *FCI* sont trop différentes pour enregistrer un changement important. Enfin, il est aussi possible que le jeu ne produise pas d'effet mesurable sur les performances des élèves au *FCI*.

2.2.2.4 La balle de Rieber & Noah (1997)

Un jeu très simple a été construit dans le cadre de cette étude pour aider les joueurs à distinguer entre les concepts d'accélération et de vitesse. Le jeu est à ce point simpliste qu'il ne comprend pas d'éléments de scénarisation et peut être résumé entièrement par la Figure 2.6 Le but de l'élève est de changer la direction d'une balle en mouvement rectiligne sur une étendue limitée, en ne contrôlant que l'accélération de celle-ci.

Activity goal: Explore the relationship between a acceleration and velocity by changing the ball's direction (make it do a 'flip flop') inside the yellow box as many times as you can in 2 minutes.

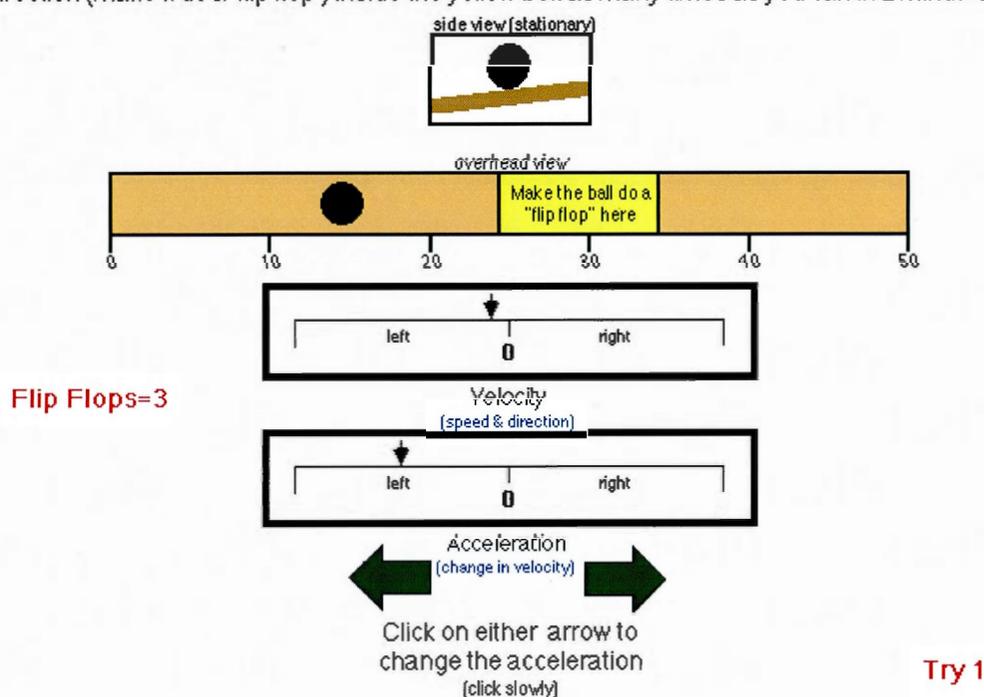


Figure 2.6 Une des applications utilisées par Rieber et Noah

Les chercheurs ont utilisé un test conceptuel à 12 items construit spécifiquement pour cette expérience. Le questionnaire a été donné en pré-test à 70 volontaires élèves à l'université, suivi de 10 séquences d'expérimentation de 2 minutes, suivi d'un post-test. Les élèves ne jouaient pas tous à la même version de l'application : quatre versions ont été produites. Deux de celles-ci étaient des simulations sans objectif, alors que les deux autres donnaient aux joueurs un objectif simple. Cette différence est, selon les auteurs de cette étude et ceux de la présente étude, ce qui distingue un « jeu » d'une « simulation ». Les participants qui ont

utilisé une des versions « jeu » ont indiqué un niveau de plaisir significativement plus élevé que les autres, mais leurs résultats au post-test (moyenne=52.1%) était significativement plus bas que ceux qui avaient utilisé les « simulations » (moyenne=65.4%). Les auteurs expliquent ces résultats en indiquant que l'objectif du « jeu » avait pris toute la place, et qu'il n'y avait plus de place à la réflexion. La note des joueurs augmentait avec la pratique, mais la compréhension des phénomènes ne changeait toutefois pas.

La critique la plus importante de cette étude peut être faite à partir des observations même des chercheurs – l'objectif du jeu n'était pas directement lié avec le contenu à apprendre. Les joueurs ont maîtrisé le contrôle d'une balle par son accélération, mais ils n'avaient en aucun cas à porter leur attention sur l'indicateur de vitesse. Ils avaient par contre beaucoup plus de chance d'y porter attention si l'application ne leur demandait rien en particulier, et les laissait expérimenter et observer tous les éléments de l'application, comme dans le cas des versions « simulation ». Autrement dit, les chercheurs ont rajouté un objectif de jeu qui avait toutes les chances de distraire les joueurs de la matière à apprendre. Tel qu'expliqué dans les travaux de White (1984) et dans la revue de littérature de Hays (2005), le contenu à apprendre ne doit pas simplement être représenté dans le jeu, mais il doit aussi faire partie intégrante des objectifs.

Ce jeu ne possède pas de scénarisation, est beaucoup trop simple pour intéresser substantiellement les élèves et se concentre sur un seul défi qui se complète en deux minutes. L'étude ne mesure encore une fois pas l'effet de rétention. Enfin, bien que cette expérience relève presque exclusivement que de la simulation, elle est décrite ici pour illustrer jusqu'à quel point la recherche quantitative sur l'impact des jeux dans le domaine de la physique mécanique est rare et d'une qualité discutable.

2.2.3 Synthèse des critiques importantes

Les études précédentes ont été critiquées au niveau de leur méthodologie et des règles qui gèrent les jeux vidéo utilisés. Les critères importants et récurrents sur ces deux volets seront détaillés dans les prochaines sections, afin de guider la méthodologie de la présente étude et la conception du jeu qui sera utilisé.

2.2.3.1 Critères relatifs à la méthodologie

La plupart des études analysées précédemment n'autorisaient pas les élèves à obtenir des explications en dehors de leur séquence de jeu pour comprendre les phénomènes observés. Autrement dit, elles n'analysaient pas les jeux éducatifs dans l'environnement où ils seraient normalement utilisés : les classes.

Le meilleur outil pédagogique ne peut atteindre son plein potentiel si son utilisation en classe n'est pas planifiée. Ainsi, une des cinq conclusions atteintes par Hays (2005) dans sa revue de littérature sur l'efficacité des jeux éducatifs est que ceux-ci devraient être intégrés dans un programme qui permette aux joueurs de réfléchir à la façon dont les événements survenus dans le jeu peuvent supporter les objectifs d'apprentissage. Abondant dans le même sens, Dorn (1989) recommande dans sa revue de littérature qu'un jeu éducatif soit accompagné de discussions, de lectures et d'autres méthodes d'enseignement. Une activité de retour sur le jeu qui donne un sens à l'expérience devrait aussi être intégrée dans la classe. Egenfeldt-Nielsen (2006) remarque de plus dans sa revue de littérature sur l'utilisation des jeux éducatifs un consensus de la part des chercheurs; les enseignants jouent un rôle important pour faciliter l'apprentissage à partir d'un jeu. Même si un jeu n'enseigne pas explicitement à l'élève, il donne aux enseignants d'excellentes opportunités pour enseigner à partir de celui-ci. Enfin, les mêmes conclusions sont atteintes dans le domaine plus restreint de la physique mécanique; White (1984) explique qu'elle aurait probablement eu de meilleurs résultats si les élèves avaient eu droit à des explications en classe pour comprendre ce qu'ils voyaient dans le jeu.

Les critiques précédentes ont fait ressortir quelques critères importants et souvent manquants dans trois des quatre études étudiées, auxquels il faudra s'attarder lors de la construction de du devis de la présente expérience. Elles ont permis de guider la construction du devis d'expérimentation présenté à la méthodologie au chapitre III.

- **Nombre de participants** : il est difficile d'obtenir un résultat significatif lorsqu'une expérience n'a qu'un faible nombre de sujets.
- **Effet de rétention** : il est important d'étudier l'impact d'un apprentissage à long terme, plutôt que de mesurer une amélioration directement après une brève séquence de jeu.
- **Groupe de contrôle** : si on veut étudier l'efficacité d'une nouvelle intervention pédagogique, il faut la comparer avec une autre méthode d'enseignement.
- **Intégrer l'outil dans son milieu d'utilisation** : il ne suffit pas de donner un jeu aux sujets d'une étude, il faut aussi leur permettre de réfléchir à leur expérience en classe.

Tableau 2.3
Comparaison des protocoles expérimentaux

Étude	Nombre de participants	Effet de rétention	Groupe de contrôle	Intégrer l'outil dans son milieu d'utilisation
White (1984)	18			
Clark et al. (2010)	24			
Potvin et al. (2010)	119	X	X	X
Rieber & Noah (1997)	70		X	

2.2.3.2 Critères relatifs à la conception des jeux vidéo

La majorité des études décrites ont utilisé des jeux assez simples. Ainsi White indique que son jeu aurait dû être plus complexe, et que certains des défis proposés auraient dû demander à l'élève de simultanément respecter une trajectoire tout en observant une vitesse donnée. Ce manque de complexité est un problème fréquent des jeux vidéo éducatifs qui limite le potentiel pédagogique de ces outils (Prensky, 2005). En effet, un des principaux avantages

Les recommandations et critiques des études analysées précédemment ont permises de faire ressortir quelques critères importants pour un jeu vidéo portant sur la physique mécanique.

- **Objectif pertinent:** l'objectif du jeu est en lien direct avec le contenu à apprendre.
- **Complexe:** le jeu présente un défi de taille à l'élève. Dans le cadre d'un jeu sur la dynamique, il peut par exemple demander à l'élève de produire une trajectoire précise en plus d'une certaine vitesse.
- **Encourager la réflexion:** le jeu ne place pas l'élève dans une situation où il lui est difficile de penser, ce qui peut être causé par exemple en lui offrant des défis trop rapides qui relèvent surtout des réflexes.
- **Progression graduelle:** le modèle utilisé au début du jeu est proche de la réalité des élèves, et les notions de gravité et de friction sont graduellement éliminées afin de comprendre leur influence.
- **Types de forces:** le jeu offre de manipuler plusieurs types de forces, ce qui permettra une meilleure compréhension de chacune, mais aussi de les combiner afin d'expliquer des situations observables dans le monde.
- **Représenter les variables:** les variables pertinentes (accélération, vitesse, position dans un jeu de dynamique) sont bien représentées dans le jeu.

Tableau 2.4
Comparaison des jeux utilisés

Étude	Objectif pertinent	Complexe	Encourager la réflexion	Progression graduelle	Types de forces	Représenter les variables
White (1984)	X					
Clark et al. (2010)	X	X			X	X
Potvin et al. (2010)	X	X	X			X
Rieber & Noah (1997)			X			

Une observation du Tableau 2.4 révèle que les jeux vidéo utilisés ont quelques lacunes qui sont difficiles à corriger sans changer radicalement leur design. Le jeu de White est désuet et devrait être refait au complet pour être utilisable avec les technologies courantes. C'est ce que SURGE a tenté de faire, mais le concept même de leur jeu empêche la possibilité d'une réflexion profonde, un critère qui est jugé essentiel. L'application de Rieber & Noah est trop simple et devrait être complètement repensée afin d'intégrer d'autres concepts. Enfin, bien que Spatiopet soit assez complexe et favorise une réflexion qui soit pertinente à la physique mécanique, les forces que l'élève manipule directement sont limitées aux impulsions et aux accélérations continues. Or les concepts abordés dans le *Force Concept Inventory* vont au-delà de ces types de force, et une étude qui se base sur le changement conceptuel tel que défini par l'ensemble du *FCI* limite ainsi ses chances d'enregistrer une différence significative en se servant de Spatiopet.

Il devient donc raisonnable pour la présente étude de concevoir un nouveau jeu qui tient compte de toutes les recommandations notées plus haut.

2.3 Un jeu pour favoriser le changement conceptuel en physique mécanique

Puisque les chercheurs de la présente étude possèdent l'expertise nécessaire (voir l'avant-propos), la conception d'un jeu vidéo éducatif visant à intervenir directement sur les conceptions énumérées dans le *Force Concept Inventory* a été entreprise. Les réflexions qui ont menées à la conception du jeu seront d'abord expliquées. L'expérience typique d'un élève qui joue à quelques niveaux sera par la suite décrite, afin de mieux comprendre le parcours intellectuel de celui-ci.

2.3.1 Critères à considérer dans le design d'un nouveau jeu

L'analyse des jeux vidéo portant sur la physique mécanique à la section 2.2.3.2 a permis de faire ressortir quelques critères importants pour la réalisation d'un jeu dans ce domaine. La structure initiale du jeu de la présente étude a donc été conçue en tentant d'observer au mieux ces critères, tel que détaillé dans les prochaines sections.

2.3.1.1 Objectif pertinent

Le but du jeu doit attirer l'attention du joueur sur les éléments importants à l'étude. Puisque le jeu porte sur l'étude du mouvement, l'objectif pourrait être de déplacer un objet vers une destination particulière grâce à diverses forces. Il s'agit du modèle suivi par les jeux utilisés dans les quatre études mentionnées à la section 2.2.2. Toutefois, si l'intention est de comprendre un mouvement courbe par exemple, il ne suffit pas de demander au joueur de déplacer un objet à un certain point ultime; il faut lui imposer d'autres contraintes qui lui permettront de comprendre comment créer ce mouvement courbe.

Une façon de répondre à ce besoin est de donner une série de positions à atteindre au joueur. Ainsi, dans le cas où le joueur doit faire suivre à un objet une trajectoire courbe, il devra lui appliquer les forces qui lui permettront de toucher à tous ces objectifs, représentés par des étoiles à la Figure 2.7.

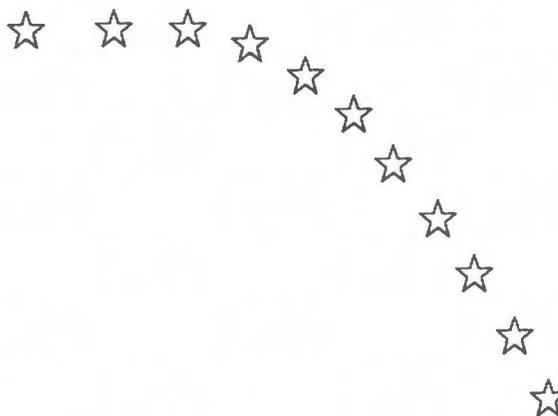


Figure 2.7 Exemple d'une série d'objectifs à atteindre

2.3.1.2 Un jeu complexe

Lorsque les joueurs comprennent que l'objectif du jeu consiste à déplacer un objet sur ces étoiles à l'aide de forces, on peut attirer leur attention sur un autre phénomène : la vitesse (la représentation de la vitesse dans le jeu sera expliquée à la section 2.3.1.5). L'ajout d'une contrainte supplémentaire, selon laquelle l'objet devra respecter une limite de vitesse à certains endroits, rend le défi beaucoup plus complexe, puisqu'un objet qui ne respecte pas cette limite sera anéanti. Il s'agit du modèle utilisé par le jeu SURGE (Clark et al., 2010), où cette nouvelle contrainte de vitesse est délimitée par une zone précise. Une zone grise associée à une illustration qui indique la vitesse à respecter, tel qu'illustré à la Figure 2.8, peut servir à illustrer cette contrainte. Il est à noter que le jeu met l'emphasis sur l'amplitude du vecteur vitesse et non pas sur sa direction.

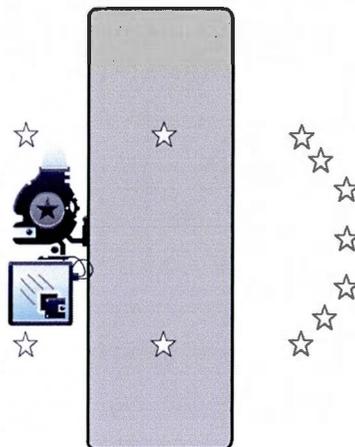


Figure 2.8 Une zone de limite de vitesse

2.3.1.3 Plusieurs types de force

La plupart des jeux sur la physique mécanique construits jusqu'à ce jour se concentrent sur l'effet des impulsions. White indique par contre que les forces du vent et de la gravité seraient aussi intéressantes à manipuler. Une brève étude du *Force Concept Inventory* indique ensuite que la force centripète permet aussi d'explorer des concepts pertinents.

En effet, les élèves ne perçoivent pas que les forces provoquées par des phénomènes différents puissent être équivalentes. La force causée par la gravité n'aurait ainsi pas nécessairement le même effet sur un objet qu'un vent de la même force dirigé dans la même direction.

Selon les auteurs, une version future de SURGE permettra aux joueurs de peser de façon continue sur une touche afin de faire accélérer leur vaisseau, plutôt que de donner une simple impulsion. Cette solution est adéquate si l'intention est d'ajouter une seule force, mais elle ne permet pas de manipuler d'autres types de force, comme la force centripète.

Une méthode plus intéressante du point de vue du joueur serait de lui permettre de manipuler plusieurs forces sans lui apprendre un nouveau type d'action pour chacune de ces forces. Le jeu peut ainsi donner quelques forces de différents types pour chaque défi, et le joueur place les forces qu'il juge nécessaires aux endroits appropriés, tel qu'illustré à la Figure 2.9.

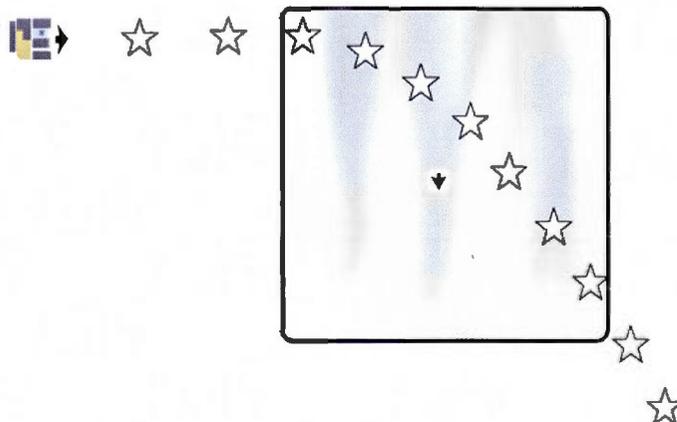


Figure 2.9 Une force d'impulsion dirigée vers la droite (à gauche) et une force continue de vent, agissant à l'intérieur du carré, dirigée vers le bas (à droite)

2.3.1.4 Encourager la réflexion

Le problème principal des jeux de White et SURGE est qu'ils demandent aux joueurs de prendre des décisions rapidement, sans leur donner le temps de réfléchir pour apprendre de leurs erreurs. Le jeu SpatioPet répond beaucoup mieux à cette exigence, pour deux raisons. D'abord, parce que le joueur ne contrôle pas l'objet qu'il doit déplacer directement; il construit plutôt un « plan de vol » à l'avance (Figure 2.10), et dispose du temps qu'il désire pour cette étape. Ensuite parce qu'il peut procéder à un essai, voir le résultat, et changer son « plan de vol ».

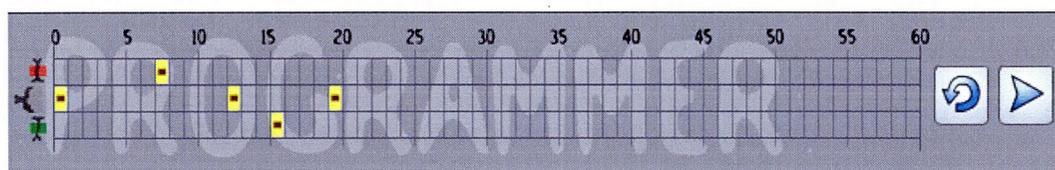


Figure 2.10 Le plan de vol de SpatioPet

Cette façon d'appliquer les forces sur l'objet ne s'adapte pas bien à la manipulation de plusieurs types de force, et ne sera pas utilisée dans le design du jeu de la présente étude. Le fait de procéder par essai/erreur peut par contre être réutilisé, en permettant plusieurs essais au joueur une fois les forces placées.

2.3.1.5 Représenter les variables

Les variables utiles dans les défis identifiés précédemment sont la position et la vitesse. La position peut être facilement représentée, grâce à une trace suivant l'objet qui se déplace.

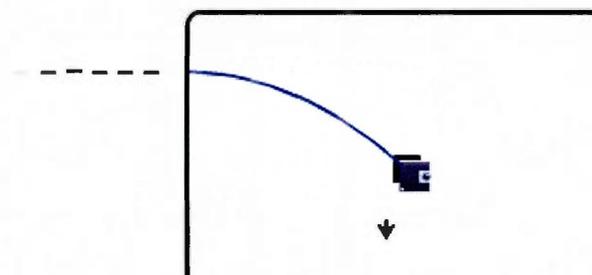


Figure 2.11 La trace laissée pour indiquer la trajectoire passée d'un objet

La vitesse est moins facile à représenter graphiquement. White suggère de représenter celle-ci en tout temps par un chiffre indiquant son amplitude en mètre par seconde. Il n'est par contre pas nécessaire d'afficher précisément l'amplitude de la vitesse, si l'ambition du jeu se limite à développer l'intuition des joueurs sur la variation de vitesse. Le simple fait de comprendre que la vitesse augmente ou diminue suite à une certaine action, comme par exemple suite à une impulsion, peut suffire. Il est ainsi possible de représenter l'amplitude de la vitesse en différents paliers, illustrés par le dénombrement d'ombrages derrière un objet. Plus un projectile va vite, plus il y a d'images ombragées derrière qui le suivent. Cette représentation simple de la vitesse permet au joueur de ne pas s'arrêter au détail des unités utilisées.



Figure 2.12 Objet sans ombrage (vitesse basse), puis avec 1 et 2 ombrages (vitesses plus élevées)

2.3.1.6 Progression graduelle

Les jeux éducatifs en physique mécanique offrent pour la plupart des défis situés dans un environnement sans gravité ni friction: l'espace. White a suggéré de partir d'un modèle plus proche de la réalité des élèves, afin de graduellement enlever des forces, comme celle de la

friction, et de s'approcher peu à peu d'un modèle idéal pour enseigner les lois de Newton. Les premiers défis devraient donc se situer dans un environnement où il y a une gravité, et où les forces de frottement sont présentes. La Figure 2.13 illustre ainsi une situation dans les premiers niveaux où le joueur doit compenser la force gravitationnelle avec une force de vent dirigée vers le haut. Le joueur peut ensuite manipuler ces forces pour étudier leur impact, et les enlever si la situation l'exige.

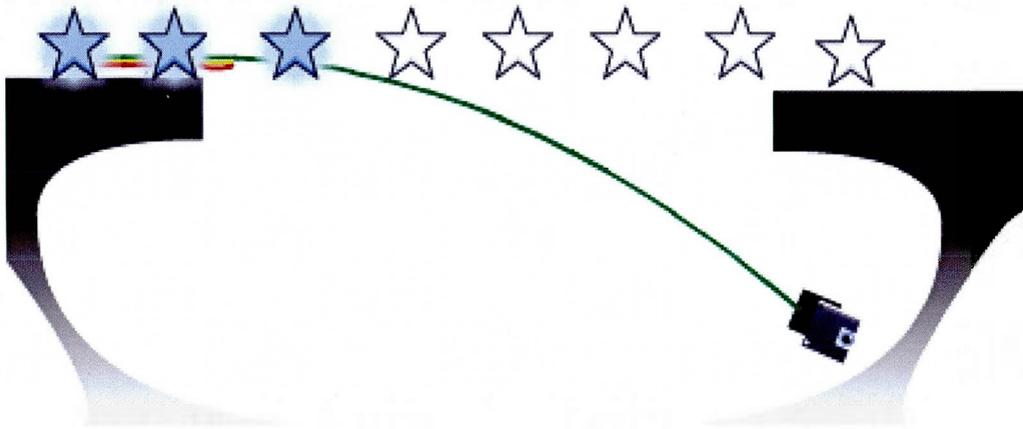


Figure 2.13 Une situation de jeu où la force gravitationnelle est présente

2.3.2 Parcours d'un joueur dans *Mécanika*

Cette structure de jeu étant établie, il faut maintenant valider que l'outil produit bien l'effet escompté. Le développement de *Mécanika* s'est effectué sur une période d'environ un an, durant laquelle quelques adultes et 40 élèves ont testé le jeu. De multiples versions ont été produites afin de s'assurer que les joueurs ne passent pas la majorité de leur temps à comprendre l'interface du jeu, mais bien à penser aux problèmes qu'ils ont sous les yeux. Deux cheminements typiques d'un élève dans *Mécanika* seront brièvement décrits dans les prochaines sections. La première situation vise à expliquer d'abord le fonctionnement du jeu, et la seconde porte sur la façon dont les joueurs vivent les conceptions initiales identifiées dans le *Force Concept Inventory*.

2.3.2.1 Le fonctionnement de base du jeu

La construction de chaque niveau de *Mécanika* est basée sur une conception initiale particulière, et ces niveaux sont regroupés en cinq séries. Une série comprend environ une dizaine de niveaux et porte sur un thème particulier. Le Tableau 2.5 détaille les thèmes de ces séries, ainsi que les concepts associés, tels qu'identifiés par le Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (Ministère de l'Éducation, 2006).

Tableau 2.5
Les séries de niveaux de *Mécanika*

Série	Thème	Concepts prescrits par le MELS
A	Les mécanismes du jeu	Lois de Newton Équilibre et résultante de plusieurs forces
B	L'impact des impulsions sur la trajectoire et la vitesse, sans force gravitationnelle	Lois de Newton Équilibre et résultante de plusieurs forces Mouvement rectiligne uniforme
C	L'impact des forces continues et du mouvement circulaire sur la trajectoire et la vitesse, sans force gravitationnelle	Lois de Newton Équilibre et résultante de plusieurs forces Mouvement rectiligne uniformément accéléré Mouvement des projectiles Force centripète
D	Les concepts de force gravitationnelle et d'accélération gravitationnelle, en particulier pour des objets de masses différentes	Lois de Newton Équilibre et résultante de plusieurs forces Mouvement des projectiles Force gravitationnelle Force centripète
E	L'énumération des forces actives sur les objets	Lois de Newton Équilibre et résultante de plusieurs forces Force gravitationnelle Force centripète Force de frottement

Le premier niveau de la série A, illustré à la Figure 2.14, a comme objectif de montrer les mécanismes essentiels du jeu. Les décors ont été masqués afin de mieux discerner les éléments importants. Dans ce niveau, l'élève doit déplacer des objets sur une suite d'objectifs représentés par des étoiles. Ces objets, les éclairateurs, sont générés par une machine à gauche de l'image, que nous nommerons Aspir-o-matic. Si le joueur active l'Aspir-o-matic, il créera cinq objets, qui tomberont par terre de façon inerte. Le joueur peut ainsi constater qu'il s'agit d'un monde qui évolue de façon plutôt réaliste, où les objets réagissent en fait aux forces externes, dans ce cas-ci la force gravitationnelle, comme le ferait une petite boîte. Cette

simulation est possible grâce à l'engin physique Box2D (Catto, 2010) qui reproduit de façon plutôt crédible le monde mécanique qui nous entoure.



Figure 2.14 Le premier niveau de *Mécanika*.

Grâce à l'aide du robot-guide, identifié par un point d'interrogation, le joueur comprend qu'il lui faut utiliser une force de vent pour déplacer les objets vers la droite, et les faire passer ainsi sur les étoiles. Il prends donc cette force de vent et la place par-dessus la machine génératrice d'objets, l'Aspir-o-matic. Il clique ensuite sur l'Aspir-o-matic, et observe la situation représentée à la Figure 2.15. Les objets ne se rendent malheureusement pas jusqu'à la dernière étoile; ils s'immobilisent avant.

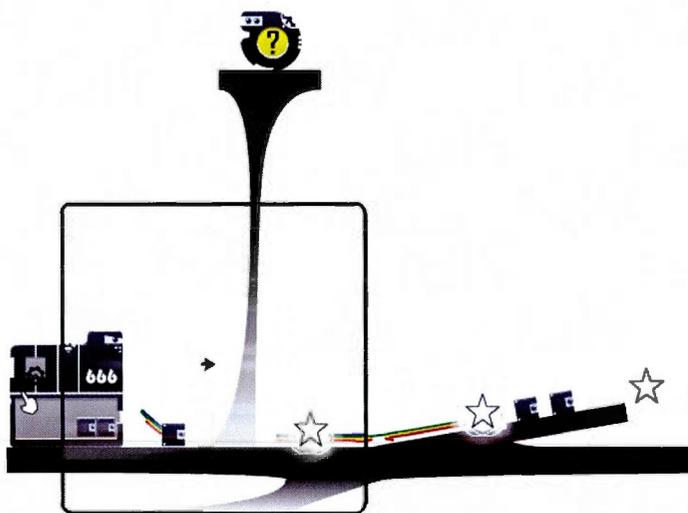


Figure 2.15 Les objets ne se rendent pas assez loin, puisqu'une partie seulement de la zone de vent est utilisée.

Après quelques essais et conseils du robot-guide, l'élève placera éventuellement la zone de vent tel qu'illustrée à la Figure 2.16, et obtiendra une accélération suffisante pour déplacer les objets jusqu'en haut de la rampe.

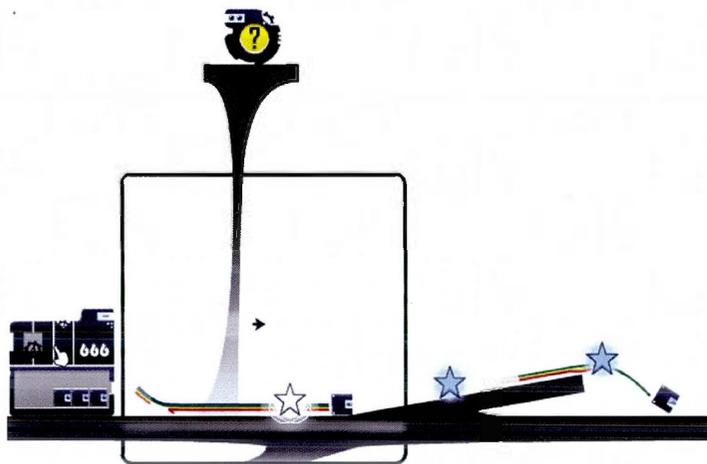


Figure 2.16 La position appropriée pour la zone de vent. Les objets sont accélérés sur une distance assez grande pour passer par-dessus la rampe.

Aucune formule, aucun calcul formel n'est exigé pour résoudre les situations de *Mécanika*. L'apprentissage visé est à un autre niveau – celui du changement conceptuel. Dans l'exemple

du niveau précédent, l'apprentissage est simplement de s'approprier les mécanismes du jeu – l'élève doit entre autres comprendre que les objets doivent passer sur toutes les étoiles pour réussir le niveau. Ces objets ne peuvent toutefois pas bouger d'eux-mêmes; ils ne sont pas directement contrôlés par le joueur. Le but principal d'un niveau est donc d'abord de façonner un chemin de robots qui achemineront ces objets sur toutes les étoiles, pour ensuite procéder à un essai en activant la machine qui produit ces objets. Si les forces sont bien placées, les objets se déplaceront sur toutes les étoiles et le niveau sera complété. Si elles ne le sont pas, le joueur devra les replacer et attendre que l'Aspir-o-matic soit prêt avant d'essayer à nouveau.

Le joueur apprendra lors de son exploration des prochains niveaux qu'il obtiendra des « médailles » en utilisant un nombre minimal d'objets pour arriver à ses fins. S'il utilise un nombre faible d'objets, il obtiendra une médaille d'or. S'il en utilise plus, il devra se satisfaire d'une médaille d'argent ou de bronze. S'il utilise par contre un nombre important d'objets pour compléter le niveau, il ne récoltera aucune médaille. L'attente entre deux essais et l'obtention de médailles encouragent l'élève à penser avant une nouvelle tentative, plutôt qu'à faire de nombreuses tentatives sans réflexions. Il s'agit d'un des critères essentiels à la création d'un bon jeu éducatif, tel que souligné à la section 2.2.3.2.

2.3.2.2 Une conception initiale par niveau

Une fois les sept niveaux de la série A complétés, il est espéré que le joueur possèdera une bonne compréhension des mécanismes et des règles de *Mécanika*. Il sera maintenant alors prêt à affronter des situations qui feront appel à ses conceptions en physique mécanique.

Prenons l'exemple du niveau B1, soit le premier niveau de la série B, illustré à la Figure 2.17. L'élève dispose de deux impulsions pour créer un chemin qui permette aux objets de passer sur deux étoiles. Cette situation se situe dans l'espace et la force gravitationnelle n'est donc pas considérée. La première impulsion ne peut être déplacée, et donnera à chaque objet une impulsion initiale vers la droite. La seconde impulsion peut être placée n'importe où, et appliquera une impulsion vers le bas à un objet qui passera par-dessus.



Figure 2.17 Le niveau B1 de *Mécanika*, sans les décors

À cet instant, une conception initiale, selon laquelle la dernière force à agir sur un objet impose entièrement sa trajectoire, risque fort d'encourager le joueur à placer la deuxième impulsion directement au-dessus de la deuxième étoile. En effet, puisque l'impulsion est dirigée vers le bas, ce joueur prédira que la trajectoire de l'objet sera verticale et dirigée vers le bas. Le résultat illustré à la Figure 2.17 le surprendra.

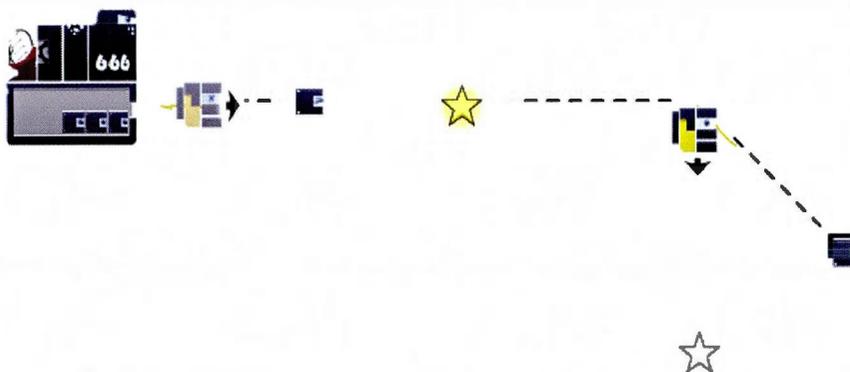
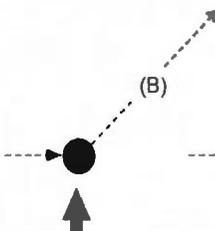


Figure 2.18 Le premier essai d'un élève qui raisonne selon une conception initiale

Cette conception initiale est identifiée dans la taxonomie de Hestenes et al. (1992) et est expliquée à la section 2.1.1.2. *Mécanika* est conçu pour explorer un nombre maximum de

conceptions initiales retrouvées dans le *Force Concept Inventory*. Le jeu se base sur les erreurs fréquentes des élèves, au lieu de se concentrer seulement sur les « bonnes » conceptions Newtoniennes, et tente donc de déclencher un conflit cognitif significatif (Dreyfus et al., 1990) chez eux. La liste des niveaux à l'annexe B indique quelles conceptions initiales sont explorées dans le jeu, mais un aperçu pour la conception CI3 est disponible au Tableau 2.6.

Tableau 2.6
La conception initiale CI3 dans *Mécanika*

Exemples (tirés du FCI)	Conceptions initiales	Niveaux
8: trajectoire après impulsion 	CI3 - la dernière force à agir impose la trajectoire (A)	B

Tous les niveaux de la série B de *Mécanika* ont comme objectif de mettre en échec cette conception initiale CI3. L'élève qui raisonne selon la conception initiale CI3 croira qu'une impulsion entraîne un changement complet de la trajectoire d'un objet, s'il s'agit de la dernière force à agir sur celui-ci. Dans ce cas-ci donc, il placera la seconde impulsion directement au-dessus de la deuxième étoile.

L'élève constatera par contre à son premier essai que l'éclaireur ne descend pas à la verticale suite à la deuxième impulsion. Il arrivera éventuellement, en tâtonnant, à la solution qui consiste à placer la deuxième impulsion directement sur la première étoile, tel qu'illustré à la Figure 2.19.

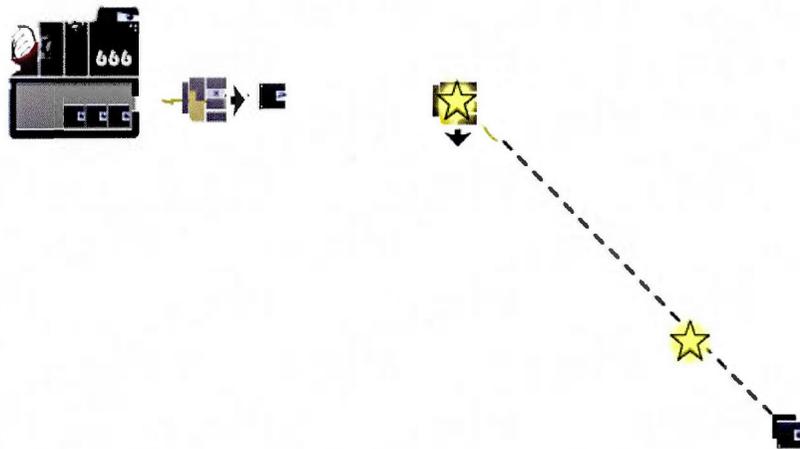


Figure 2.19 La solution au niveau B1

À cette étape, le joueur n'a pas nécessairement réalisé d'apprentissage conscient. Il a tout au plus développé son intuition sur le mouvement causé par les impulsions en absence de force gravitationnelle. Des guides pédagogiques ont donc été créés afin de permettre à l'élève et à l'enseignant de pousser la réflexion plus loin. Leur rôle sera décrit dans la section 3.4.2 de la Méthodologie.

Les exemples précédents comportaient des éléments d'accélération et d'impulsion. Le jeu est constitué d'environ 50 niveaux qui font appel à d'autres concepts. Ainsi l'élève manipulera plus tard la force gravitationnelle et des objets qui entraîneront un mouvement circulaire. Lors de son parcours à travers les différents niveaux de *Mécanika*, il devra faire respecter certaines contraintes aux objets. Des robots contraindront les objets à respecter une certaine vitesse (sans aller plus vite ou plus lentement) dans une zone spécifique, ou même d'avoir un certain nombre précis de types de force agissant sur ces ceux-ci.

Si la convivialité du jeu *Mécanika* a été testé lors de séances informelles, il demeure important de s'assurer qu'il produira bien l'effet escompté tel que mesuré par le *FCL*.

2.4 Hypothèses de recherche

L'objectif initial de recherche était de montrer expérimentalement l'effet positif sur le changement conceptuel de scénarios d'utilisation d'un jeu vidéo éducatif conçu spécifiquement pour intervenir sur certaines conceptions en physique mécanique. Ce jeu, *Mécanika*, et l'outil de mesure utilisé, le *Force Concept Inventory*, ont été définis dans les considérations théoriques. Ces nouveaux éléments nous permettent de poser la question de recherche principale suivante :

Est-ce que le jeu *Mécanika*, conçu spécifiquement pour intervenir sur les conceptions initiales identifiées par le test d'inventaire du *Force Concept Inventory*, peut favoriser l'apprentissage des concepts de la mécanique newtonienne?

Afin de répondre à cette question, quatre sous-questions seront posées. Elles émergent pour la plupart des constats de la section 2.2.3.1 des considérations théoriques, qui définit les critères importants pour les recherches portant sur l'utilisation d'un jeu vidéo. Une hypothèse sera par la suite décrite pour chaque sous-question.

2.4.1 Comparaison avec un groupe témoin

La plupart des recherches portant sur l'effet des jeux vidéo sur l'apprentissage de la physique mécanique n'ont pas utilisé de groupe de contrôle. Au lieu de se concentrer simplement sur l'effet du jeu, il serait beaucoup plus utile de savoir si cet effet est plus efficace qu'un autre type d'enseignement. Ce constat nous mène à la première sous-question de recherche:

Est-ce que l'utilisation de *Mécanika* en classe produit un meilleur gain sur la performance au *FCI* qu'un enseignement « traditionnel »?

Après avoir observé les élèves qui ont déjà essayé le jeu, mais surtout en se basant sur la littérature, nous poserons l'hypothèse expérimentale que ceux qui auront joué au jeu pendant le cours auront une note plus élevée au *FCI* que ceux qui n'auront pas joué au jeu.

2.4.2 Effet de rétention

La plupart des recherches analysées précédemment n'ont pas étudié l'effet à moyen terme des jeux utilisés. Il serait pourtant intéressant de savoir si ce type d'apprentissage plus intuitif

favorise la rétention des concepts appris en plus de leur acquisition, ce qui soulève la question:

Est-ce que l'effet de l'intégration du jeu en classe sur le *FCI* persiste à moyen terme?

Puisque nous n'avons pas de raison a priori de penser que la note observée diminuera de façon significative, nous poserons les hypothèses que l'effet du jeu combiné à l'enseignement sera toujours mesurable à moyen terme, et qu'il ne diminuera pas de façon significative.

2.4.3 Utilisation en classe

La section 2.2.3.1 soulève une faille importante des recherches sur les jeux vidéo éducatifs; si les études portent une attention particulière sur l'effet d'un jeu, elles n'ont pas tenté d'en étudier l'effet lorsqu'il est intégré à l'enseignement dans un contexte scolaire. Or les chercheurs semblent s'entendre sur le fait qu'une bonne intégration en classe suite aux sessions de jeu est importante pour obtenir de meilleurs rendements (Dorn, 1989; Egenfeldt-Nielsen, 2006; Hays, 2005; White, 1984). Nous proposons donc d'étudier l'impact de *Mécanika* lorsque celui-ci est bien intégré à un cours de physique mécanique, et que des discussions en classe sur les situations vécues par les élèves sont effectuées. Par contre, lorsque le jeu sera disponible pour tous, il risque fort d'être utilisé par les enseignants d'une façon plus relâchée, qui ne prendront pas nécessairement le temps de discuter du jeu en classe. Il serait donc intéressant de connaître la différence sur l'apprentissage de ces deux types d'utilisation de *Mécanika*, ce qui mène à la question :

Est-ce qu'une intégration en classe de *Mécanika* produit un meilleur gain, tel que mesuré par le *FCI*, qu'une utilisation détachée, où le jeu est simplement donné en devoir?

Si on en croit les intuitions des chercheurs, une bonne intégration du jeu en classe produira une note plus élevée au *FCI* que s'il est simplement donné en devoir.

2.4.4 Performance au jeu

Le progrès et le nombre d'essai des joueurs pour chaque niveau sont enregistrés dans une base de données, afin de permettre aux joueurs de quitter et reprendre leur jeu au même endroit qu'ils l'avaient laissé. Le nombre d'essai ainsi que quelques autres traces d'utilisation permettront d'évaluer la performance des joueurs. Puisque cette information est disponible, il serait intéressant de la comparer aux résultats du *Force Concept Inventory* :

Est-ce que la performance d'un joueur à *Mécanika* est reliée à sa performance au *FCI*?

Par contre, puisque le jeu n'a pas été construit à des fins d'évaluation, mais bien à des fins d'apprentissage, nous ne nous attendons pas à ce qu'un faible nombre d'essai indique une meilleure compréhension des lois Newtoniennes. En effet, un étudiant qui réfléchit longuement avant de faire un essai aura une meilleure performance au jeu qu'un étudiant qui effectue plusieurs essais. Cette différence dans la façon de jouer ne semble à première vue pas reliée avec la capacité de raisonner selon des concepts Newtoniens.

Ces questions et hypothèses de recherches étant formulées, il faut maintenant établir un protocole de recherche qui permettra d'y répondre.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

3.1 Type de recherche

Cette recherche se base sur des données recueillies auprès d'une grande quantité d'élèves, et elle se qualifie donc comme une recherche empirique quantitative. Elle est quasi expérimentale, puisque la répartition des membres des groupes ne sera pas tout à fait aléatoire, comme la section 3.4 sur le devis de recherche expliquera. Enfin, elle est vérificatoire, puisqu'elle tente de vérifier des hypothèses spécifiques (Gaudreau, 2011).

3.2 Description des sources de données

3.2.1 Population

Puisque la physique mécanique est enseignée au Québec à la cinquième année au secondaire, les élèves de cinquième secondaire du Québec constituent la population de la présente étude. L'âge ou le sexe des individus de cette population n'était pas un critère pour le recrutement. Les écoles retenues sont des établissements privés. Les individus doivent parler le français ou l'anglais, puisqu'ils doivent être à même de comprendre le jeu *Mécanika*, qui n'est disponible que dans ces deux langues.

3.2.2 Échantillonnage

Les enseignants ont été recrutés lors de conférences en fonction de leur intérêt pour le projet, au lieu d'être choisi par un échantillonnage aléatoire. Cette décision a été prise afin d'augmenter le nombre de sujets (les élèves) participants à l'expérience. Deux enseignants ont démontré leur intérêt, pour un total de 8 classes. Le nombre de sujets s'élève à 251 élèves (N=251). Les parents de 205 élèves ont accepté que leur enfant participe à l'expérience, pour un taux de participation de 82%. Il s'agit d'un nombre plus important que toutes les autres études analysées précédemment à la section 2.2.3.1 des considérations théoriques.

3.3 Instruments de recherche

3.3.1 Force Concept Inventory

Le progrès des élèves est évalué par le test du *Force Concept Inventory*. Afin d'éviter les multiples déplacements des chercheurs pour chaque test, pour chaque groupe, dans chaque école, le test est passé en ligne par les élèves. La durée du test est de 30 minutes, et se déroule sur ordinateur, dans le laboratoire informatique des écoles. Toutefois, puisque les enseignants en charge ne doivent pas voir le contenu du test avant la toute fin de l'expérience (voir la section 3.4.3 pour la justification), un enseignant suppléant supervise cette période en laboratoire.

La version en ligne du test est identique à la version papier – il s'agit d'un formulaire en version PDF qui reprends exactement le même formatage. Une fois le test terminé, les élèves appuient sur la touche « soumettre », ce qui envoie aux chercheurs un courriel avec les réponses au test. La version en ligne permet aussi de s'assurer que les élèves ont répondu à toutes les questions, et qu'ils sont bien identifiés par leurs noms puisque les chercheurs n'ont pas à déchiffrer de version papier illisible.

3.3.2 La performance à Mécanika

Lorsque les élèves s'inscrivent au site web de *Science En Jeu* pour jouer à *Mécanika*, un lien spécial leur est donné pour ce faire. Le processus d'inscription leur demande de remplir quelques informations de base, et de fournir un nom d'utilisateur. Les élèves communiquent

par la suite à leur enseignant le nom d'utilisateur choisi, ce qui permet de suivre leurs progrès.

Le nombre d'essai pour chaque niveau de *Mécanika* avant la réussite de ce niveau, ainsi que d'autres traces d'utilisation, sont enregistrés. Ces traces permettent de déterminer la performance globale au jeu.

3.4 Devis de recherche

3.4.1 Déroulement

L'expérience s'étale sur une période d'environ 4 mois, période qui varie en fonction de la vitesse à laquelle les enseignants enseignent les concepts couverts dans *Mécanika*. Elle a commencé en janvier 2011, soit au début de l'enseignement de la physique mécanique dans la plupart des écoles secondaires. Sur les cinq séries de niveaux offertes par *Mécanika*, les enseignants ont demandé aux élèves de ne jouer qu'à trois séries, par manque de temps.

La Figure 3.1 illustre le devis de recherche utilisé. Les enseignants participant à l'expérience attribuent à chacune de leur classe un numéro de groupe (groupe 1 et groupe 2). Les deux groupes, de taille comparable, utilisent *Mécanika*, mais chacun d'une façon différente. Les points de mesure A-B-C-D-E-F désignent des moments où les élèves auront à répondre au test du *Force Concept Inventory*.

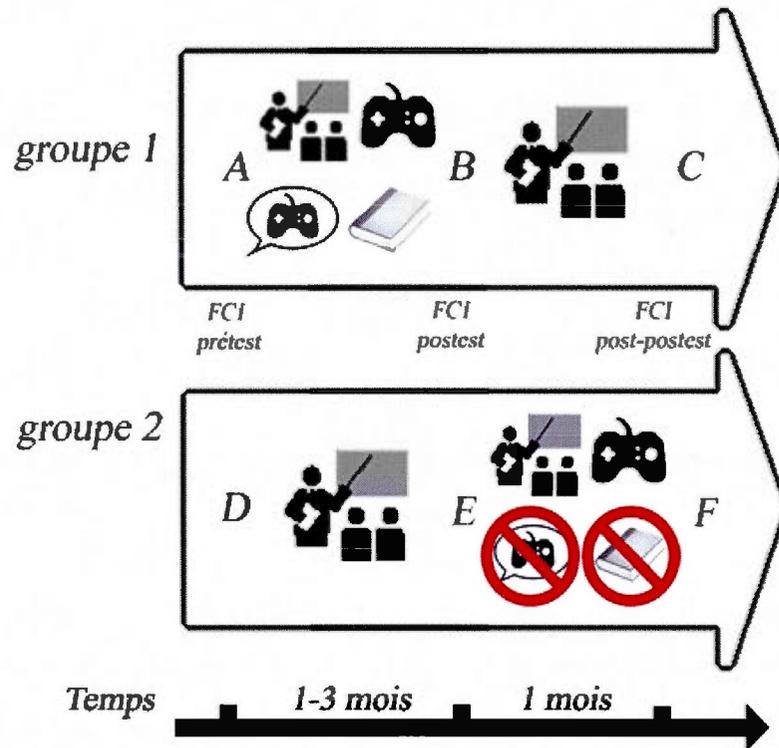


Figure 3.1 Le devis de recherche

Ce devis d'expérimentation est adapté pour répondre à la question et aux sous-questions de recherche. En effet, chaque sous-question correspond à une section du devis.

Les comparaisons entre les points de mesure illustrés à la Figure 3.1 sont effectuées grâce au test t de Student. Si l'indice de probabilité p est plus petit que 0.05, il faut en conclure qu'il y a une différence statistiquement significative entre les deux moyennes comparées.

3.4.1.1 Est-ce que l'utilisation de *Mécanika* en classe produit un meilleur gain sur la performance au FCI qu'un enseignement « traditionnel »?

Pour la première partie de l'expérience, l'enseignant enseigne la physique mécanique au groupe 1 en se servant de *Mécanika*. Avant de voir en classe certaines notions, il donne un devoir sur *Mécanika* qui vise à préparer les élèves. Ils doivent compléter une série de niveaux du jeu, ce qui ne devrait pas leur prendre plus d'une heure. L'enseignant leur demande de

même de remplir un guide papier de l'élève associé à cette série. Lors de son cours, il revient sur le devoir en répondant aux interrogations des élèves et en s'assurant que tous ont bien compris les niveaux. Il peut aussi revenir sur les situations qui ne sont pas détaillées dans les guides de l'élève, par le biais d'un ordinateur relié à un projecteur ou par un laboratoire informatique. Cet exercice est répété plusieurs fois, afin de couvrir quelques séries de niveaux différentes.

Pendant la même période, l'enseignant donne ses cours réguliers au groupe 2. Ses cours portent sur les mêmes contenus que ceux du groupe 1, sans toutefois utiliser le jeu ou en faire mention. Ce groupe agit comme groupe de contrôle pour la première partie de l'expérience.

La comparaison des gains obtenus par les deux groupes après la première partie de l'expérience permet de répondre à la sous-question de recherche. Si l'utilisation du jeu cause une meilleure compréhension des concepts vus dans le *FCI*, le gain observé pour le groupe 1, soit la différence entre les points de tests ($B > A$), serait plus élevée que le gain observé pour le groupe 2, entre les points de test ($E > D$). Notons que le pré-test des deux groupes (les points de mesure A et D) devraient être similaires, et se situer autour de 26%, la moyenne habituelle au secondaire (Hestenes, 2006).

3.4.1.2 Est-ce que l'effet de l'intégration du jeu en classe sur le FCI persiste à moyen terme?

Pour la deuxième partie de l'expérience, l'enseignant continue de voir normalement la matière du cours avec le groupe 1, mais il arrête l'utilisation de *Mécanika*. Cette période de cours sans utilisation du jeu du groupe 1 (la différence entre les points de mesure C et B) permet de mesurer l'effet de rétention de l'utilisation de *Mécanika* et de l'enseignement combinés.

3.4.1.3 Est-ce qu'une intégration en classe de *Mécanika* produit un meilleur gain, tel que mesuré par le FCI, qu'une utilisation détachée, où le jeu est simplement donné en devoir?

Au cours de la deuxième partie de l'expérience, l'enseignant demande aux élèves du groupe 2 de faire la suite de devoirs avec *Mécanika*, mais ne leur donne pas de guides de l'élève à remplir. Il peut répondre aux questions individuelles sur le jeu, mais ne doit pas faire de retour en classe pour expliquer les phénomènes vécus dans *Mécanika*. Cette partie simule une utilisation « détachée » qu'un enseignant ferait du jeu. Il ne fait que dire aux élèves de jouer au jeu, mais ne prends pas lui-même connaissance du logiciel.

Les gains obtenus par le groupe 1 (B>A) sont donc comparés aux gains obtenus par le groupe 2 (F>E). Les élèves du groupe 1 vivent une intégration en classe de *Mécanika*, alors que les élèves du groupe 2 vivent une utilisation détachée. Un gain plus fort pour le groupe 1 indiquerait que le fait de bien intégrer *Mécanika* à l'enseignement a un effet plus fort sur la compréhension Newtonienne des élèves que s'il est simplement donné en devoir.

3.4.1.4 Est-ce que la performance d'un joueur à *Mécanika* est reliée à sa performance au FCI?

La performance d'un joueur à *Mécanika* est calculée en fonction du nombre d'essai qu'il aura effectués par niveau. La performance de chaque joueur pour tous les niveaux sera compilée, et comparée par la suite avec leur gain au *FCI* (différence entre les points de mesure B et A, ou F et E).

3.4.1.5 Différences entre les groupes de l'expérience

Le Tableau 3.1 indique ce qui distingue les deux groupes de l'expérience.

Tableau 3.1
Comparaison des groupes de l'expérience

Description	Groupe 1	Groupe 2
Les élèves jouent aux séries de niveaux de <i>Mécanika</i> en devoir à la maison, pour une durée totale d'environ trois heures	X	X
Les élèves répondent au Force Concept Inventory lors du pré-test, du post-test et du post-post-test	X	X
Est-ce que l'utilisation de Mécanika en classe produit un meilleur gain sur la performance au FCI qu'un enseignement « traditionnel »?		
Les enseignants intègrent bien le jeu en classe, grâce entre autres aux guides pédagogiques	Condition expérimentale	
Les enseignants donnent des cours réguliers pour la première partie de l'expérience		Contrôle
Est-ce que l'effet de l'intégration du jeu en classe sur le FCI persiste à moyen terme?		
Les post-post-tests serviront à étudier l'effet de rétention	X	
Est-ce qu'une intégration en classe de Mécanika produit un meilleur gain, tel que mesuré par le FCI, qu'une utilisation détachée, où le jeu est simplement donné en devoir?		
Les enseignants intègrent bien le jeu en classe, grâce entre autres aux guides pédagogiques	Condition expérimentale	
Les élèves utilisent le jeu de façon autonome, sans l'aide du professeur, pour la deuxième partie de l'expérience		Condition expérimentale
Est-ce que la performance d'un joueur à Mécanika est reliée à sa performance au FCI?		
Les données d'utilisation de <i>Mécanika</i> sont analysées pour faire un lien avec les performances au <i>FCI</i>	X	X

3.4.2 Les guides pédagogiques

L'enseignant du groupe 1, pour la première partie de l'expérience, doit utiliser tout le potentiel de *Mécanika*. Il peut pour ce faire utiliser les guides pédagogiques de l'enseignant et de l'élève. Ceux-ci ont été construits pour s'assurer que les enseignants comprennent en quoi le jeu peut compléter leur cours, et pour en faciliter l'intégration en classe. Ces guides servent à expliciter les situations abordées dans chaque niveau de *Mécanika*, puisque le jeu ne suggère pas de lui-même la relation entre ces situations et la matière enseignée en physique mécanique. Chaque série de niveaux de *Mécanika* a son propre guide de l'élève et de l'enseignant; un exemple de guides pour la série B est présenté en annexe D.

Ces guides pédagogiques ont été conçus par des experts reconnus en enseignement de la science et de la physique. Un de ces experts, Yvon Lapointe, a par exemple gagné le Prix Raymond-Gervais de l'Association des professeurs de sciences du Québec (A.P.S.Q.) et est récipiendaire du Prix du Premier ministre du Canada pour l'excellence dans l'enseignement.

3.4.2.1 Le guide de l'élève

Conçu pour être rempli lorsque l'élève joue à *Mécanika*, ce guide prend la forme d'un devoir qui porte une attention particulière à quelques-uns des phénomènes vus dans le jeu. Il demande à l'élève d'expliquer sa solution pour quelques niveaux, et fournit une situation d'évaluation où les mêmes concepts seront appliqués à une situation de la vie courante, qui ne se situe pas dans l'univers de *Mécanika*.

3.4.2.2 Le guide de l'enseignant

Ces guides permettent à l'enseignant de bien cibler les conceptions initiales des élèves qui ont le plus de chance de ressortir lors de leur séquence de jeu avec *Mécanika*. Ils offrent également le corrigé des situations présentées dans le guide de l'élève.

3.4.3 Biais de recherche potentiels

Ce devis de recherche comporte quelques biais potentiels qui doivent être identifiés.

Les mêmes enseignants sont en charge de classes dans les deux groupes (effet de contamination): les enseignants auront au moins une classe dans chacun des groupes. Il est en effet important que l'enseignement donné dans le groupe de contrôle et celui donné dans le groupe expérimental soient le plus similaire possible, afin de pouvoir les comparer. Cette configuration apporte par contre un autre biais potentiel: il est possible que les enseignants changent leur façon d'enseigner dans le groupe de contrôle. L'effet du biais a été limité en expliquant la situation aux enseignants, et en leur demandant de donner leur cours « traditionnel » sans se laisser influencer par l'expérience, le plus fidèlement possible.

Les élèves des deux groupes pourront se parler du jeu (effet de contamination): puisque *Mécanika* est disponible en ligne, il est possible que des élèves du groupe de contrôle jouent avant qu'on ne leur demande. Deux mesures sont prises pour limiter les effets de ce biais. D'abord, nous demandons aux élèves du groupe expérimental de garder le secret sur le contenu du jeu, afin d'éviter qu'ils incitent leurs amis du groupe de contrôle à l'essayer. Ensuite, la question est posée aux élèves lors du post-post-test (en leur expliquant bien qu'il n'y aura aucune conséquence négative associée à leur réponse): avez-vous joué avant qu'on vous ne le demande? Les élèves qui répondent par l'affirmative sont simplement éliminés de l'échantillon.

Il est aussi possible que les élèves du groupe expérimental continuent à jouer au jeu, ce qui nuirait à la mesure de l'effet de rétention. Il est demandé aux élèves de ce groupe de ne plus jouer après le premier post-test, et une question leur est aussi posée à cet effet.

Les enseignants ne sont pas choisis au hasard, mais bien sur la base de l'intérêt que ceux-ci manifestent pour l'expérience: les enseignants qui participent à l'expérience ont un certain intérêt pour le jeu, soit pour eux-mêmes ou pour leurs élèves, puisqu'ils ont choisi volontairement de participer à l'expérience. Ce recrutement par intérêt a été fait afin de maximiser la grandeur de l'échantillon. Ce biais bien réel est toutefois diminué dû au fait que les enseignants enseignent à la fois au groupe de contrôle et au groupe expérimental. Les

résultats de l'étude ne seront toutefois applicables qu'aux contextes où les enseignants présentent un certain intérêt pour les nouvelles techniques d'enseignement.

Les élèves pourraient apprendre les bonnes réponses au test du FCI puisqu'ils le passent trois fois: La répétition du même test pourrait permettre aux élèves d'améliorer leur performance simplement en le remplissant trois fois. Henderson (2002) explique qu'il n'y a pas de différence significative entre les résultats de ceux qui ont passé un pré-test du *FCI* et ceux qui ne l'ont pas passé. Les élèves n'apprennent donc vraisemblablement rien du test, même s'ils le passent plusieurs fois.

Les enseignants impliqués dans l'étude ne sont pas nécessairement assez compétents pour enseigner la matière reliée à *Mécanika*: selon Hestenes (1998), la compréhension de l'enseignant des forces Newtoniennes telle qu'évaluée au *FCI* est un critère important pour la réussite des élèves au même test. En effet, les élèves ne dépasseront généralement pas la performance au *FCI* de leur enseignant. Le *Force Concept Inventory* est donc administré aux enseignants à la toute fin de l'expérience afin de s'assurer que leurs performances ne soient pas trop basses pour nuire à l'expérience.

Outil de mesure connu des enseignants: les enseignants n'ont connaissance du *FCI* qu'à la toute fin de l'expérience, et ils ne peuvent donc pas enseigner aux élèves directement les réponses au test. Même si le *FCI* est accessible sur Internet, bien que difficilement, il est demandé aux enseignants de ne pas l'acquérir et l'étudier à l'avance.

3.5 Règles d'Éthique

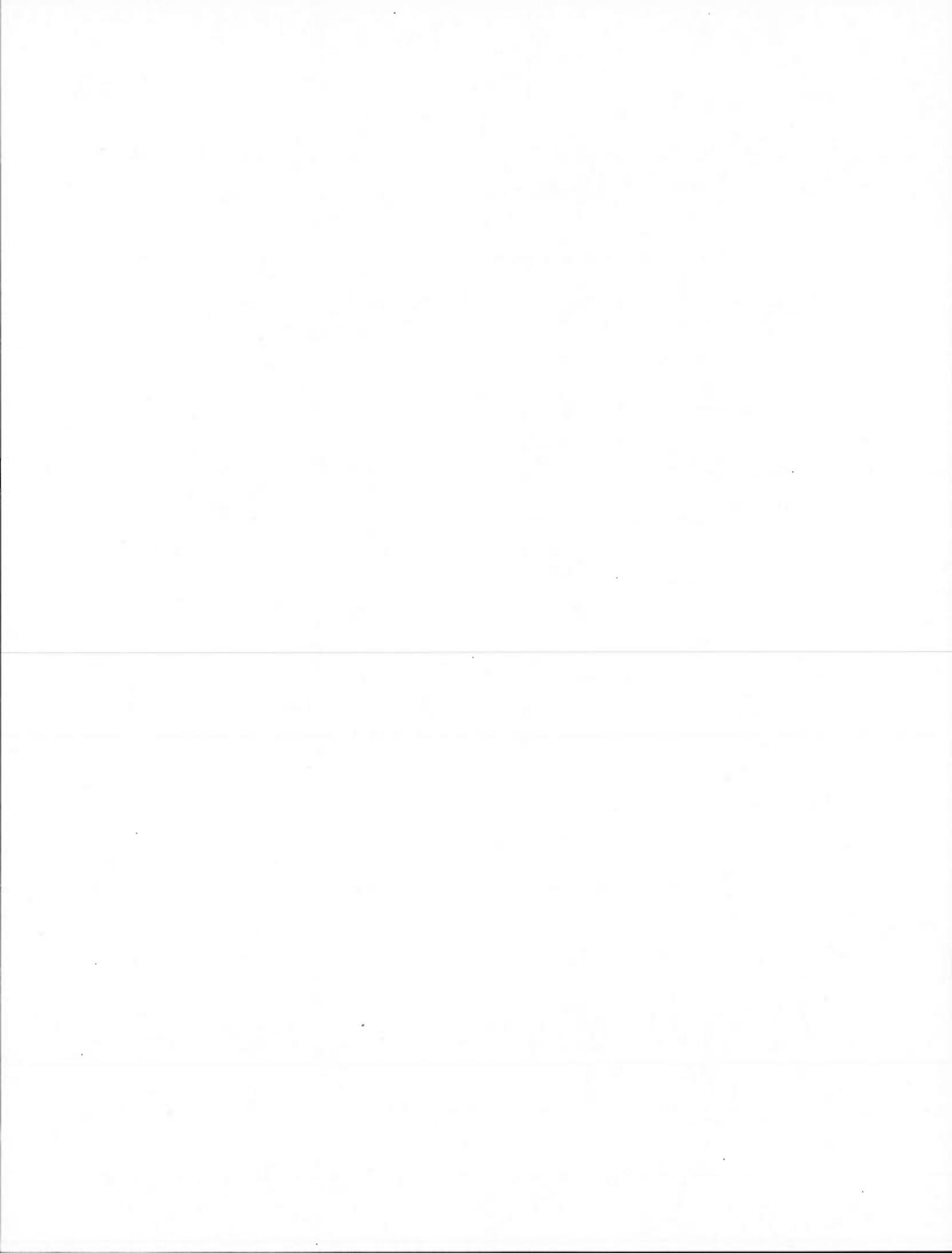
3.5.1 Confidentialité

Les écoles et les enseignants impliqués dans l'étude restent anonymes. Les performances des élèves au test du *FCI* et à *Mécanika* sont disponibles pour les enseignants seulement, et ce, à la fin de l'expérience. Par contre les résultats qui seront publiés par la suite ne contiendront pas les noms des élèves participant à l'étude.

3.5.2 Consentement

Les sujets de cette étude ne sont impliqués que s'ils y participent volontairement. Tous les élèves doivent jouer à *Mécanika*, puisqu'il s'agit d'un devoir qui est donné par l'enseignant. Par contre, les performances enregistrées par le jeu ou par le test du *FCI* ne sont pas utilisées sans le consentement des sujets. Pour les élèves qui ne participent pas au projet, des exercices sont proposés en classe par l'enseignant responsable du groupe au lieu de répondre au *FCI*.

Puisque la plupart des sujets ne sont pas majeurs, un formulaire de consentement, en annexe C, doit être signé par les élèves et leurs parents. Ce formulaire explique brièvement l'expérience, et décrit de quelle façon les élèves sont évalués. Les parents peuvent retirer leur enfant de l'expérience en tout temps.



CHAPITRE IV

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

La question principale de recherche demande si le jeu *Mécanika* peut favoriser l'apprentissage des concepts de la mécanique newtonienne. Cette question a été par la suite divisée en 4 sous-questions de recherche. Les résultats et leur interprétation pour chaque sous-question formeront les sections principales de ce chapitre. Les résultats les plus importants seront par la suite résumés avant de présenter les principales limites de l'étude.

4.1 Est-ce que l'utilisation de Mécanika en classe produit un meilleur gain sur la performance au FCI qu'un enseignement « traditionnel »?

Pour cette première partie de l'expérience, les élèves du groupe expérimental (groupe 1) ont joué au jeu, complété des guides pédagogiques, et discuté en classe de leurs réponses. Les élèves du groupe de contrôle (groupe 2) ont eu des cours traditionnels avec les mêmes enseignants, sans utiliser le jeu ou les guides.

L'étude de ces groupes sera abordée de diverses façons. Les notes du pré-test au *Force Concept Inventory*, l'outil de mesure utilisé, seront d'abord analysées. Cette étape permettra de s'assurer que toutes les classes participant à l'expérience ont une performance au test du *FCI* qui s'approche de ce qui est habituellement observé pour des élèves de cinquième

secondaire. Les gains des classes ayant utilisé le jeu seront ensuite comparés aux gains des classes ayant eu un enseignement traditionnel sans jeu. Afin de contextualiser ces résultats, les gains observés seront comparés avec ceux d'une autre expérience. Une analyse plus détaillée de quelques items au test permettra ensuite de comprendre ce qui pourrait être amélioré dans *Mécanika*.

4.1.1 Les notes du pré-test

La moyenne des élèves au pré-test pour tous les groupes confondus est de 24.4%. Ce résultat faible est prévisible pour des élèves de ce niveau; il est très proche de la moyenne habituelle de 26% observée au secondaire (Hestenes, 2006).

Le groupe 1, le groupe expérimental qui a joué au jeu dans le cadre des cours, a une moyenne de 23.2% au pré-test (N=94), alors que le groupe 2, le groupe de contrôle qui a suivi des cours traditionnels, a une moyenne de 25.6% (N=91). Cette différence n'est pas significative, mais sera néanmoins prise en compte lors des calculs du gain. En d'autres mots, le fait que les élèves du groupe expérimental aient un potentiel d'apprentissage plus important dû à leurs plus faibles notes sera contrôlé par la formule du gain, qui normalise cette différence initiale au pré-test. Cette correction par la formule du gain est expliquée à la section 2.1.1.3 des considérations théoriques.

4.1.2 Comparaison des gains au FCI des deux groupes

L'analyse du gain du groupe expérimental (B>A) comparée au groupe de contrôle (E>D) pour la première partie de l'étude permet de déterminer si l'utilisation du jeu en classe favorise le changement conceptuel d'avantage qu'un cours « traditionnel ». L'hypothèse de recherche est directionnelle, c'est-à-dire qu'elle présume qu'il y aura un gain positif pour le groupe expérimental qui utilise le jeu. On peut donc utiliser un niveau de confiance unilatéral de $p=0.05$.

Le gain du groupe expérimental ($h=0.10$, N=85, $t=6.73$, $p<0.001$) est nettement plus important que celui du groupe de contrôle, qui n'est pas significatif ($h=0.02$, N=82, $t=1.37$, $p=0.175$). Quelques élèves du groupe expérimental n'ont par contre pas joué à tous les niveaux demandés, et des résultats plus précis sur l'effet de l'utilisation de *Mécanika*

pourraient apparaître si ces élèves n'étaient pas considérés dans l'analyse. Ce filtrage ne retient que 51 des 85 élèves du groupe expérimental, et le gain observé pour ceux qui ont vraiment joué à *Mécanika* augmente à $h=0.12$ ($t=5.54$, $p<0.001$). Les élèves ayant joué à toutes les séries demandées ont donc un gain significativement plus élevé que ceux qui n'ont pas joué à *Mécanika*.

Un test t indépendant révèle que la différence entre le groupe expérimental et celui de contrôle, $h=0.10$, est significative ($t=3.80$, $p<0.001$). La taille de l'effet du gain pour le groupe expérimental peut être mesurée grâce aux pré-tests et post-tests, tel qu'indiqué par le d de Cohen. Celui-ci est de $d=0.95$, soit au-dessus du seuil suggéré par Cohen de 0.8 indiquant un effet important.

Les résultats observés permettent d'affirmer que l'utilisation de *Mécanika* en classe est bénéfique à l'apprentissage des concepts newtoniens, tel que démontré par les gains au test du *Force Concept Inventory*. Afin de contextualiser les résultats, les gains observés seront comparés avec ceux d'une expérimentation semblable effectuée par Hestenes (2006).

4.1.3 Comparaison avec le *Modeling Instruction Project*

La différence de gain entre le groupe expérimental et de contrôle de $h=0.10$ est comparable avec celle obtenue dans le cadre d'une autre expérience qui a utilisé le *Force Concept Inventory* comme outil de mesure. Le programme d'entraînement du *Modeling Instruction Project* dirigé par Hestenes (2006), détaillé à la section 2.1.1.3 des considérations théoriques, avait obtenu une différence de gain entre les groupes de $h=0.13$. La Figure 4.1 montre ces différences sous forme de gain en pourcentage pour chaque expérience.

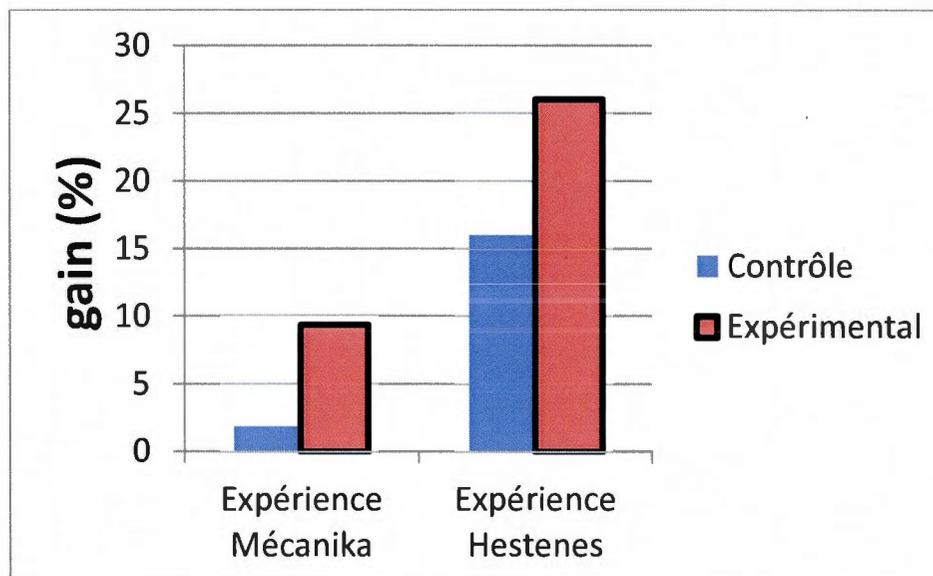


Figure 4.1 Les gains en pourcentage (post-test – pré-test) pour les groupes des deux expériences.

Cette figure représente la différence entre le gain du groupe expérimental et le gain du groupe de contrôle pour chaque expérience. Bien que cette différence de gain soit légèrement plus petite pour l'expérience portant sur *Mécanika*, elle a été obtenue pour des périodes d'enseignement considérablement plus courtes (un mois pour un enseignant, trois mois pour l'autre). La différence de gain observée par Hestenes, obtenue grâce à une formation des enseignants, était quant à elle mesurée sur une durée correspondante à un trimestre complet.

D'autre part, ce projet de recherche de Hestenes nécessitait un effort important de la part des experts et des enseignants. Dans les mots de l'auteur, l'atelier est "*an intensive 3-week Modeling Workshop that immerses [teachers] in modeling pedagogy and acquaints them with curriculum materials designed expressly to support it*" (Hestenes, 2006). En comparaison, pas plus de trente minutes ont été passées avec chaque enseignant afin de leur expliquer les mécanismes du jeu *Mécanika*. L'entraînement requis pour une utilisation de base du jeu est donc minimal.

Les résultats obtenus avec le jeu et associés à une formation minimale des enseignants suggèrent qu'un apprentissage de concepts Newtoniens pourrait être réalisé en distribuant le jeu et les guides pédagogiques aux enseignants, sans exiger de formation spéciale de

plusieurs semaines comme le propose Hestenes. Les données ne permettent par contre pas de déterminer si une formation, combinée à l'utilisation de *Mécanika*, favoriserait encore d'avantage l'apprentissage de concepts Newtoniens. Il serait en retour intéressant d'éventuellement explorer l'effet d'une utilisation de *Mécanika* par les enseignants sur l'évolution de leurs pratiques.

4.1.4 Les catégories d'items pour lesquelles la performance des élèves a le plus augmenté

Puisque les réponses individuelles aux items des élèves sont connues, il est possible d'analyser quelles réponses aux items se sont le plus améliorées. Le *Force Concept Inventory* comporte 30 questions, et il serait difficile de représenter visuellement le gain de toutes celles-ci. Ces questions peuvent par contre être classées par catégorie, afin de facilement visualiser quel ensemble de concepts est le plus affecté par le jeu. Le classement de Savinainen et Scott (2002) en 6 catégories sera utilisé, tel qu'expliqué à la section 2.1.1.3 des considérations théoriques. En classant par catégorie les 15 items visés lors du développement de *Mécanika*, on peut identifier les catégories comportant le plus grand nombre d'items et qui devraient être affectées par l'utilisation du jeu. Cette classification, illustrée par la Figure 4.2, montre clairement que le jeu a été conçu pour influencer principalement les conceptions portant sur la première loi de Newton.

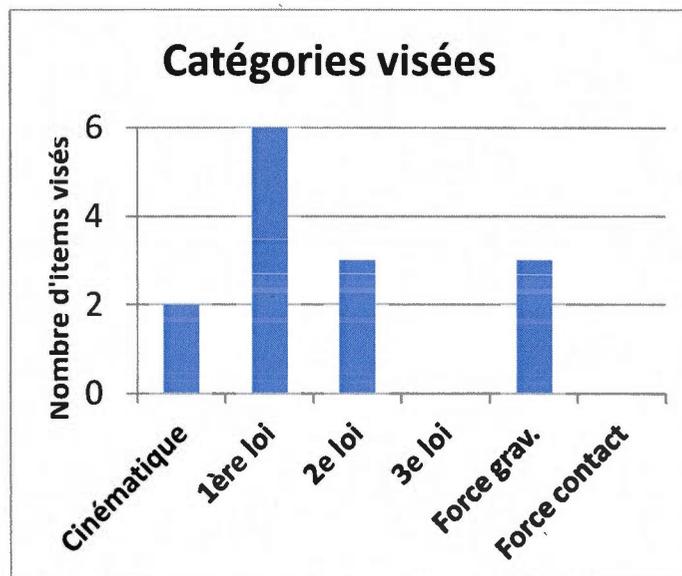


Figure 4.2 Le nombre d'items par catégorie que Mécanika tente d'influencer.

Puisque les élèves n'ont pas tous joué au même nombre de niveaux (voir la section 4.6.5 pour des explications à ce propos), il est possible de les regrouper en fonction de leur progrès dans le jeu, tel qu'illustré à la Figure 4.3. Cette représentation permet de voir l'impact de chaque série de niveau sur l'apprentissage des catégories de concepts. Puisque la série A a été conçue principalement pour expliquer les mécanismes du jeu, il est normal de ne pas voir de différence de gain significative entre le groupe expérimental et le groupe de contrôle. La série B a un impact sur les concepts reliés à la première loi de Newton, contrairement à la série C qui ne semble pas produire d'impact sur aucune catégorie. On peut proposer que l'absence d'impact de la série C est expliquée par un transfert plus difficile des apprentissages: les élèves vivent un changement conceptuel pour une situation dans le jeu, mais n'appliquent pas ce changement aux situations du *FCI* (voir la section 4.1.5.2 pour plus de détails sur ce sujet). La série D semble quant à elle influencer fortement les conceptions en lien avec la cinématique et la première loi de Newton.

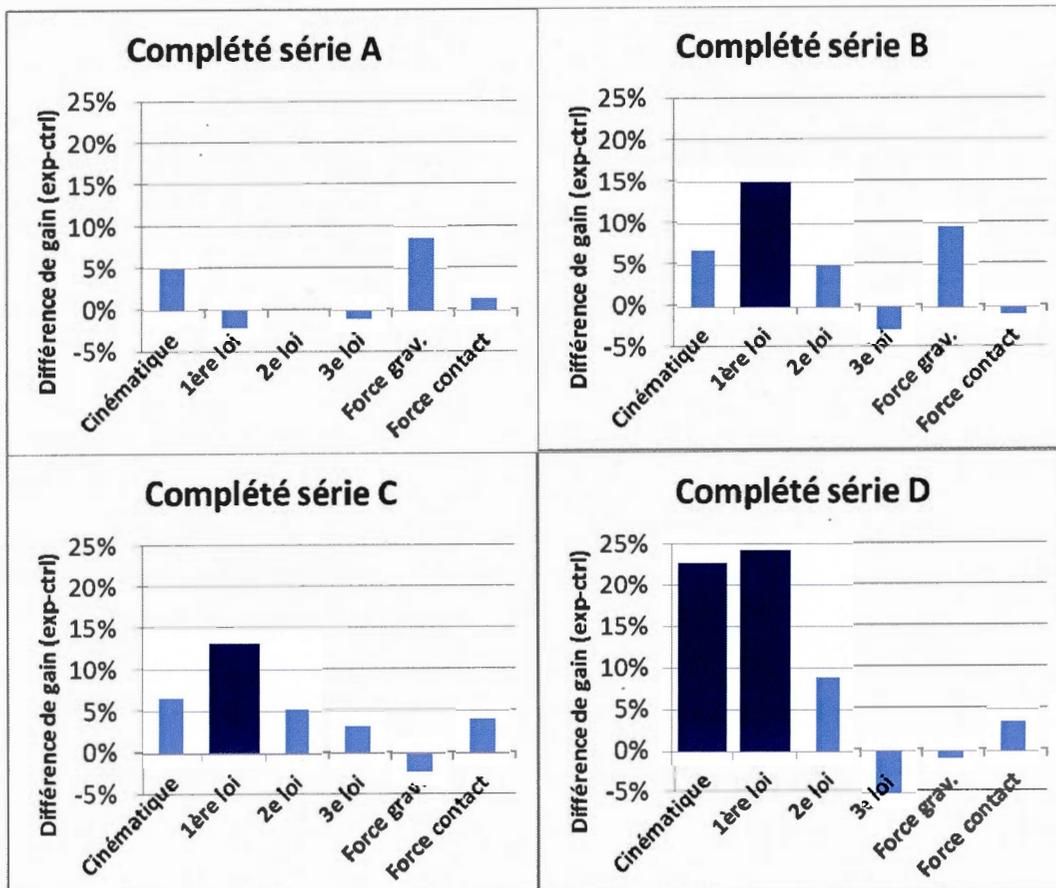


Figure 4.3 La différence entre le groupe expérimental et le groupe de contrôle, classé en catégorie. Les élèves ont été séparés en fonction de leur progression dans le jeu. Les colonnes plus foncées et larges représentent une différence de gain entre les groupes qui est significative ($p < 0.05$).

Quelques catégories d'items sont couvertes dans le cadre de la série E, mais celle-ci n'a pas été jouée par assez d'élèves pour pouvoir en étudier l'impact. Ainsi, il n'est pas possible de connaître l'effet du jeu complet sur toutes les catégories d'items. En résumé, deux des quatre catégories qui étaient visées, la cinématique et la première loi de Newton, sont affectées positivement par l'utilisation du jeu. Il manque par contre de données pour déterminer si les deux autres catégories visées, la deuxième loi de Newton et la force gravitationnelle, sont aussi affectées, potentiellement par la série E.

4.1.5 Les items qui n'ont pas été influencés par le jeu

Il est important de répertorier les concepts pour lesquels *Mécanika* a favorisé un changement conceptuel, afin d'aider les enseignants à déterminer à quel moment ils devraient utiliser le jeu dans leurs cours. Il est aussi pertinent d'analyser quels items au test n'ont pas augmenté, lorsqu'un gain était prévu, afin d'informer les concepteurs dans l'éventualité où une deuxième version du jeu serait conçue. Une analyse de ces items permet de recommander des améliorations basées sur des résultats empiriques.

4.1.5.1 L'absence des données au pré-test lors de la conception

Tel qu'expliqué à la section 2.3.2 des considérations théorique, plusieurs niveaux de *Mécanika* ont été conçus en se basant sur les réponses erronées de 15 questions du *Force Concept Inventory*. Puisque chaque question propose 4 réponses erronées, il aurait été trop long de produire assez de niveaux pour faire le tour de 60 réponses. Un sous-ensemble de réponses qui semblaient être les plus problématiques a donc été sélectionné en se basant sur l'expérience des concepteurs de *Mécanika*, et non pas sur des données empiriques. Or il est possible à partir des données du pré-test d'observer quelles réponses étaient particulièrement populaires. L'intuition des chercheurs semble être vérifiée pour la plupart des questions. Pour ce qui est par contre de la question 14, où on demande à l'élève de prédire le mouvement d'une balle de quille qui tombe d'un avion, tel qu'illustré à la Figure 4.4, les chercheurs n'ont pas bien prédit la répartition des réponses des élèves. La réponse la plus populaire est de loin la courbe 1, où la boule de quille fait une parabole vers l'arrière de l'avion, même si le point de référence est au sol.

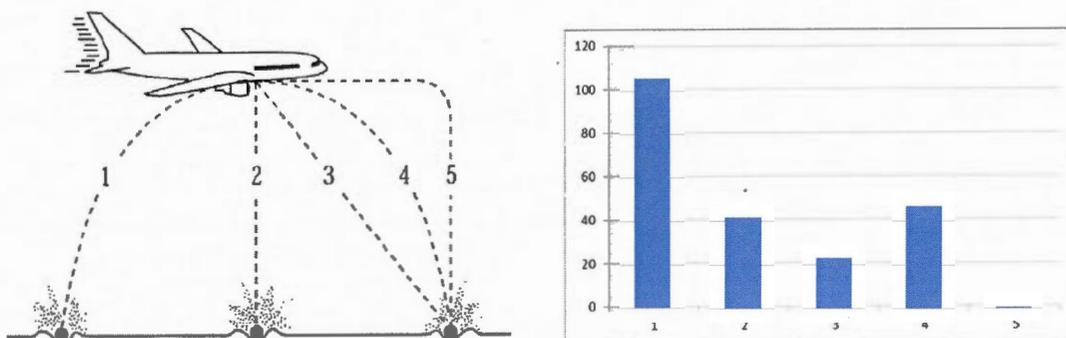


Figure 4.4 La question 14 du *Force Concept Inventory*, suivi de la répartition des réponses des élèves

Or, dans le niveau D3 de *Mécanika* qui traite d'un sujet similaire à cette question, seules les courbes erronées 2 et 3 sont représentées (étoiles jaunes et blanches à la Figure 4.5). Dans ce niveau, l'Aspir-o-matic, ce robot qui crée des boîtes qui doivent passer sur les étoiles, se déplace régulièrement de gauche à droite et de droite à gauche. Par un heureux hasard, les élèves qui ont la conception initiale liée à la courbe 1 tomberont dans un piège qui n'était pas planifié par les concepteurs. Ainsi, s'ils croient que l'objet créé ira dans le sens contraire du mouvement suivant un mouvement parabolique, ils vont essayer de rejoindre les étoiles grises lorsque l'Aspir-o-matic se déplace de droite à gauche.



Figure 4.5 Le niveau D3 de *Mécanika* portant sur quelques réponses erronées de la question 14 du *FCI*

Il n'est pas possible de dire si l'absence de données empiriques sur les réponses erronées les plus populaires du *FCI* a affecté à la baisse les résultats de cette recherche. Une étude future éventuelle se basant sur les items d'un test standard devrait par contre tenter de se concentrer sur les réponses erronées les plus populaires.

4.1.5.2 La représentation des forces continues

Un item en particulier du *FCI* aurait dû selon les chercheurs bénéficier de l'utilisation de *Mécanika* : la question 21, illustrée à la Figure 4.6. Il est demandé aux élèves de déterminer la trajectoire d'une fusée qui se déplace dans l'espace à vitesse constante vers la droite, une fois ses moteurs allumés au point Q.

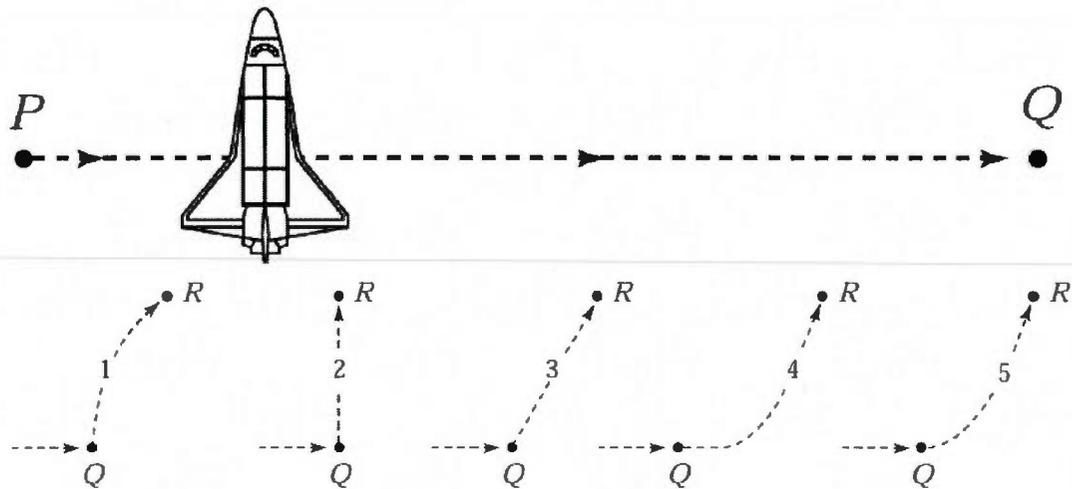


Figure 4.6 La question 21 du *FCI*

On peut observer à la Figure 4.7 que le jeu a effectivement influencé les réponses des joueurs, mais d'une façon imprévue par les développeurs du jeu: les joueurs semblent penser que la force continue de la fusée agit comme une impulsion et que la trajectoire restera droite, même si le moteur est allumé.

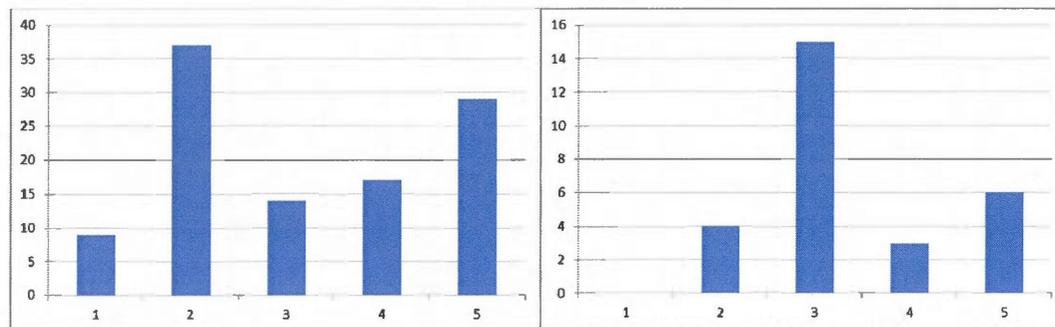


Figure 4.7 La répartition des réponses au pré-test, à gauche, et au post-test pour ceux qui ont joué jusqu'à la série C, à droite, pour la question 21 du *FCI* (groupe expérimental)

Bien qu'il ne soit pas possible sans entrevue avec les élèves de comprendre ce qui se soit vraiment passé, on peut émettre une hypothèse. L'objet qui cause une force continue dans *Mécanika* (une zone de vent) est différent de l'objet utilisé dans le test (une fusée). Bien que ces objets produisent tous les deux des forces continues, et que leur influence sur le mouvement peut être étudiée de la même façon, les élèves ne perçoivent pas nécessairement cette similitude. Il aurait été pertinent de permettre aux joueurs de manipuler quelques robots dans *Mécanika* causant visiblement des forces continues différentes, et de les laisser comprendre qu'elles agissent toutes sur le mouvement de façon similaire. Les joueurs pourraient ainsi éventuellement utiliser un type de robot qui colle une fusée sur les éclairés, et se rendre compte que l'effet sur le mouvement est le même que pour les zones de vent.

Cette différence de compréhension en fonction du contexte a déjà été observée par Steinberg & Sabella (1997), qui ont observé que des représentations ou des contextes différents peuvent provoquer des réponses différentes pour les élèves, même si les concepts de physique sous-jacents sont identiques.

4.1.6 Différences entre garçons et filles

Les filles (22.2%, N=113) ont une note au pré-test plus faible que les garçons (27.9%, N=72). Cette différence de 5.7% est significative ($p < 0.001$). Pour les élèves du groupe expérimental qui ont joué aux niveaux exigés, la note au pré-test des filles (23.8%, N=37) n'est pas significativement différente ($p = 0.279$) de celle des garçons (26.3%, N=20), peut-être dû au

plus faible nombre de sujet dans ces sous-groupes. Cette différence entre les filles et les garçons du groupe expérimental au post-test n'est pas plus significative ($p=0.373$).

Les élèves ont tous bénéficié de l'utilisation du jeu; il n'y a pas de différence significative entre les gains des filles et des garçons ($p=0.540$). Quelques questions posées lors du post-post-test indiquent que les garçons ont trouvé le jeu ($p<0.01$, $d=0.49$) ainsi que les guides pédagogiques ($p<0.05$, $d=0.48$) plus utiles dans le cadre de leur cours que les filles. Ils ont de même apprécié davantage l'utilisation du jeu dans le cours ($p<0.01$, $d=0.44$).

4.2 Est-ce que l'effet de l'intégration du jeu en classe sur le FCI persiste à moyen terme?

Suite à l'utilisation de *Mécanika* en classe, les élèves du groupe expérimental ont cessé de jouer pour poursuivre leurs cours normaux pendant un mois, avant d'être testés à nouveau. Une perte significative entre les points de mesure B et C indiquerait que les élèves oublient certains concepts appris par l'utilisation du jeu en classe. Le test t de Student par séries appariées (*paired t-test*), en se limitant encore une fois aux élèves qui ont complété les séries de niveaux demandées, indique une excellente conservation du gain ($t=0.00$, $p=1.00$, $+0.0\%$, taille de l'effet $d=0.00$, $N=55$). Il n'est donc pas possible d'affirmer que le gain causé par l'intégration du jeu en classe n'a qu'un effet à court terme qui dure moins d'un mois.

Cette conservation du gain entre les points de mesure B et C peut indiquer deux choses : soit les concepts appris par *Mécanika* persistent sur une durée d'un mois, soit certains concepts appris par le jeu ont été oubliés, alors que d'autres ont été appris par des interventions des enseignants. Les résultats obtenus dans la première partie de l'expérience semblent par contre plutôt indiquer que les cours dispensés par les enseignants participants avaient un effet limité sur les concepts mesurés par le FCI. L'hypothèse qui semble la plus probable est que les concepts appris lors de l'utilisation de *Mécanika* sont encore mesurables un mois plus tard.

4.3 Est-ce qu'une intégration en classe de Mécanika produit un meilleur gain, tel que mesuré par le FCI, qu'une utilisation détachée, où le jeu est simplement donné en devoir?

La deuxième partie de l'expérience exigeait des élèves qui n'avaient pas encore joué d'essayer *Mécanika* à la maison, mais cette fois-ci sans bénéficier d'explications sur les situations du jeu dans les cours et sans utiliser les guides pédagogiques. Les enseignants avaient comme consigne claire de ne pas parler du jeu, autrement que pour demander aux élèves d'y jouer. Pas un seul élève n'a affirmé, lors d'un sondage réalisé en même temps que le dernier test, qu'il avait joué au jeu avant que cela ne lui soit demandé.

Le gain réalisé par les élèves sans intégration en classe (groupe 2, F>E) est de $h=0.10$ ($t=3.32$, $p=0.003$, $N=26$). Ce gain est très comparable à celui obtenu pour les élèves ayant bénéficié des guides et d'une intégration en classe (groupe 1, B>A), $h=0.12$. Ces deux gains ne sont pas significativement différents ($t=0.70$, $p=0.485$).

L'hypothèse était que les gains observés pour les élèves ayant utilisé *Mécanika* de façon détachée soient significativement plus faibles que ceux observés pour les élèves ayant bénéficié des guides pédagogiques et d'un enseignement portant sur le jeu. Non seulement la littérature semble-t-elle soutenir cette hypothèse, mais cette partie de l'expérience tente de mesurer deux heures de jeu dans un environnement non contrôlé sur une période d'un mois. Il semblait vraisemblable qu'une intervention aussi courte n'ait pas d'impact assez fort sur le changement conceptuel pour être mesuré après un mois d'activités scolaires et de distractions quotidiennes.

Le fait que les gains enregistrés pour une utilisation détachée (F>E, $h=0.10$) soient comparables en amplitude aux gains enregistrés lors d'une intégration en classe (B>A, $h=0.12$) est donc assez surprenant. Il serait possible d'interpréter ces résultats comme un indice que les enseignants ont amélioré leurs méthodes pédagogiques au cours de la première partie de l'expérience. Par contre, si cette hypothèse était vraie, un gain aurait aussi été observé au niveau des groupes de contrôle, ce qui n'est pas le cas.

Il reste donc au moins deux explications possibles pour expliquer ce gain important. La première est que les guides pédagogiques ou les explications en classe auraient pu être mieux adaptés, ce qui aurait provoqué un gain plus fort lors de l'utilisation de *Mécanika* intégrée en classe. La seconde est que la majorité du potentiel éducatif de *Mécanika* vient simplement en jouant, sans avoir besoin d'explicitier les concepts verbalement.

4.4 Est-ce que la performance d'un joueur à *Mécanika* est reliée à sa performance au FCI?

Puisque *Mécanika* est un jeu en ligne, associé à une base de données, il est possible d'analyser les traces des joueurs afin de déterminer s'il existe un lien entre celles-ci et les gains observés au *Force Concept Inventory*. L'analyse par ANOVA servira à établir ces relations. Les traces des deux groupes, avec ou sans bonne intégration en classe, seront analysées.

Quelques traces potentiellement intéressantes (identifiées au Tableau 4.1) ont été enregistrées, et l'analyse ANOVA permettra par la suite de déterminer lesquelles sont reliées avec les performances au *FCI*.

Tableau 4.1
Les variables enregistrées par *Mécanika*

Variable	Description
Nombre d'essais	Le nombre de petites boîtes utilisées avant de réussir chaque niveau, normalisé par la moyenne des autres joueurs à ce même niveau.
Temps de réflexion	Le pourcentage de temps passé à penser à une solution, sans avoir de boîtes en jeu.
Temps par niveau	Le temps total requis en moyenne par niveau, normalisé par le temps requis en moyenne par les autres joueurs.

L'analyse ANOVA a permis d'établir que deux de ces variables sont reliées au gain du *FCI* : le nombre d'essais et le temps de réflexion. Un modèle combinant les deux variables a été créé afin d'en étudier son pouvoir prédictif sur la performance au *FCI*. Ce modèle n'a toutefois pas la même significativité pour les deux groupes étudiés.

Le modèle, lorsqu'utilisé avec le groupe 1 qui a joué à *Mécanika* et qui a eu droit à une intégration en classe, a un lien non-significatif avec la performance au *FCI* ($N=49$, $p=0.168$, puissance= 0.366 , grandeur de l'effet $R^2=0.075$). Puisque cette relation n'est pas significative, il n'est pas possible d'affirmer que les traces permettent de prédire le gain au *FCI* pour ce groupe.

Le groupe 2 qui a joué à *Mécanika* de façon « détachée », c'est-à-dire où l'enseignant n'est pas intervenu en classe pour parler du jeu, a eu des résultats différents. Les deux variables retenues expliquent jusqu'à 42% du gain au *FCI* ($N=22$, $p=0.006$, puissance= 0.875 , grandeur de l'effet $R^2=0.420$). Autrement dit, pour les élèves de ce groupe, il est possible de prédire 42% du gain au *FCI* simplement en notant leur temps de réflexion et leur nombre d'essais dans le jeu. Les élèves qui ont pris moins de temps pour penser à leurs solutions et fait moins d'essais que la moyenne des joueurs ont généralement obtenu un gain au *FCI* plus important.

Une hypothèse qui explique cette différence de prédictibilité entre les deux groupes est qu'elle est due à un effet produit par l'intervention de l'enseignant. En effet, les élèves du groupe 1 ont joué à *Mécanika*, mais ont aussi rempli des guides pédagogiques et parlé en classe avec leur enseignant de leurs interprétations des situations vécues. Un élève qui avait appris certains concepts valides peut ainsi les remettre en doute, et un élève qui n'avait pas compris une situation dans le jeu peut bénéficier des guides ou des interventions en classe. Ce bruit additionnel pourrait expliquer le manque de significativité observé dans ce groupe. Les élèves du groupe 2 n'étaient quant à eux pas sujets à ce bruit, et leurs gains au *FCI* sont donc plus faciles à prédire.

4.5 Résultats principaux

Les résultats les plus importants de cette recherche sont donc que :

- Les élèves qui jouent pendant environ 2 heures à *Mécanika* dans le cadre de leur cours semblent vivre un changement conceptuel important.
- Cet effet est mesuré par un gain significatif au test du *Force Concept Inventory*, contrairement à l'effet des mêmes enseignants qui n'est pas significatif lorsqu'ils donnent leurs cours sans le jeu.
- L'ampleur du changement conceptuel est comparable à celle causé par une autre expérience, qui a donné une formation de 3 semaines à des enseignants. Cette formation, donnée dans le cadre du *Modeling Instruction Project*, est considérée comme une réussite à l'échelle mondiale (Hestenes, 2006). La formation donnée aux enseignants qui ont utilisé *Mécanika* était en comparaison d'environ une demi-heure.
- Le support additionnel offert par les enseignants pour bien intégrer le jeu en classe, en utilisant des guides pédagogiques conçus pour faire le pont entre les situations du jeu et les concepts scolaires, n'a pas aidé de façon notable les élèves à vivre un changement conceptuel plus important que si ceux-ci utilisaient le jeu sans aide externe. Les guides pédagogiques ont pourtant été minutieusement conçus par des experts reconnus pour leur excellence en enseignement de la science et de la physique.
- Le changement conceptuel des élèves qui ont bénéficié du support additionnel en classe sur *Mécanika* est encore observable un mois après l'utilisation du jeu. L'effet de rétention n'a pas été mesuré pour les élèves qui ont joué à *Mécanika* sans support additionnel.

Comme dans toute expérience, le protocole expérimental impose des limites sur l'interprétation de ces résultats. Elles seront décrites à la section suivante.

4.6 Limites des résultats de recherche

4.6.1 *Teaching to the test*

Une des critiques typique pour les expériences utilisant le *Force Concept Inventory* comme outil d'analyse est que les enseignants qui connaissent le test peuvent enseigner la réponse aux questions du test directement, volontairement ou par inadvertance. Les enseignants de l'expérience sur *Mécanika* ne connaissaient pas le contenu du test, mais les concepteurs du jeu l'ont quant à eux étudié en profondeur. Il serait donc possible que le jeu soit conçu pour entraîner directement à bien répondre aux questions du test, et qu'il ne produise pas nécessairement un apprentissage suffisamment transversal et utile.

La réalité n'est par contre pas si claire; bien que les niveaux du jeu portent souvent sur des concepts évalués dans le test, ils ne sont jamais identiques aux questions du test. Comme le précise Hake (1998): *In the broadest sense, [Interactive Engagement] courses all "teach to the test" to some extent if this means teaching so as to give students some understanding of the basic concepts of Newtonian mechanics as examined on the [Force Concept Inventory/Mechanics Diagnostic] tests.* Les études auxquelles sera comparée la présente recherche auront donc aussi un biais similaire.

Il est possible d'évaluer jusqu'à quel point la ressemblance de quelques niveaux du jeu à certaines questions du test influence les gains observés, en examinant les items du test qui ont le plus augmenté. Ainsi le deuxième item qui a le plus bénéficié de l'utilisation du jeu correspond à la question 20 du *FCI*. Cette question porte sur l'accélération, concept qui n'est pas explicité dans le jeu, et utilise une représentation graphique de la position (les blocs fixés dans le temps) qui n'est pas utilisée dans *Mécanika*. Il est donc possible de conclure que bien que certaines questions du test soient abordées plus directement dans le jeu, le score d'autres questions ont augmenté même si elles n'étaient étudiées dans *Mécanika* qu'indirectement.

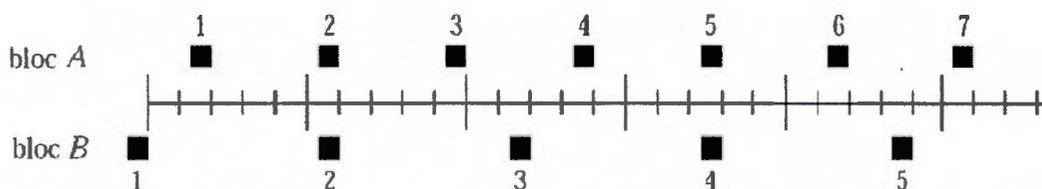


Figure 4.8 La question 20 du *FCI*, qui demande de choisir entre plusieurs descriptions d'accélération de deux blocs qui se déplacent vers la droite. Les carrés numérotés de la figure suivante représentent la position des deux blocs à des intervalles de 0,20 s.

Ainsi, l'effet observé ne se limite pas seulement aux questions directement abordées. Cependant, l'étendue de cette « transversalité » n'a pas vraiment été évaluée ni pour le jeu, ni pour l'enseignement traditionnel. Les résultats ne permettent donc pas vraiment de statuer sur cette question. Il s'agit d'une des limites intrinsèques du protocole expérimental retenu. C'est aussi une limite du *FCI* lui-même, qui ne comporte qu'un ensemble fini de questions sur des éléments ciblés. C'est enfin aussi une limite de l'enseignement en général qui cible toujours plus particulièrement certaines questions.

4.6.2 Les objectifs des enseignants au Québec

Puisque le Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport ne demande pas directement aux enseignants de mettre l'emphase sur les conceptions initiales des élèves, il est peut-être normal de constater que les cours de ces enseignants ne provoquent pas de grands changements conceptuels, tel que mesuré par le *FCI*. Or *Mécanika* a été spécifiquement conçu pour provoquer ce type de changement conceptuel. Dans ce contexte, il n'est pas impossible qu'une partie des vertus de *Mécanika* se trouve dans sa capacité à mettre l'emphase sur les conceptions initiales, et pas nécessairement dans ses aspects interactifs ou motivants.

Toutefois, puisque les chercheurs et les enseignants s'accordent à dire que le *Force Concept Inventory* mesure des concepts importants en physique mécanique, ce changement de priorité possiblement causé par le jeu pourrait en vérité être bénéfique. Enfin, la comparaison avec l'étude de Hestenes (2006) montre jusqu'à quel point il est difficile de provoquer un changement conceptuel dans ce domaine. Il semble donc, en observant les résultats obtenus,

que *Mécanika* possède des caractéristiques qui rendent son utilisation efficace, outre le simple fait qu'il mette l'emphasis sur les conceptions initiales des élèves.

4.6.3 Le faible nombre d'enseignants

Les conclusions de l'expérience sont limitées par le fait que deux enseignants seulement y ont participé. Ainsi, les résultats ne permettent pas de généraliser ces résultats à tous les enseignants puisque les deux enseignants retenus ne peuvent pas être considérés représentatifs de cette population. Puisque le gain obtenu est très comparable pour les deux types d'intégration du jeu en classe (intégrée ou détachée), il semble raisonnable d'estimer qu'un gain de $h=0.10$ est le gain minimal que les élèves obtiendront en jouant à *Mécanika*. Rappelons que ce gain a été obtenu sans la participation active des enseignants.

Les résultats ne permettent donc pas d'estimer le gain qu'un enseignant pourrait obtenir en intégrant le jeu en classe de façon optimale. La dynamique du cours, le nombre et la nature des échanges portant sur le jeu ainsi que l'ordre dans lequel les sujets sont abordés sont tous des facteurs qui peuvent influencer l'amplitude du gain causé par l'utilisation du jeu en classe. Or les résultats ne montrent que deux exemples d'intégration, qui gagneraient probablement à être améliorés étant donné leur faible différence avec l'utilisation détachée. Il est donc permis de supposer que d'autres enseignants utilisant des techniques d'intégration différentes obtiendraient un gain différent, possiblement plus important.

4.6.4 Groupes non aléatoires

Les enseignants qui ont participé à l'étude l'ont fait sur une base volontaire, ce qui est susceptible de causer un certain biais. On aurait pu diminuer ce biais en tirant au hasard des enseignants parmi un ensemble beaucoup plus grand et plus représentatif. Cela était par contre difficilement réalisable dans le contexte de cette recherche menant à un grade de deuxième cycle. Les classes de chaque enseignant ont par contre été assignées de manière équitable à chaque groupe. Deux classes jugées équivalentes par l'enseignant étaient réparties: une classe était attribuée au groupe de contrôle, et l'autre au groupe expérimental. Les résultats des pré-tests montrent que les deux groupes étaient raisonnablement équivalents en termes de compréhension de la physique newtonienne.

4.6.5 Faible taux de participation des élèves

Bien que les élèves aient eu comme consigne claire par leur enseignant de jouer à *Mécanika* à la maison, seulement 90 sur 205 élèves ont complété tous les niveaux demandés. Ce faible taux de participation est principalement dû à deux raisons.

D'abord, certains joueurs n'ont pas pu jouer à la maison puisque le jeu était trop lent. *Mécanika* est hébergé sur le site de la compagnie CREO, Science-en-Jeu, et celui-ci ralentissait considérablement l'ordinateur lorsque plus de 20 utilisateurs étaient dans la même salle virtuelle. Ce problème était d'autant plus grave qu'il prenait du temps de processeur déjà important pour le jeu *Mécanika*, qui est lui-même assez exigeant pour l'ordinateur. Bien que cette lacune ait été corrigée depuis la fin de l'expérience, elle a tout de même nui à l'expérience. Lors du dernier test, 48% des élèves ont répondu « oui » à la question suivante: « Des problèmes techniques avec le jeu m'ont empêché de compléter tous les niveaux demandés. »

Enfin, bien que le jeu ait été donné aux élèves en devoir obligatoire, aucune mesure de contrôle n'a été appliquée par les enseignants. Le fait de faire compter les résultats des élèves au jeu dans leur note au bulletin aurait par exemple pu les motiver d'avantage à compléter les niveaux demandés. Il est raisonnable de supposer que les élèves qui ont complété les séries de niveaux demandées sont naturellement plus motivés que la moyenne, car ils ont fait tout ce qui leur a été demandé sans la promesse d'une meilleure note au bulletin. Puisque les résultats qui ont été principalement considérés sont ceux de ces élèves motivés, le gain observé pourrait être plus significatifs dû à ce biais.

CHAPITRE V

CONCLUSION

5.1 Retour sur les résultats

Les quatre sous-questions de recherche avaient comme objectif de répondre à la question principale suivante : Est-ce que le jeu *Mécanika*, conçu spécifiquement pour intervenir sur les conceptions initiales identifiées par le test d'inventaire du *Force Concept Inventory*, peut favoriser l'apprentissage des concepts de la mécanique newtonienne?

La rigueur du protocole expérimental utilisé, ainsi que l'ampleur et la significativité des résultats obtenus supportent l'hypothèse que le fait de jouer à *Mécanika* améliore le score au *FCI*, ce qui suggère que cette activité favorise le changement conceptuel.

5.1.1 Un protocole expérimental qui conduit à des effets significatifs

D'abord, le protocole expérimental choisi permet d'affirmer que la différence principale entre le groupe expérimental et le groupe de contrôle était l'utilisation du jeu, en classe ou à la maison. Les autres facteurs, comme l'enseignant, ou la nature et l'ordre dans lequel les notions de physique étaient enseignées, étaient identiques d'un groupe à l'autre. Les deux groupes étaient considérés comme étant de force équivalente par les enseignants, ce qui a été

confirmé par des résultats similaires au pré-test. Le protocole a même permis de déterminer que les élèves qui jouaient apprenaient les concepts mesurés par le *FCI*, même sans intervention supplémentaire de l'enseignant. Le nombre d'élèves ayant accepté de participer à l'expérience, et qui ont joué jusqu'aux niveaux demandés ($N=90$), est assez élevé pour obtenir des résultats très significatifs. Il est à noter que le test utilisé, le *Force Concept Inventory*, est un outil de mesure dont l'utilisation est très répandue pour évaluer les nouvelles démarches pédagogiques en physique mécanique, et que même les chercheurs qui le critiquent le considèrent comme étant le meilleur test disponible pour évaluer l'efficacité de l'enseignement dans les cours de physique mécanique (Heller & Huffman, 1995).

5.1.2 Les implications des résultats observés

L'ampleur et la significativité des résultats observés sont parmi les plus importants de toutes les études considérées portant sur l'apprentissage par les jeux en physique mécanique (Clark et al., 2010; Potvin et al., 2010; Rieber & Noah, 1997; White, 1984). Une des différences entre les jeux utilisés par les autres études et *Mécanika* est que ce dernier confronte les élèves à leurs fausses intuitions avec des situations « pièges », afin de causer un conflit cognitif. Il n'est pas possible de confirmer par les données récoltées si cette approche est plus efficace qu'une autre, mais l'effet prononcé du jeu ouvre une piste de recherche intéressante dans ce sens.

L'effet de presque un (1) écart type causé par *Mécanika*, tel que mesuré par le *FCI* ($h=0.12$, $N=51$, $p<0.001$), est plus grand que celui causé par les enseignants ($h=0.02$, $N=82$, $p=0.175$). L'effet des enseignants de cette étude est particulièrement petit, comparativement aux gains typiquement mesurés lors d'un trimestre complet de cours traditionnels aux États-Unis ($h=0.22$). Les résultats indiquent donc que si un enseignant provoque peu de changements conceptuels auprès de ses élèves, l'ajout de *Mécanika* à ses cours favorisera probablement leur apprentissage des concepts Newtoniens. Il serait pertinent d'étudier l'utilisation du jeu par des enseignants qui causent déjà un changement conceptuel normal ou important chez leurs élèves.

Les données récoltées suggèrent que le jeu donné en devoir à la maison peut produire un effet par lui-même, sans perturber le contexte scolaire et sans intervention de l'enseignant. Ces

résultats indiquent donc qu'une distribution du jeu à grande échelle pourrait être une avenue intéressante pour l'enseignement. La littérature indique par contre qu'une bonne intégration d'un jeu en classe permet généralement de mieux exploiter son potentiel. Une utilisation plus poussée de *Mécanika* en classe, composée de discussions entre les élèves et avec l'enseignant sur les situations du jeu, mènerait probablement à de meilleurs effets.

5.2 L'avenir de *Mécanika*

5.2.1 Le potentiel de *Mécanika*

Mécanika en est à sa version initiale. Cette étude représente la première occasion pour l'équipe de développement de comprendre les aspects du jeu à améliorer au niveau pédagogique. Un de ces aspects est par exemple la série de niveaux C, qui ne semble pas avoir eu l'effet escompté. L'équipe pourra se servir des résultats enregistrés pour émettre des hypothèses et remodeler cette série de façon à être plus susceptible de causer un changement conceptuel.

Les élèves participant à l'expérience ont eu la consigne de jouer à quelques niveaux de *Mécanika*. Ils ont en moyenne joué à 35 des 50 niveaux disponibles dans le jeu. Les résultats non significatifs des quelques élèves qui ont complété tous les niveaux du jeu permettent d'espérer que les derniers niveaux permettraient aux élèves d'obtenir un gain encore plus élevé au *FCL*.

Enfin, si les résultats répertoriés dans la littérature sur les jeux vidéo éducatifs s'appliquent à *Mécanika* (Dorn, 1989; Egenfeldt-Nielsen, 2006; Hays, 2005; White, 1984), les enseignants auraient des chances d'améliorer l'apprentissage provoqué par le jeu en utilisant d'autres techniques d'enseignement. Cet effet n'a pas été observé avec les deux enseignants de l'expérience, mais rien n'indique qu'un autre type d'intégration en classe n'aurait pas de meilleurs résultats.

Le potentiel de *Mécanika* et de ses versions futures ne se limite donc pas aux résultats obtenus lors de cette recherche. Un nouveau projet de jeu vidéo éducatif en physique mécanique ou une deuxième version de *Mécanika* pourraient porter entre autres sur les concepts du *FCL* omis dans la première version. Si le développement de ce nouveau jeu est

similaire à la première version de *Mécanika*, et qu'il est aussi efficace pour provoquer le changement conceptuel, il sera possible d'améliorer un nombre encore plus important de conceptions pour la majorité des élèves du Québec et ailleurs en physique mécanique, et ce à faible coût.

5.2.2 Le déploiement à grande échelle

L'option d'un déploiement à grande échelle est intéressante pour les jeux vidéo en ligne, puisque qu'ils se distribuent facilement. Au contraire des manuels scolaires, qui ne semblent d'ailleurs pas avoir significativement aidé les enseignants à provoquer de changement conceptuel dans cette étude, le coût majeur associé aux jeux distribués en ligne est celui de son développement. Ils ne requièrent des élèves qu'un accès à un ordinateur et une connexion Internet, sans frais supplémentaire.

Un des facteurs qui expliquent l'absence de l'utilisation répandue des jeux vidéo dans les milieux scolaires est que les enseignants actuels, des « immigrants digitaux » (Prensky, 2001), ne connaissent pas cette technologie autant que les jeunes. Or les résultats de l'étude montrent que *Mécanika* peut provoquer un changement conceptuel même si l'enseignant n'est pas directement impliqué. Il n'a qu'à indiquer aux élèves l'adresse du site web hébergeant le jeu et leur dire d'y jouer en devoir. La version actuelle se porte donc bien à une distribution à grande échelle, même pour les enseignants plus traditionnels qui ne voudraient pas avoir à apprendre un nouveau type d'outil.

Si les enseignants ne doivent pas absolument être impliqués, les jeunes doivent par contre avoir accès à un ordinateur, soit à la maison, soit à l'école. Cet accès semble assez répandu, à tout le moins au Canada, où 95% des jeunes de 12 à 14 ans utilisaient Internet en 2008 (Center for the Digital Future, 2008). La majorité des jeunes sont de plus déjà familiers avec le médium; aux États-Unis, PEW indique que 78% des jeunes de 12 à 17 ans jouaient à des jeux en ligne en 2009 (Jones & Fox, 2009). La grande majorité des élèves pourraient donc utiliser des jeux vidéo éducatifs en ligne sans avoir à changer leurs habitudes actuelles.

5.2.3 Les avenues de recherche les plus intéressantes

La présente expérience indique que *Mécanika* a un impact sur le changement conceptuel. L'efficacité du jeu permettra de construire de nouveaux devis d'expérience afin de répondre à d'autres questions pertinentes au domaine :

- Est-ce que d'autres façons d'intégrer le jeu en classe produisent de meilleurs gains au *FCI*?
- Est-ce que les séries de niveau D et E provoquent un changement conceptuel important?
- Est-ce que l'utilisation du jeu en paire, où un seul élève joue et l'autre commente, permet d'obtenir de meilleurs gains que l'utilisation solitaire?

Les résultats actuels de cette recherche permettent d'affirmer qu'il sera éventuellement possible de répondre à ces questions, puisque les groupes de contrôles auront selon toute vraisemblance un gain important dû à l'utilisation « normale » du jeu.

Un autre type de devis expérimental permettrait d'essayer différentes règles de design et de mesurer leur impact respectif sur le gain au *Force Concept Inventory* afin de raffiner graduellement *Mécanika*. Par exemple, puisque les résultats indiquent que les élèves qui prenaient moins de temps pour penser entre chaque essai obtenaient un meilleur gain au *FCI*, il serait possible d'essayer une version du jeu qui ne force pas un délai d'attente fixe entre chaque essai.

5.3 Les jeux vidéo en éducation

Cette étude démontre que les jeux vidéo peuvent jouer un rôle significatif dans le milieu de l'éducation. S'ils n'ont pas une présence importante à l'heure actuelle dans les écoles, des facteurs pédagogiques, économiques et logistiques devraient prochainement contribuer à leur créer une place de choix près des manuels scolaires.

Tout d'abord, *Mécanika* présente des avantages pédagogiques qui ne se retrouvent pas fréquemment dans le milieu scolaire. L'utilisation du jeu pendant 2 heures a influencé d'avantage les conceptions initiales des élèves que l'enseignement traditionnel des deux enseignants observés sur un mois. Aux États-Unis, des chercheurs experts dans le domaine

du changement conceptuel en physique ont créé une formation de trois semaines pour les enseignants qui a produit des résultats comparables sur leurs élèves, sur un trimestre complet.

Si ces résultats sont impressionnants, il faut reconnaître que les jeux vidéo ont selon toute vraisemblance un potentiel plus élevé pour certains types d'apprentissage, et moins pour d'autres. Il est de l'opinion des concepteurs de *Mécanika* que la force principale des jeux vidéo est dans l'apprentissage de concepts complexes, comme les concepts Newtoniens, et non pas dans la mémorisation de simples faits, comme les tables de multiplication. Or le corpus de recherche en physique mécanique démontre que le milieu scolaire démontre actuellement des lacunes importantes précisément au niveau du changement conceptuel. L'ajout d'activités complémentaires se basant sur l'utilisation de jeux vidéo à l'école semble donc être une stratégie prometteuse.

Ensuite, les résultats observés dans cette étude sont remarquables puisque le jeu a été conçu par une petite équipe, qui a dû utiliser un budget limité. Le concepteur principal a travaillé sur le jeu dans le cadre de sa maîtrise, sans connaître préalablement le domaine de l'enseignement. Une équipe de deux artistes et d'un scénariste a par la suite travaillé sur l'apparence du jeu, pour un budget totalisant environ 100 000\$. Le coût de production et d'imprimerie de manuels scolaires ou le coût d'une formation pour tous les enseignants est en comparaison bien plus élevé. Considérant que le projet *Mécanika* a été conçu avec des moyens modestes et a obtenu des résultats probants, il est permis de s'imaginer ce qu'il pourrait devenir si plus de ressources y étaient dédiées.

Enfin, le coût principal pour la création d'un jeu vidéo en ligne est au niveau de sa conception. La distribution en ligne du médium à grande échelle peut se faire à faible coût, à prix plus réduit que l'impression d'un manuel par élève par exemple. Les jeunes ont pour la plupart déjà accès à la technologie nécessaire, et sont très intéressés par le médium. De plus, la traduction d'un jeu peut se faire assez rapidement, ce qui lui permet d'être utilisé facilement ailleurs que dans son pays de conception. *Mécanika* pourrait par exemple être utilisé aux États-Unis et à travers le monde, puisqu'il est déjà traduit en anglais.

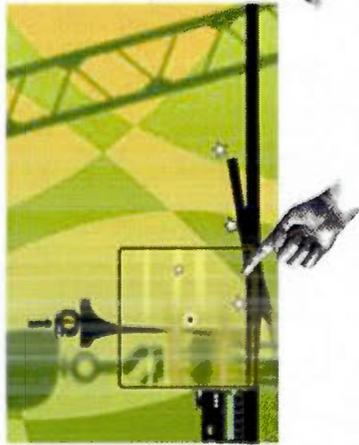
Il reste donc à espérer que les acteurs clés du milieu éducatif verront le potentiel des jeux vidéo pour l'éducation, afin de mieux outiller les jeunes avec les compétences utiles pour faire face aux nombreux défis qui les attendront.

ANNEXE A

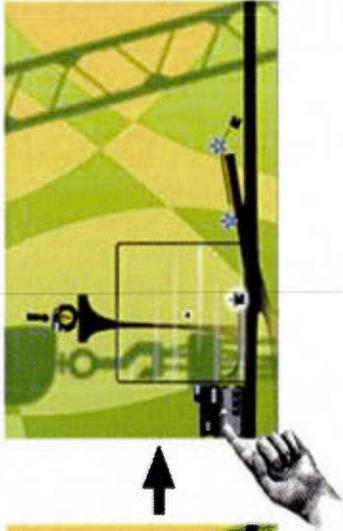
DESCRIPTION DE MÉCANIKA

Le but du jeu...

Placer les robots

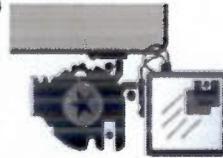
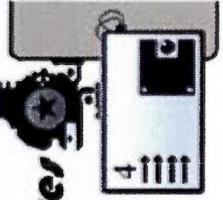


Activer l'Aspiro-matic



Allumer les étoiles!

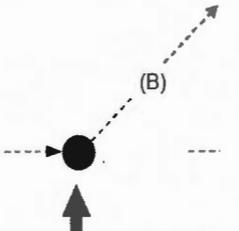
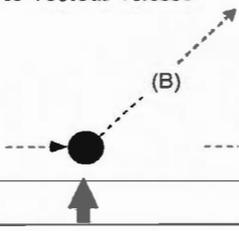
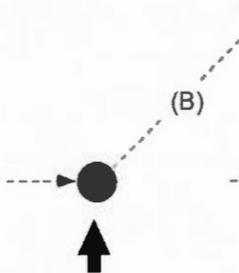


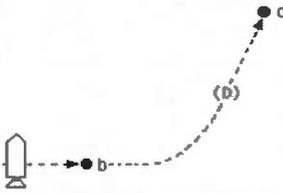
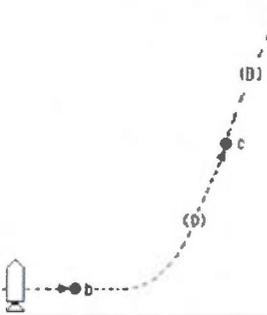
...est de collectionner toutes les étoiles  en les allumant avec les éclairés . Utilise les robots punch-o-matic  vent-o-matic  cord-o-matic  ou gravit-o-matic  pour les contrôler. les éclairés devront traverser des zones de danger des tiro-matices en respectant leurs limites de vitesse  et en connaissant quelles sont les forces actives 

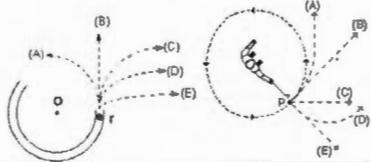
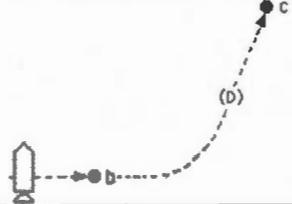
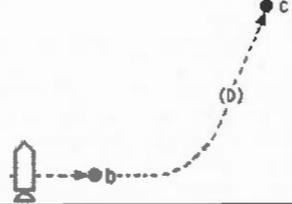
ANNEXE B

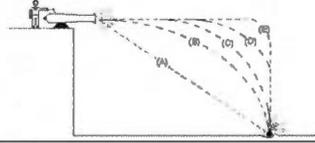
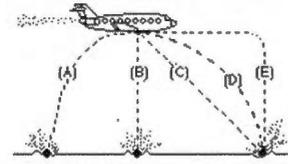
LIEN ENTRE LES QUESTIONS DU FCI ET LEUR

INCLUSION DANS MÉCANIKA

Exemples (tirés du FCI)	Conceptions initiales	Niveaux
8: trajectoire après impulsion		
	CI3 - la dernière force à agir impose la trajectoire (A)	B
	I4 - la trajectoire change progressivement vers la bonne direction (D)	B3
	I2 - l'impetus original sera progressivement récupéré (C, E)	C4
9: addition des composantes X/Y sur le vecteur vitesse		
	CI3 - la dernière force à agir impose l'amplitude de la vitesse (B)	B10
	Il n'y a pas de mouvement sans gravité	B, C, D
	K3: Composition de la vitesse non vectorielle (C - la vitesse totale sera égale à la somme des deux vitesses causées par les impulsions)	B11
	La vitesse reste la même (on garde la vitesse originale) (A)	B10
10: vitesse constante après impulsion		
	En absence de force, les objets demeurent au repos. (C, E)	B9

Exemples (tirés du FCI)	Conceptions initiales	Niveaux
21: Mouvement lors d'une accélération constante		C
	I4 - l'impetus va éventuellement influencer la trajectoire (ligne horizontale droite au début) (D)	C2, C7
	CI2 - il y a un compromis qui détermine la trajectoire tant qu'une autre force ne rentre pas en jeu (C)	C2
23: trajectoire lorsque le moteur est coupé		C
	I2 - Conservation du mouvement initial: La trajectoire initiale (avant le point b) sera la même une fois l'accélération finie au point c. (A, D)	C4
	I3 - Dissipation de la force originale (impetus) - la fusée revient progressivement avec la même trajectoire qu'au début (D)	C3

Exemples (tirés du FCI)	Conceptions initiales	Niveaux
<p>6, 7: trajectoire en sortant d'un mouvement circulaire</p> 	<p>I2 - il y a une conservation du mouvement circulaire en sortant d'une trajectoire courbe (7D)</p>	<p>C8</p>
	<p>I5 - il y a une force circulaire qui continue à agir sur la roche en sortant (7 A, D)</p>	<p>C8</p>
	<p>CF - Une force centrifuge pousse la pierre vers l'extérieur du cercle (6 C, D, E, 7 C, E)</p>	<p>C8</p>
<p>22: variation de vitesse lors d'une accélération constante</p> 	<p>AF4 - La vitesse est proportionnelle à la force appliquée (pas d'accélération, juste une vitesse gagnée instantanément proportionnelle à l'ampleur de la force) (A)</p>	<p>C10</p>
	<p>AF6 - Une force cause une accélération jusqu'à une vitesse terminale, et ce assez rapidement. (A)</p>	<p>C12</p>
	<p>AF7 - Une force active se fatigue avec le temps et diminuera son influence (C, E)</p>	<p>C12</p>
<p>24: vitesse constante lorsque l'accélération est coupée (sans friction)?</p> 	<p>I3 - Le projectile décélérera progressivement jusqu'à s'arrêter (C, E)</p>	<p>C11</p>
	<p>La vitesse augmente après (B,D)</p>	<p>C11</p>

Exemples (tirés du FCI)	Conceptions initiales	Niveaux
12: trajectoire d'un boulet de canon	I3 - la trajectoire initiale sera droite, jusqu'au point où l'influence du boulet de canon sera dissipée. L'influence de la gravité est "combattue" par la vitesse horizontale (C, D, E)	D2, D5
	CI2 - il y a un compromis qui détermine la trajectoire tant qu'une autre force ne rentre pas en jeu (A)	D1
14: trajectoire d'un boulet provenant d'un avion avec une vitesse initiale en X	la trajectoire dépend du type de force ayant causé la vitesse initiale	D3
	CI2 - il y a un compromis qui détermine la trajectoire tant qu'une autre force ne rentre pas en jeu (C)	D3
	K4 - Égocentrique: (A) et (B) - le boulet a l'air de partir vers l'arrière (point de vu de l'avion)	D3
27: une femme arrête subitement de pousser une boîte. Décrire l'évolution de la vitesse tout de suite après l'arrêt de la poussée		D6
3: vitesse/accélération d'une pierre qui tombe d'un édifice		D4
1: 2 balles, poids différent: combien de temps pour chaque balle avant de toucher au sol?	l'accélération des deux objets dépend de leur masse	D10
2: trajectoire des balles avec un poids différent avec la même vitesse en X qui tombent d'une table		D9

ANNEXE C

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

LETTRE D'INFORMATION, INVITATION À PARTICIPER À UNE RECHERCHE ET
FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (participant mineur)

**«Étude de différentes utilisations d'un jeu vidéo éducatif conçu
spécifiquement pour intervenir sur certaines conceptions en physique
mécanique: *Mécanika*»**

Chercheur principal et contact :

François Boucher-Genesse, Étudiant à la maîtrise, Université du Québec à Montréal
francoisbg@gmail.com (514) 435-9815

Chers parents,

Dans le cadre de son cours de physique, votre enfant aura à compléter quelques devoirs à la maison en utilisant un outil en ligne nommé Mécanika. Il s'agit d'un jeu vidéo qui a été spécialement conçu par une équipe de l'UQAM en collaboration avec CREO, une compagnie multimédia spécialisée en communication scientifique, afin d'aider l'enseignant à cibler des conceptions erronées fréquentes en physique mécanique.

Je sollicite la participation de votre enfant à un projet de recherche associé à l'utilisation de ce jeu. Ce projet vise à déterminer quelle sera la meilleure façon d'utiliser Mécanika pour influencer de manière optimale les conceptions erronées des élèves. Il permettra aussi de soutenir les enseignants dans l'élaboration de leurs stratégies visant à améliorer la formation des élèves. La direction de l'école de votre enfant ainsi que son professeur ont donné leur accord à ce projet. La participation de votre enfant favorisera l'avancement des connaissances dans le domaine de l'enseignement de la physique mécanique et permettra, en définitive, d'améliorer la formation et la réussite des élèves. Avec votre autorisation et l'accord de votre enfant, il sera invité à remplir en classe un questionnaire à choix multiples d'environ 30 minutes permettant d'évaluer l'état de quelques-unes de ses conceptions relatives aux lois de Newton. Cette évaluation prendra place à trois moments différents au cours du printemps 2011.

Le jeu Mécanika sera mis en ligne par la compagnie CREO. Afin de supporter la recherche, et avec votre autorisation, la performance de votre enfant au jeu sera enregistrée par CREO et remise aux chercheurs. Afin d'y parvenir, le lien entre le pseudonyme utilisé par votre enfant en ligne et son nom véritable devra être établi. Le lien entre la performance de votre enfant au jeu et son vrai nom ne sera connu que des chercheurs et de son enseignant.

La participation de votre enfant à cette recherche est volontaire. Cela signifie que même si vous consentez aujourd'hui à ce que votre enfant participe à cette recherche, il demeure entièrement libre de ne pas participer ou de mettre fin lui-même à sa participation en tout temps et sans devoir fournir de justification, ni de subir de pénalité. Vous pouvez également retirer votre enfant du projet en tout temps. Pour les enfants qui ne participent pas au projet, des exercices leur seront proposés en classe par le professeur responsable du groupe au lieu de répondre au questionnaire à choix multiples, et le lien entre les données récoltées en ligne et l'identité réelle de ces enfants sera effacé. Cette expérience ne nuira pas au parcours scolaire de votre enfant. La présente autorisation ne nous permet pas de les transmettre à de tierces parties. Seuls les chercheurs et l'enseignant de votre enfant seront informés des résultats obtenus par votre enfant. La compagnie CREO ne sera pas en mesure d'établir le lien entre les performances de votre enfant et son vrai nom. Les résultats communiqués à l'enseignant pourront l'aider à poser de meilleurs diagnostics pédagogiques

sur leurs élèves. Les chercheurs ne peuvent changer les conditions de ce formulaire sans votre accord.

Si vous souhaitez recevoir des renseignements additionnels concernant cette étude, avant de donner votre autorisation ou même après, n'hésitez pas à me contacter. Il me fera plaisir de répondre à vos questions.

AUTORISATION PARENTALE

J'autorise mon enfant (_____) à participer à cette recherche. **Oui / Non** (Encerclez)

Signature du parent: _____ Date : _____

Je suis d'accord à participer à cette recherche. (Encerclez) **Oui / Non**

Signature de l'élève : _____ Date : _____

Veillez retourner ce formulaire à l'enseignant de votre enfant, conserver les coordonnées du chercheur et une copie papier de ce document pour référence.

François Boudry Genesse

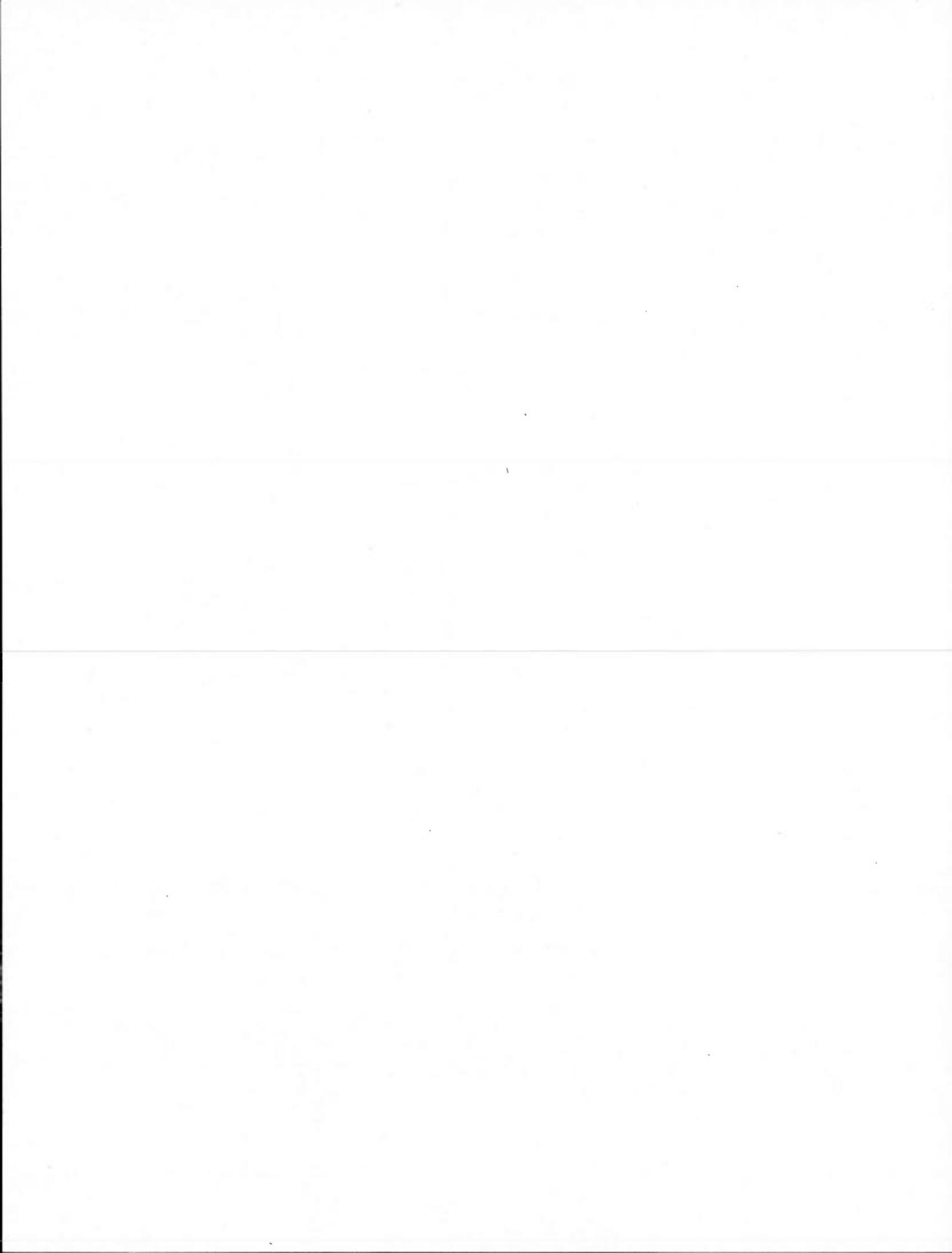
ANNEXE D

EXEMPLES DE GUIDES PÉDAGOGIQUES

(GUIDE D'INTRODUCTION, GUIDES DE

L'ÉTUDIANT ET DE L'ENSEIGNANT DE LA

SÉRIE B)



ÎLE PHYSICA

UN UNIVERS DE SCIENCE EN JEU



GUIDE D'INTRODUCTION

AUX SÉRIES A-B-C-D-E

Yannick Bergeron

François Boucher-Genesse

Yvon Lapointe

Patrice Potvin

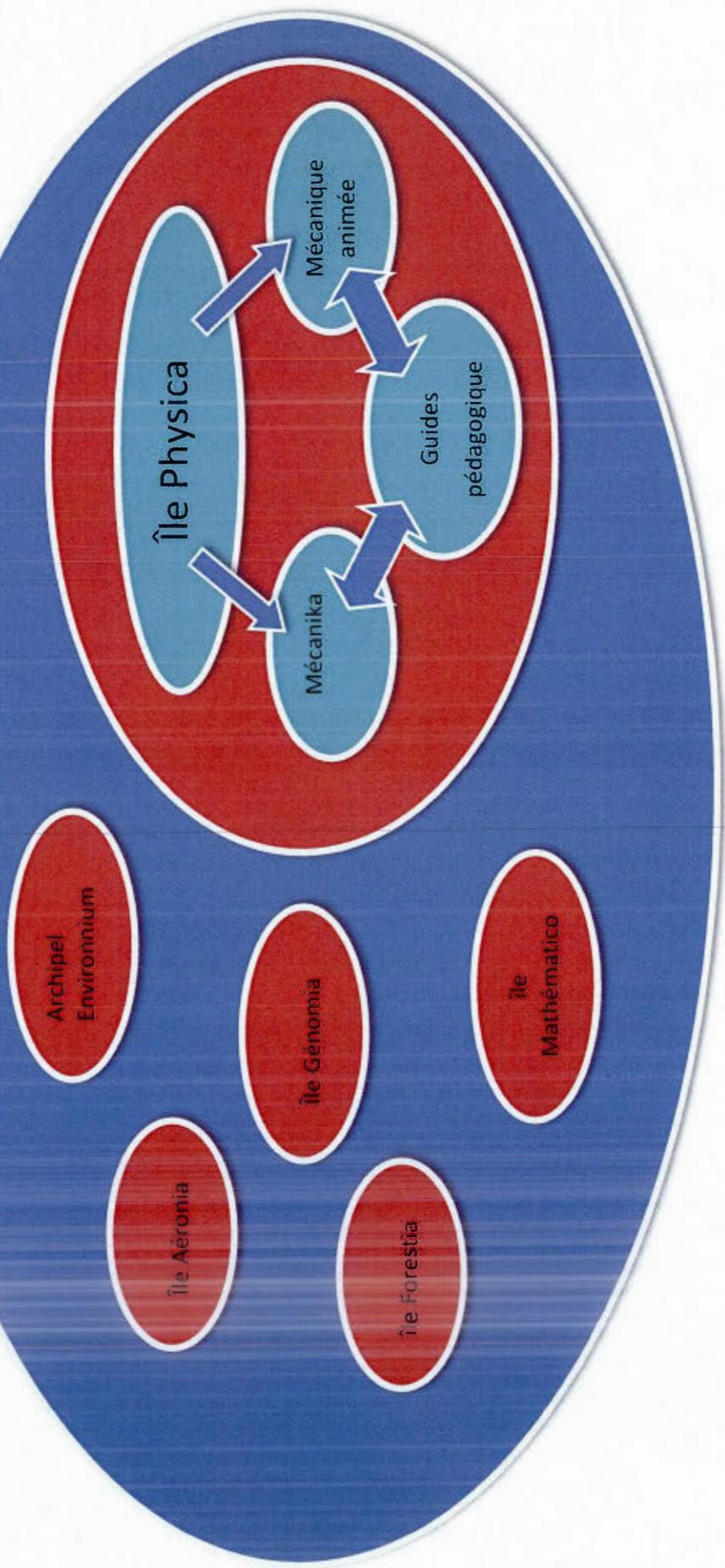
CREO INC.  la science
en jeu

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À
MONTREAL

UQÀM



science en jeu



Mecanika

Mécanika est une application interactive permettant aux utilisateurs de développer des connaissances intuitives relatives aux concepts de la cinématique et de la dynamique. Il s'agit de comprendre le mouvement et les déplacements. Ces connaissances ne se concentrent pas sur des compréhensions encyclopédiques et mathématiques de tels concepts (définitions, calculs, etc.), bien que cela n'empêche pas que les étudiants puissent y recourir pour mieux communiquer entre eux (dans le cas où ils coopéreraient pour résoudre des problèmes, ou dans le cas où des prédictions pouvant mener à de meilleures performances doivent être réalisées).

Mécanika permet d'explorer les effets d'impulsions, d'accélération et de la gravité sur des objets en mouvement. Dans ce processus, les notions d'inertie et de friction sont au cœur des tâches à réussir, bien qu'elles ne soient jamais explicitées. L'ensemble permet de démarrer le développement d'un « sens de la mécanique » par induction basée sur une expérience vécue plutôt que par l'abord habituel « par des équations » ou « des démonstrations » qu'on privilégie si souvent à l'école.

L'application renvoie l'utilisateur à des séquences de tâches à résoudre, placées en ordre croissant de difficulté, qui correspondent à des défis ou des « tableaux » à réussir. Dans tous les cas, il est indispensable d'avoir « deviné » ce que la tâche veut nous enseigner pour la réussir. En aucune circonstance, ce jeu ne donne de « réponses » scientifiques. Il rejoint plutôt l'idée de « puzzle », dont une compréhension intuitive des connaissances scientifiques donne la clé. Il permet également d'inscrire les élèves dans des conflits cognitifs, car de nombreux pièges les attendent... Et ces pièges sont basés sur les erreurs fréquentes d'élèves que les recherches en éducation scientifique ont identifiées à travers, entre autres, les travaux de Halloun et Hestenes.

L'objectif poursuivi est d'inscrire les apprenants dans des tâches qui leur permettront de se faire une idée neuve à propos du mouvement ; de développer une compréhension qui permet éventuellement de porter un regard inusité sur des choses ordinaires. L'objectif porte également sur le développement de compétences. En effet, les apprenants vont davantage mobiliser les savoirs plutôt que les traiter de manière décontextualisée. À chaque moment, ils mobilisent effectivement les connaissances, même s'ils ne les maîtrisent pas nécessairement encore. Ainsi, la table est mise pour démarrer le développement de compétences de résolutions de problèmes en science et technologie. Les programmes de formation du secondaire utilisent les libellés « chercher des réponses ou des solutions à des problèmes scientifiques ou technologiques » (compétence 1) et « mettre à profit ses connaissances scientifiques et technologiques » (compétence 2) pour décrire les compétences principales que Mécanika mobilise et développe. Dans le programme de physique de cinquième secondaire, ces compétences sont contextualisées à la discipline.

Bien du plaisir avec vos élèves!

Introduction

L'enseignement de la dynamique représente un défi de taille pour tous les enseignants de sciences. D'ailleurs, il suffit de parcourir la littérature en didactique de la physique pour comprendre tous les efforts qui sont déployés pour amener les élèves à comprendre le concept de force et ses applications à l'aide des lois de Newton. Ce qui est important de comprendre, c'est que le concept de force se veut une description quantitative des relations que des systèmes (objets) entretiennent entre eux.

Dans les différents tableaux qui constituent le jeu Mécanika, l'enseignant doit amener les élèves à expliquer le comportement d'un robot éclairer en faisant appel à divers types de forces.

Explication de la dynamique de travail enseignant — élève

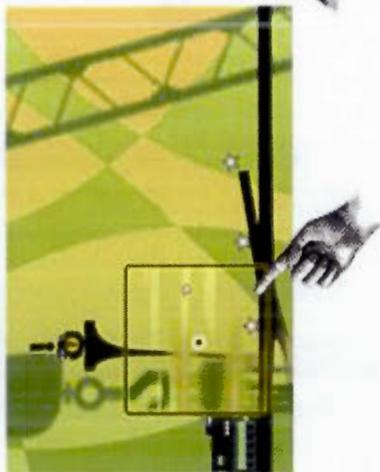


Avant de voir en classe certaines notions, l'enseignant donne un devoir à faire avec le jeu Mécanika qui vise à préparer les élèves. Ils devront compléter une série de tableaux du jeu, ce qui ne devrait pas leur prendre plus d'une heure. L'enseignant leur demandera de même de remplir un guide papier de l'élève associé à cette série. Lors du cours suivant, l'enseignant revient sur le devoir en répondant aux interrogations des élèves et en s'assurant que tous ont bien compris les situations de jeu. Il peut aussi revenir sur les niveaux qui ne sont pas détaillés dans les guides de l'élève, par le biais d'un ordinateur relié à un projecteur ou par un laboratoire informatique. Cet exercice sera répété cinq fois, afin de couvrir cinq séries de tableaux différentes (séries A à E).

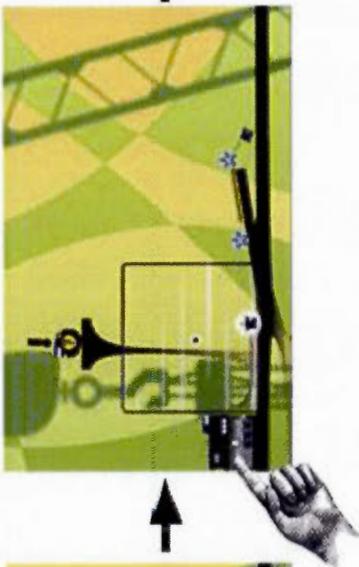


Le but du jeu...

Placer les robots



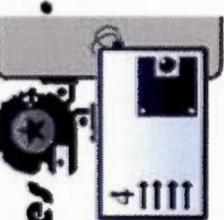
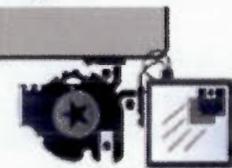
Activer l'Aspiro-matic



Allumer les étoiles!



...est de collectionner toutes les étoiles  en les allumant avec les éclairateurs . Utilise les robots **Punch-o-matic** , **Vent-o-matic** , **Cord-o-matic**  ou **Gravit-o-matic**  pour les contrôler. Les éclairateurs devront traverser des zones de danger des **Tiro-matics** en respectant leurs limites de vitesse



et en connaissant quelles sont les forces actives

Mécanika : Guide pédagogique de l'enseignant¹

NIVEAU

Cinquième secondaire — 2e cycle — 3e année

MATIÈRE

Physique

DOMAINES

Seconde générale et technologique

- La pratique du sport : l'étude du mouvement
- L'Univers : le Système Solaire

Terminale scientifique

- Temps, cinématique et dynamique newtoniennes

RÉSUMÉ

Mécanika est un vaste monde virtuel, où l'élève pourra, sous forme d'Avatar, tenter de vivre une quête scientifique et y résoudre des problèmes. C'est un monde dans lequel chaque résolution d'un problème d'ordre scientifique est ponctuée de nombreuses étapes et de manipulations scientifiques. Cette quête aide les apprenants à développer une compréhension intuitive et qualitative des mouvements et des déplacements d'objets dans notre environnement.

COMPÉTENCES

Domaine de la mathématique, de la science et de la technologie : *PHYSIQUE*

-  Compétence 1 : Cherche des réponses ou des solutions à des problèmes relevant de la physique.
-  Compétence 2 : Mettre à profit ses connaissances en physique.
-  Compétence 3 : Communiquer sur des questions de physique à l'aide des langages utilisés en science et en technologie.

Les concepts prescrits

Cinématique

- Mouvement rectiligne uniforme (Série B)
- Mouvement rectiligne uniformément accéléré (Série C)
- Mouvement des projectiles (Série C-D)

Dynamique

- Lois de Newton (Série A-B-C-D-E)
- Équilibre et résultante de plusieurs forces (Série A-B-C-D-E)
- Accélération gravitationnelle (Série D)
- Force gravitationnelle (Série D-E)
- Force centripète (Série C-D-E)
- Force de frottement (Série E)

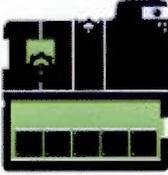
¹ MELS, Programme de formation de l'école québécoise en physique

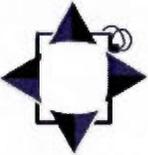
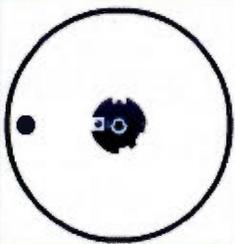
Approche pédagogique

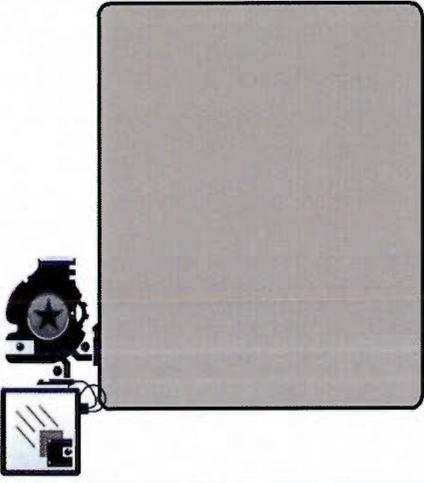
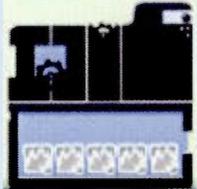
Ce tableau présente une synthèse des situations d'apprentissage et d'évaluation sous la forme d'une planification pour les élèves. L'ordre d'exécution est suggéré pour chaque série de tableaux de Mécanika, mais l'enseignant peut se servir du jeu ou des guides pédagogiques comme il ou elle le désire.

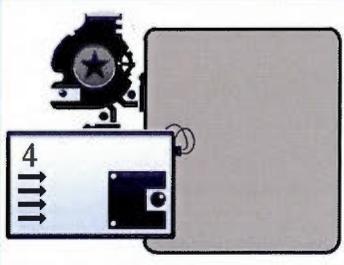
Activités	Déroulement	Durée
<p>Présentation de l'île Physica</p> <p>Jouer à la série proposée</p>	<p>Expliquer le fonctionnement de l'activité.</p> <p>Laisser les élèves jouer à la série proposée.</p> <p>EN LABORATOIRE ou EN DEVOIR</p>	<p>60 – 75 minutes</p> 
<p>Guide de l'élève</p> <p>Situation d'apprentissage</p> <p>(Activité 1 et Activité 2)</p>	<p>Distribuer le guide de l'élève selon la série proposée.</p> <p>Inviter les élèves à résoudre les problèmes proposés dans les activités 1 et 2.</p> <p>EN DEVOIR</p>	<p>60 - 75 minutes</p>
<p>Explication des activités 1 et 2</p> <p>Explication des concepts prescrits</p> <p>Exploration et questionnement sur les autres tableaux de la série</p>	<p>Amener les élèves à s'approprier des concepts prescrits.</p> <p>Revenir avec les élèves sur les problèmes à résoudre et animer la discussion.</p> <p>Résoudre les tableaux plus difficiles en projetant l'image sur un projecteur.</p> <p>EN CLASSE</p>	<p>180 - 225 minutes</p> 
<p>Guide de l'élève</p> <p>Évaluation</p> <p>Situation d'évaluation</p>	<p>Évaluer les élèves en regard de la compétence ciblée.</p> <p>EN CLASSE</p>	<p>10 - 15 minutes</p> 

Principaux robots utilisés dans le jeu et leurs fonctions

Image	Nom	Effet
	Guid-o-matic	Donne des conseils et raconte parfois quelques blagues.
	Aspir-o-matic	Produit sur demande des éclaireurs.
	Éclaireur	Doit atteindre toutes les étoiles de carburant afin de les allumer.
	Étoile de carburant	S'active lorsque touchée rapidement par deux éclaireurs. Toutes les étoiles doivent être activées simultanément pour réussir un tableau.
	Vent-o-matic	Applique une force constante aux éclaireurs en grandeur et en direction lorsque ceux-ci sont dans la zone d'influence (encadré noir). La direction de la poussée est indiquée sur le Vent-o-matic.

	Direct-o-matic	Change l'orientation des Punch-o-matics et des Vent-o-matics.
	Gravit-o-matic	Active/désactive la force gravitationnelle.
	Punch-o-matic	Applique une impulsion aux éclaireurs.
	Cord-o-matic	Attache un éclaireur à une corde et coupe celle-ci au moment où il atteint le petit cercle noir.
	Clôture électrique	Met hors tension les robots (Vent-o-matics, Punch-o-matics et Cord-o-matics) qui la touchent, ce qui les désactive. Ces robots seront recyclés à la fin du tableau s'ils sont toujours hors tension.

 <p>The diagram shows a mechanical device on the left with a star-shaped dial and a small control panel. To its right is a large, light-colored rectangular area representing a speed restriction zone.</p>	<p>Tir-o-matic (zone de restriction de vitesse)</p>  <p>The icon shows a square with diagonal lines and a smaller black square in the bottom right corner, representing a speed restriction zone.</p>	<p>Tous les éclaireurs qui traversent cette zone doivent avancer à une vitesse définie pour toute la durée de leur présence dans la zone encadrée noire.</p> <p>Un pictogramme à l'entrée de la zone indique à l'aide d'icônes la vitesse à laquelle les éclaireurs doivent avancer pour traverser la zone.</p> <p>Par exemple, une icône comme celle-ci indique que la vitesse d'un éclaireur devra être plus grande qu'une unité de vitesse, mais plus petite ou égale à deux unités de vitesse tout en demeurant constante dans la zone.</p>
 <p>The diagram shows a rectangular area with a wavy, yellow-to-orange gradient background, representing a wind zone.</p>	<p>Zone de vent</p>	<p>Applique une force constante aux éclaireurs lorsque ceux-ci sont dans la zone d'influence (encadré noir). Elles exercent la même force que les Vent-o-matics, mais à la différence de ces derniers, le joueur ne peut pas les déplacer.</p>
 <p>The diagram shows a dark, industrial-looking machine with a control panel at the bottom, representing an Aspir-o-matic gelé.</p>	<p>Aspir-o-matic gelé</p>	<p>Produit des éclaireurs gelés, qui ont une masse deux fois plus importante que les éclaireurs ordinaires.</p>
 <p>The icon shows a square with a jagged, lightning-bolt-like pattern, representing a frozen light.</p>	<p>Éclaireur gelé</p>	<p>Joue le même rôle qu'un éclaireur, mais possède une masse deux fois plus importante.</p>

	<p>Tir-o-matic (zone de restriction de force)</p>	<p>Tous les éclaireurs qui traversent cette zone doivent être soumis à un nombre précis de types de forces qui agissent sur eux lorsqu'ils sont dans la zone d'influence (encadré noire).</p>
	<p>Aspir-o-matic diabolique</p>	<p>Ne produit plus d'éclaireurs, il faut absolument arrêter ce robot avant qu'il n'absorbe toute l'énergie du dépotoir!</p>

Grille d'évaluation

Nom de l'élève : _____

Série : _____

Titre de la situation d'évaluation : _____

Grille descriptive pour l'évaluation de la compétence 1 Chercher des explications ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifiques						
		A	B	C	D	E
Critère d'évaluation	Élaboration d'explications ou de solutions pertinentes.	Propose des explications ou des solutions complètes.	Propose des explications ou des solutions appropriées qui tiennent compte de ses résultats.	Propose une explication ou une solution incomplète, mais qui concorde avec la qualité de la démarche effectuée.	Propose des explications ou des solutions sans vérifier la concordance avec ses résultats ou le problème.	Présente les résultats obtenus sans proposer d'explication; ou des solutions au problème.

Grille descriptive pour l'évaluation de la compétence 2 Mettre à profit ses connaissances scientifiques						
		A	B	C	D	E
Critère d'évaluation	Critère 1	Énumère tous les concepts pertinents; ajoute parfois des éléments superflus.	Énumère la majorité des concepts	Choisit uniquement les concepts évidents	Choisit un seul des concepts évidents	Aucun concept évident
	Critère 2	Propose des explications ou des solutions rigoureuses enrichies par des éléments complémentaires aux concepts de la situation. Établit des liens pertinents entre des concepts, des lois, des modèles ou des théories dépassant parfois les données de la situation.	Propose des explications ou des solutions cohérentes en s'appuyant sur des concepts clés. Établit des liens pertinents entre des concepts, des lois, des modèles ou des théories dans le contexte de la situation.	Propose des explications ou solutions partielles en s'appuyant sur certains concepts. Établit des liens avec la situation, mais sans chercher à les approfondir.	Propose des explications ou solutions peu cohérentes intégrant certains concepts. Établit des liens plus ou moins pertinents entre eux.	Propose des explications sans faire appel aux concepts. Établit peu ou pas de liens pertinents entre certains concepts dans le contexte de la situation.

Grille descriptive pour l'évaluation de la compétence 3 Communiquer à l'aide des langages utilisés en science						
		A	B	C	D	E
Critère d'évaluation	Respect de la terminologie, des règles et des conventions propres à la science.	Vulgarise son message de façon à en faciliter la compréhension et l'interprétation. Utilise une terminologie recherchée qui peut dépasser celle exigée par la tâche.	Organise correctement les éléments de son message. Utilise une terminologie appropriée.	Organise les éléments de son message de façon plus ou moins correcte. Utilise une terminologie appropriée pour les concepts les plus simples.	Juxtapose des éléments de son message sans les organiser. Utilise un vocabulaire élémentaire.	Présente un nombre insuffisant d'éléments, sans lien apparent. Utilise un vocabulaire inadéquat.

ÎLE PHYSICA

UN UNIVERS DE SCIENCE EN JEU



GUIDE DE L'ÉLÈVE

SÉRIE B

Yannick Bergeron

François Boucher-Genesse

Yvon Lapointe

Patrice Potvin

CREO INC.



UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À
MONTREAL

UQÀM



Introduction

Ce guide s'adresse principalement à l'élève.

Il a pour but de fournir une série d'exercices sur des phénomènes mécaniques de la physique qui accompagnent des activités que l'on retrouve sur l'île Physica dans *SCIENCE EN JEU*.

On y retrouve :

- Mise en contexte et préparation : série B
- L'activité 1 : situation d'apprentissage : impulsion et trajectoire
- Situation d'évaluation : Lance et compte
- L'activité 2 : situation d'apprentissage : impulsion et vitesse
- Situation d'évaluation : Manque de force

Série B

La série B permet à l'élève de mettre ses habiletés et ses nouvelles connaissances à l'épreuve dans des tableaux présentant des situations un peu plus complexes que dans la série précédente. L'élève a ainsi l'occasion dans cette série de voir le concept de mouvement rectiligne uniforme et de l'expliquer en se rapportant à l'application de la première loi de Newton. De plus, dans le cadre de la deuxième loi de Newton, l'élève est amené à utiliser des forces impulsives, c'est-à-dire des forces qui agissent dans un très court intervalle de temps. Les concepts d'équilibre et de résultante de plusieurs forces doivent aussi être utilisés pour la réussite des différents tableaux.



Mise en contexte et préparation : Série B

L'élaboration de moyens techniques et scientifiques pour résoudre des problèmes d'ordre scientifique n'est pas toujours une tâche simple. De nombreux concepts sont nécessaires pour arriver à résoudre un problème.

Tu es invité à compléter les schémas des pages suivantes proposant différentes situations dans le jeu pour résoudre les problèmes de physique que l'on suggère.

Au cours de l'activité, tu seras amené à parcourir l'île Physica afin de découvrir différents concepts prescrits de manière intuitive. Chaque niveau contient une série de défis à surmonter en plaçant des objets utiles dans ce monde virtuel. Tu devras être en mesure de cerner les concepts utilisés.

À toi de parcourir le site afin de trouver tous les éléments de réponses.

Matériel nécessaire

Ordinateur

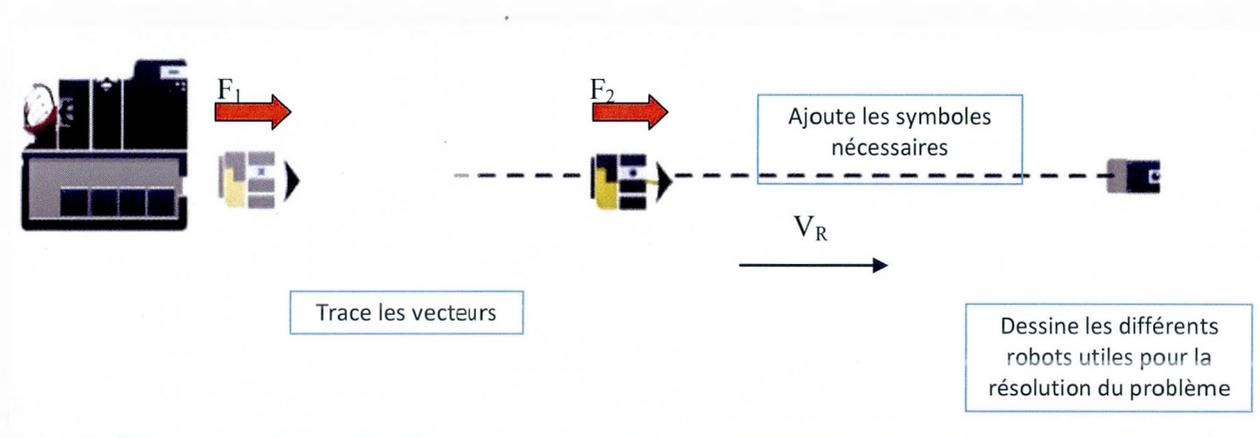
Navigateur Internet

Accès à Internet

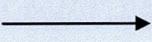
Site : www.scienceenjeu.ca

Exemple

Voici un exemple qui pourra t'être utile. Il s'agit d'un problème déjà résolu qui t'indique les étapes à suivre.



Légende:

	Punch-o-matic à impulsion horizontale
	Flèche représentant un vecteur action
$F_{(1,2)}$	Actions des punch-o-matics
	Flèche représentant un vecteur vitesse
V_R	Vecteur vitesse résultante de l'éclaireur

Nom : _____ Groupe : _____ Date : _____

2. Fournis une explication détaillée qui permet de justifier ta résolution de problème. Le contenu de ton explication doit comprendre les termes suivants : vitesse, position, impulsion et les utiliser de manière pertinente et appropriée.

3. Si tu avais placé le Punch-o-matic comme on peut le voir dans le schéma suivant, que ce serait-il passé ? Illustre ton explication sur le schéma et fournis une explication écrite de ta supposition.



Nom : _____ Groupe : _____ Date : _____

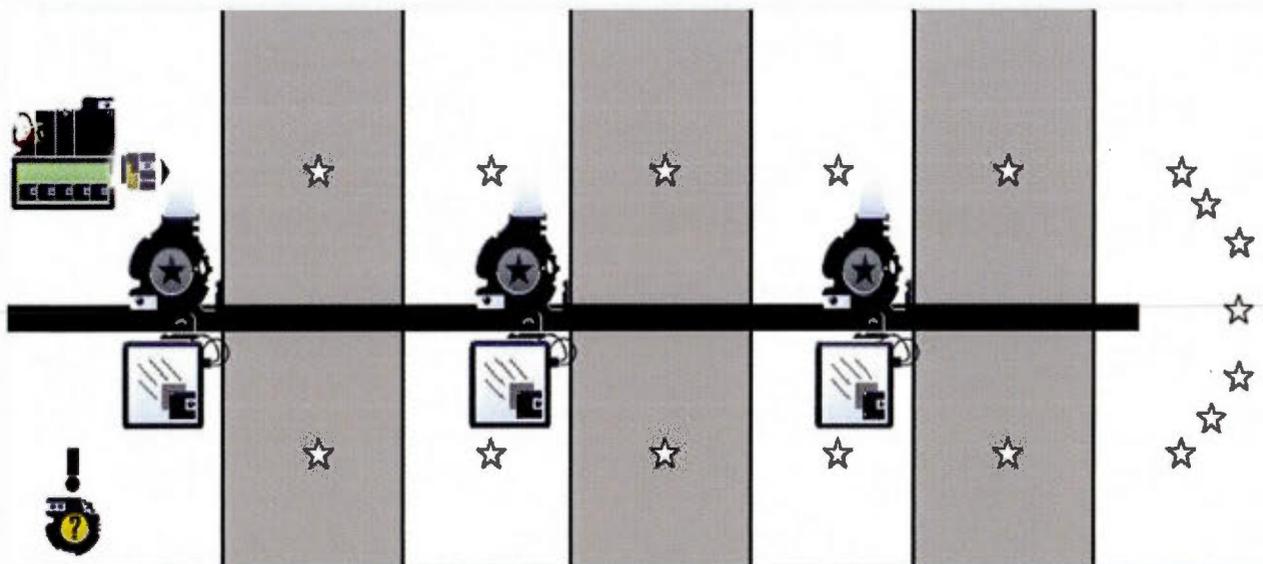
ACTIVITÉ 2 : Situation d'apprentissage : Impulsion et vitesse : Série B

– Physique Niveau B10 (Fiche de l'élève)

Pour t'aider, tu peux te servir de l'île Physica disponible sur le site de *SCIENCE EN JEU*. Réfère-toi à l'exemple de la page 3.

1. En te servant du tableau disponible sur l'île Physica, complète le tableau suivant.

- Place les robots appropriés (Trois Vent-o-matics).
- Dessine les flèches explicatives sur le schéma (Vecteurs action et vitesse).
- Complète la légende.

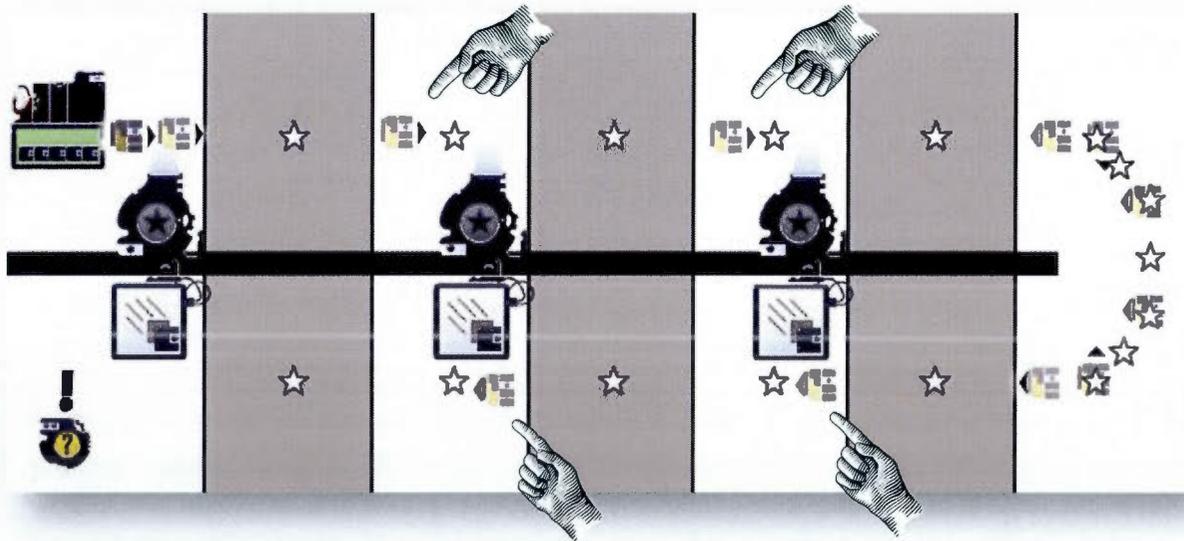


Légende:

Nom : _____ Groupe : _____ Date : _____

2. Fournis une explication détaillée qui permet de justifier ta résolution du problème. Le contenu de ton explication doit comprendre les termes suivants : vitesse, position, impulsion et les utiliser de manière pertinente et appropriée.

3. Si tu avais placé les robots comme on peut le voir dans le schéma suivant, que se serait-il passé? Les emplacements exacts sont indiqués par des mains. Illustre ton raisonnement sur le schéma et fournis une explication écrite de ta démarche.



ÎLE PHYSICA

UN UNIVERS DE SCIENCE EN JEU



GUIDE DE L'ENSEIGNANT

SÉRIE B

Yannick Bergeron

François Boucher-Genesse

Yvon Lapointe

Patrice Potvin

CREO INC.



UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À
MONTREAL

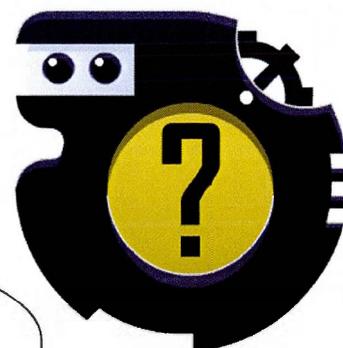
UQÀM



Introduction

Ce guide s'adresse principalement à l'enseignant.

Il a pour but de fournir des explications concernant les activités proposées à l'élève en association avec l'île Physica dans *SCIENCE EN JEU*.



On y retrouve :

- Solutionnaire de l'activité 1 : situation d'apprentissage : impulsion et trajectoire
- Solutionnaire de la situation d'évaluation : Lance et compte
- Solutionnaire de l'activité 2 : situation d'apprentissage : impulsion et vitesse
- Solutionnaire de la situation d'évaluation : Manque de force
- Brèves explications pour les autres tableaux de la série.

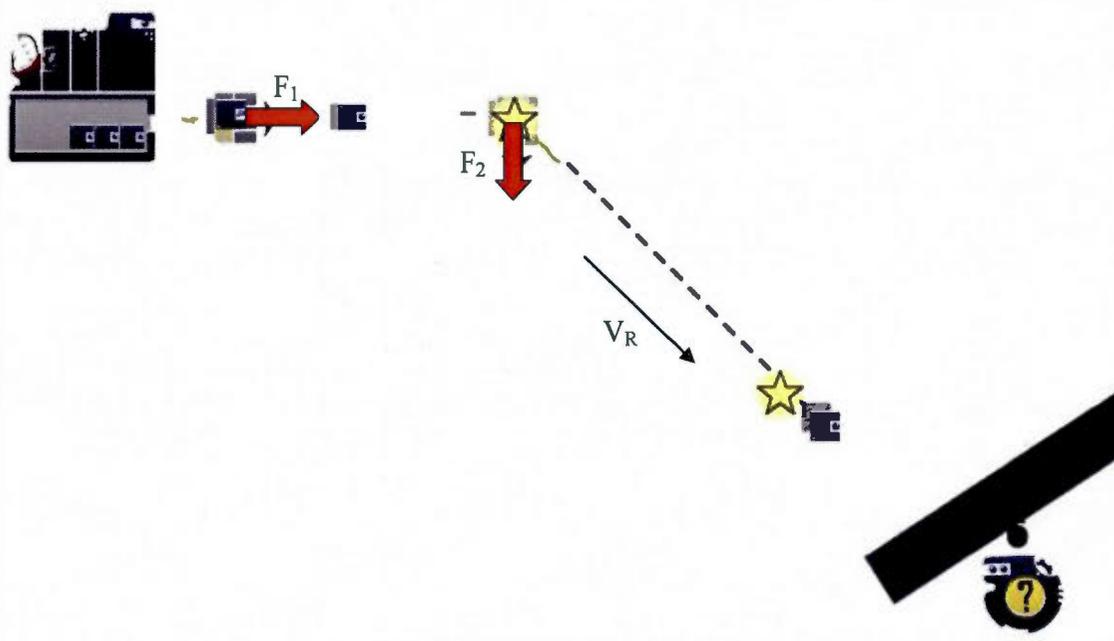
Série B

La série B permet à l'élève de mettre ses habiletés et ses nouvelles connaissances à l'épreuve dans des tableaux présentant des situations un peu plus complexes que dans la série précédente. L'élève a ainsi l'occasion dans cette série de voir le concept de mouvement rectiligne uniforme et de l'expliquer en se rapportant à l'application de la première loi de Newton. De plus, dans le cadre de la deuxième loi de Newton, l'élève est amené à utiliser le concept d'impulsion, c'est-à-dire des forces qui s'exercent pendant un très court laps de temps. Le concept de résultante de plusieurs forces doivent aussi être utilisés pour la réussite des différents tableaux.

ACTIVITÉ 1 : situation d'apprentissage : Impulsion et trajectoire : Série B

– Physique Niveau B1 (Fiche de l'enseignant)

Solution B1 Telle qu'on la retrouve à la page 3 du guide de l'élève



Légende :

	Punch-o-matic à impulsion horizontale
	Punch-o-matic à impulsion verticale
	Flèche représentant un vecteur action
$F_{(1,2)}$	Actions des punch-o-matics
	Flèche représentant un vecteur vitesse
V_R	Vecteur vitesse résultante des éclaireurs

Concepts reliés au programme MELS dans le tableau B1

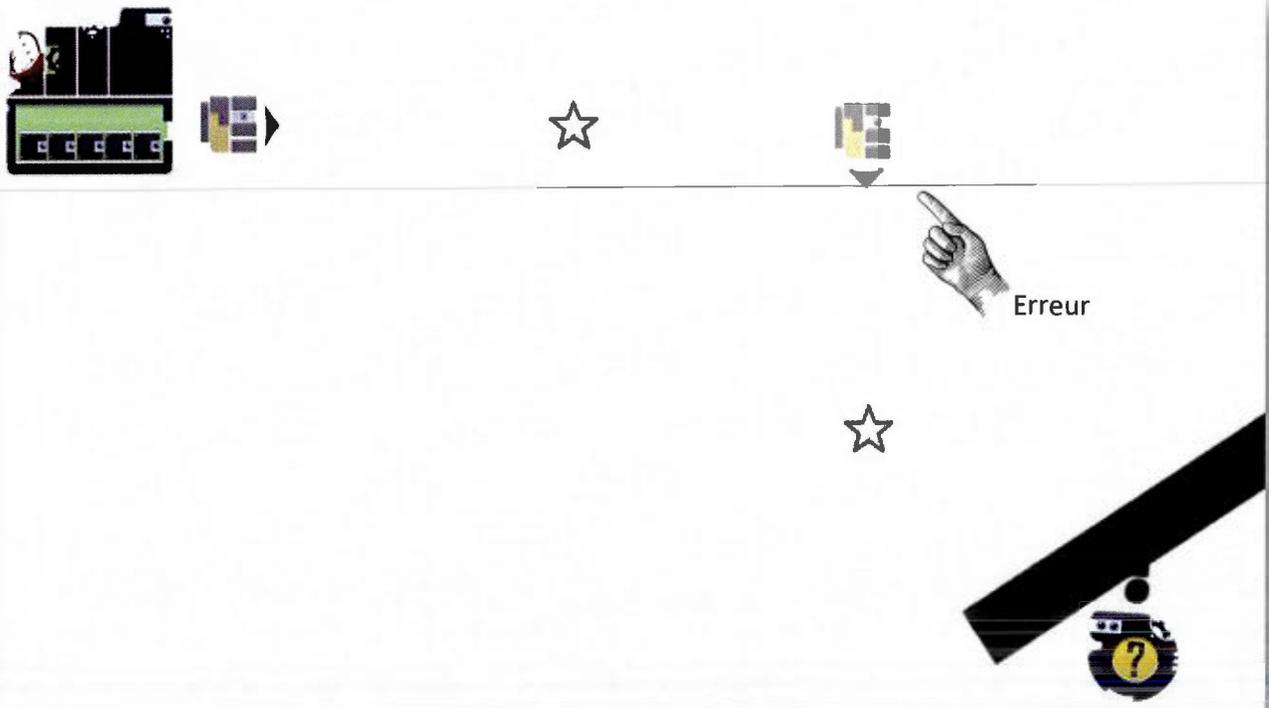
En lien avec le programme de physique du MELS, la situation du tableau B1 vise l'application de l'addition de vecteurs vitesse.

Conception d'élèves fréquemment rencontrée

La dernière force qui agit sur l'éclaireur est celle qui détermine son vecteur vitesse final.

Types d'erreurs dans le jeu

Il est possible, lors d'un premier essai, que l'élève place spontanément le second Punch-o-matic en alignement horizontal avec la seconde étoile comme le montre la main. Cette façon de procéder illustre qu'il est possible qu'il ne tienne pas compte de la vitesse acquise (grandeur et direction) par l'éclaireur lors de l'impulsion initiale par le premier Punch-o-matic. Selon cette conception, seule la dernière impulsion est responsable de l'atteinte de la seconde étoile. Conséquemment, il n'opère pas l'addition vectorielle des impulsions puisqu'il ne tient pas compte de l'impulsion du premier Punch-o-matic.

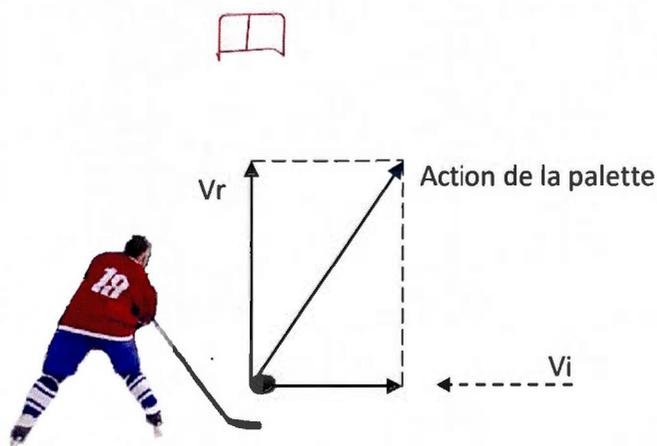


Une possible démarche d'intervention

D'abord, il faut amener l'élève à réaliser que la grandeur de la vitesse horizontale du Collec-o-matic restera toujours la même après l'impulsion du Punch-o-matic, car le deuxième « Punch-o-matic » ne produira pas d'impulsion selon cet axe. Qu'arrive-t-il donc à la vitesse de l'éclaireur une fois le premier choc encaissé? Après l'impulsion, le vecteur vitesse de l'éclaireur est constant en grandeur et en direction, car il n'y a plus d'autre force qui s'exercent sur lui. Lorsque l'éclaireur reçoit une seconde impulsion d'un « Punch-o-matic » agissant à un angle de 90° par rapport à son mouvement, un vecteur vitesse verticale s'ajoute à son mouvement. Après addition des vecteurs vitesse, le vecteur vitesse résultante de l'éclaireur formera un angle de 45° par rapport à son vecteur vitesse initial. D'après le tableau, on note que, pour atteindre la deuxième étoile, l'éclaireur devra changer la direction de son mouvement d'un angle de 45° . C'est pourquoi il faut placer le second robot sur la première étoile.

Situation d'évaluation : Lance et compte

Représentation de la situation souhaitée



Explication de la situation :

Le joueur espère que la rondelle venant de la droite sera redirigée directement vers le centre du filet. On demande à l'élève de tracer sur le schéma le vecteur action de la palette du bâton de hockey sur la rondelle. Les flèches représentent les vecteurs vitesse de la rondelle avant (V_i) et après (V_r) l'action de la palette du bâton de hockey.

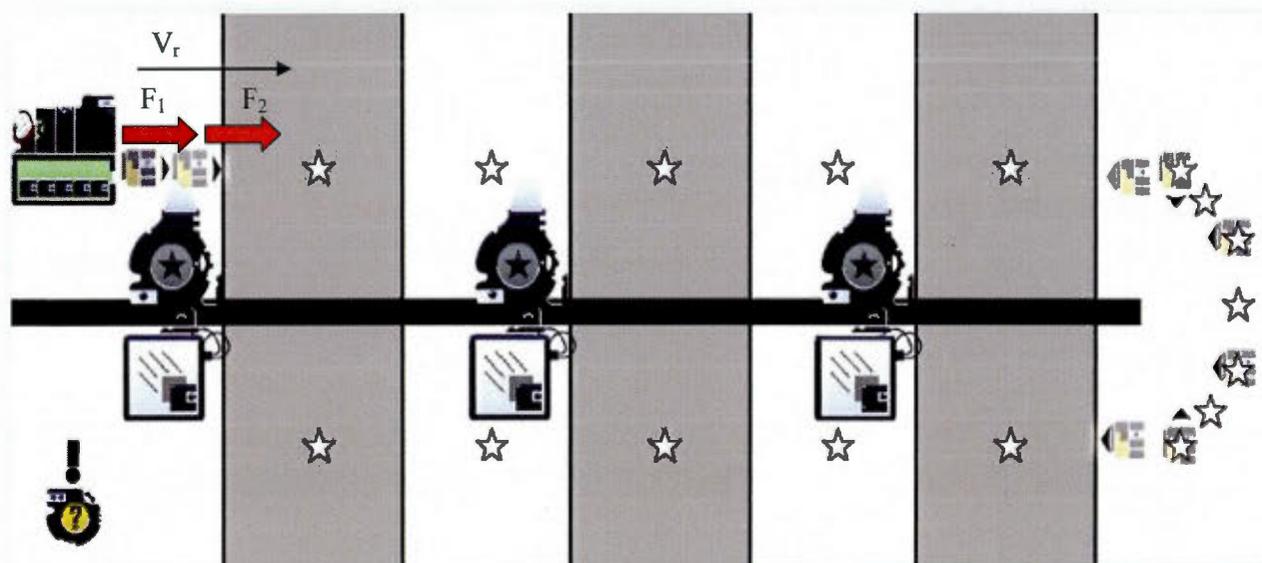
La palette du bâton de hockey annulera le mouvement horizontal de la rondelle et la dirigera vers le centre du filet. On pourra représenter cette action très rapide par deux vecteurs, l'un en x et l'autre en y. L'impulsion résultante sur la rondelle sera obtenue par l'addition vectorielle des impulsions en x et en y. Dans une partie de hockey, l'action de la palette en y est souvent plus grande que l'action en x, et les élèves ont donc tendance à l'ignorer.

ACTIVITÉ 2 : situation d'apprentissage : Impulsion et vitesse : Série B

– Physique Niveau B9 (Fiche de l'enseignant)

Solution B9 Tel qu'on le retrouve à la page 8 du guide de l'élève

Référez-vous au guide introductif pour comprendre le rôle des Tir-o-matics



Légende :

	Punch-o-matic à impulsion horizontale
	Punch-o-matic à impulsion verticale
	Flèche représentant un vecteur action
$F_{(1,2)}$	Actions des punch-o-matics
	Flèche représentant un vecteur vitesse
V_R	Vecteur vitesse résultante des éclaireurs

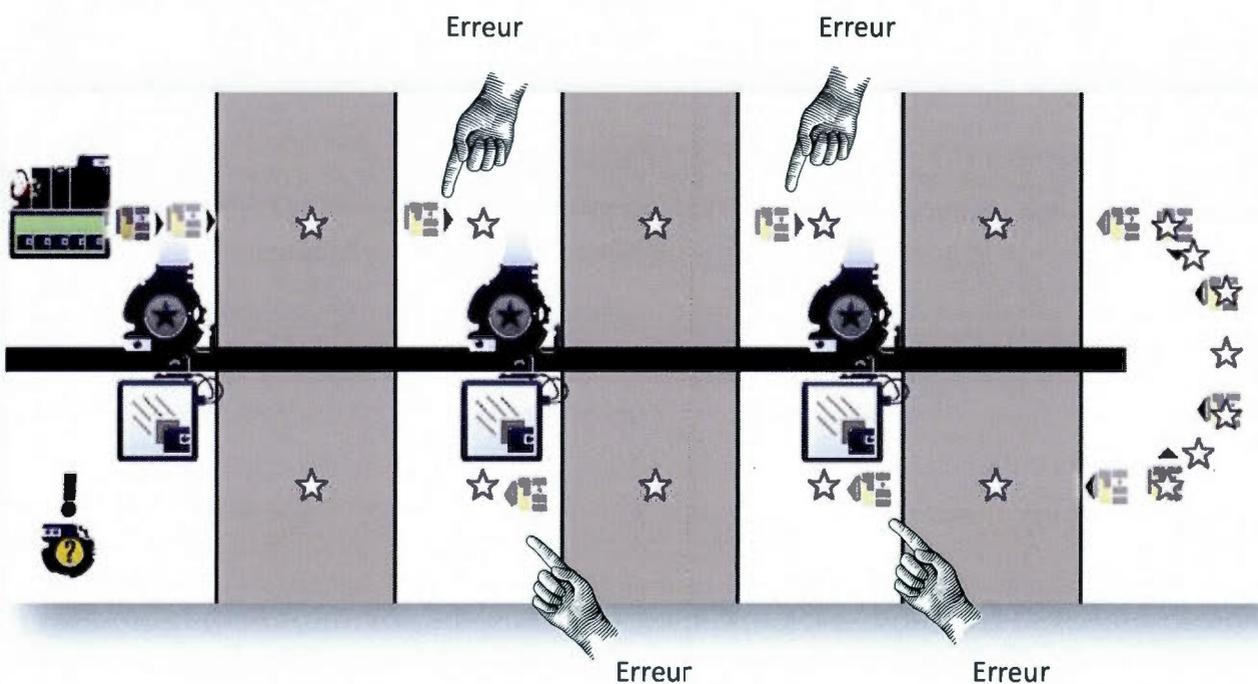
Concepts reliés au programme MELS dans le tableau B9

En lien avec le programme de physique du MELS, la situation du tableau B9 fait appel à l'application des concepts relatifs au mouvement rectiligne uniforme et à la première loi de Newton.

Conception d'élèves fréquemment rencontrée

Pour les élèves, il ne peut y avoir un mouvement s'il n'y a pas d'action qui s'exerce sur l'objet. Pour qu'un objet se déplace avec une vitesse constante, il faut que l'objet subisse une action constante.

Types d'erreurs dans le jeu



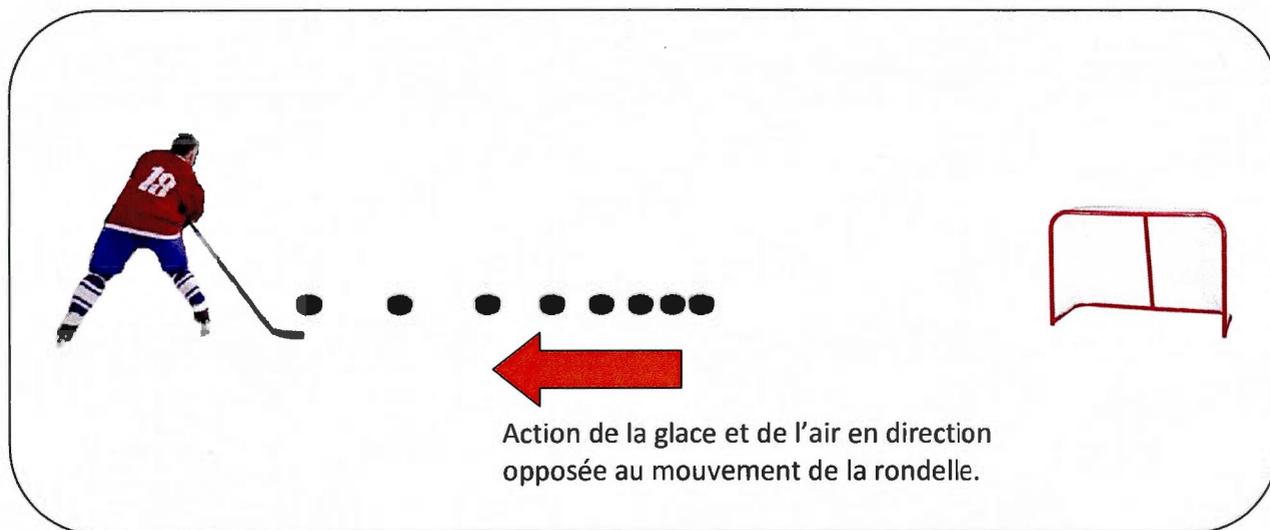
Dans le but d'être le plus efficace possible et ainsi limiter les essais dans le jeu, certains élèves vont placer entre les zones de vitesse contrôlées des Punch-o-matics pour assurer une vitesse constante permettant aux éclairateurs de traverser toutes les zones ombragées.

Une possible démarche d'intervention

L'enseignant doit amener l'élève à comprendre qu'en l'absence d'actions exercées par d'autres objets sur l'éclaireur, celui-ci conserve une vitesse constante.

Situation d'évaluation : Manque de force

Comment expliques-tu qu'une rondelle frappée par la palette d'un bâton de hockey glisse sur la patinoire, mais finisse par s'arrêter?

**Explication de la situation :**

L'élève doit expliquer que la rondelle subit une action de la part de la glace et de l'air de telle sorte que cette action réduit progressivement sa vitesse.

Tableaux de la série B



Voici une brève description des stratégies et conseils concernant la série de tableaux B que l'on retrouve dans le jeu Mécanika. Notez que dans tous ces tableaux, aucune force gravitationnelle n'est en jeu.

Tableau B1 (décrit plus haut p.3)

Tableau B2

Ce tableau reprend les mêmes notions que le tableau B1, décrit précédemment dans ce guide. Il doit placer un Punch-o-matic dirigé vers le bas pour permettre à l'éclaireur d'atteindre la deuxième étoile, et en placer un autre dont l'action est dirigée vers le haut afin d'aller réveiller le troisième Punch-o-matic. Il pourra ensuite placer ce dernier Punch-o-matic sur la troisième étoile, dirigé vers le haut, afin de permettre à l'éclaireur d'atteindre la quatrième étoile.

Tableau B3

L'élève doit constater que toutes les étoiles ne sont pas alignées; par conséquent l'utilisation d'un seul Punch-o-matic dont l'action est dirigée vers le bas ne permet pas à l'éclaireur de cueillir toutes les étoiles. L'effet d'un Punch-o-matic est pratiquement instantané et après le choc, l'éclaireur suit une trajectoire rectiligne. L'élève doit donc en déduire qu'il faut des Punch-o-matics agissant dans des directions différentes pour que l'éclaireur soit en mesure d'allumer les autres étoiles.

Tableau B4

L'élève doit constater qu'à la troisième étoile, la vitesse horizontale de l'éclaireur n'est pas suffisante pour qu'un seul Punch-o-matic orienté vers le bas lui permette d'atteindre les étoiles subséquentes. L'élève va parfois installer un Punch-o-matic agissant vers la droite sur la troisième étoile. Après avoir constaté que, même avec l'ajout de ce robot, l'éclaireur n'atteint pas toutes les étoiles, il doit inférer ou bien que la vitesse de l'éclaireur vers « le bas » est encore trop grande ou que sa vitesse horizontale est trop faible. C'est alors qu'il doit conclure qu'il faut ajouter un dernier Punch-o-matic agissant horizontalement de gauche à droite.

Tableau B5

L'élève doit réaliser qu'à la deuxième étoile, il faut installer un Punch-o-matic dirigé horizontalement de gauche à droite, pour annuler le mouvement de l'éclaireur qui se déplace vers la droite. Un second Punch-o-matic dont l'action est dirigée vers le bas est nécessaire pour permettre à l'éclaireur d'atteindre les troisième et quatrième étoiles. Par la suite, l'élève devra appliquer le même raisonnement pour les deux autres étoiles. Il doit constater ici l'effet des actions combinées des Punch-o-matics.

Tableau B6

Ce tableau reprend les concepts déjà vus. L'élève pourra cependant conclure que, lorsqu'un éclaireur se déplace en ligne droite et qu'il lui faut changer la direction de sa trajectoire d'un angle de 90° pour atteindre les étoiles subséquentes, on doit utiliser un premier Punch-o-matic dont le choc est en sens opposé à son mouvement pour annuler sa vitesse verticale et un autre Punch-o-matic dont l'action est dirigée vers les étoiles subséquentes de façon à ce qu'il les atteigne.

Tableau B7

Dans ce tableau, l'éclaireur reçoit d'abord trois chocs de Punch-o-matics. Il acquiert ainsi une vitesse constante en grandeur et en direction. Cependant, il doit traverser une zone où, selon les indications fournies par le pictogramme du Tir-o-matic, l'amplitude de la vitesse doit être d'une valeur d'une (1) seule ombre. L'éclaireur doit donc recevoir le choc d'un autre Punch-o-matic qui agit dans la direction opposée aux Punch-o-matics initiaux pour pouvoir franchir cette zone.

Tableau B8

L'élève doit d'abord augmenter la vitesse des éclaireurs à une valeur correspondant à deux (2) ombres selon les indications fournies par le pictogramme, et ensuite la réduire à une valeur qui correspond à aucune (0) ombre. Il placera pour ce faire deux Punch-o-matics avant chaque zone.

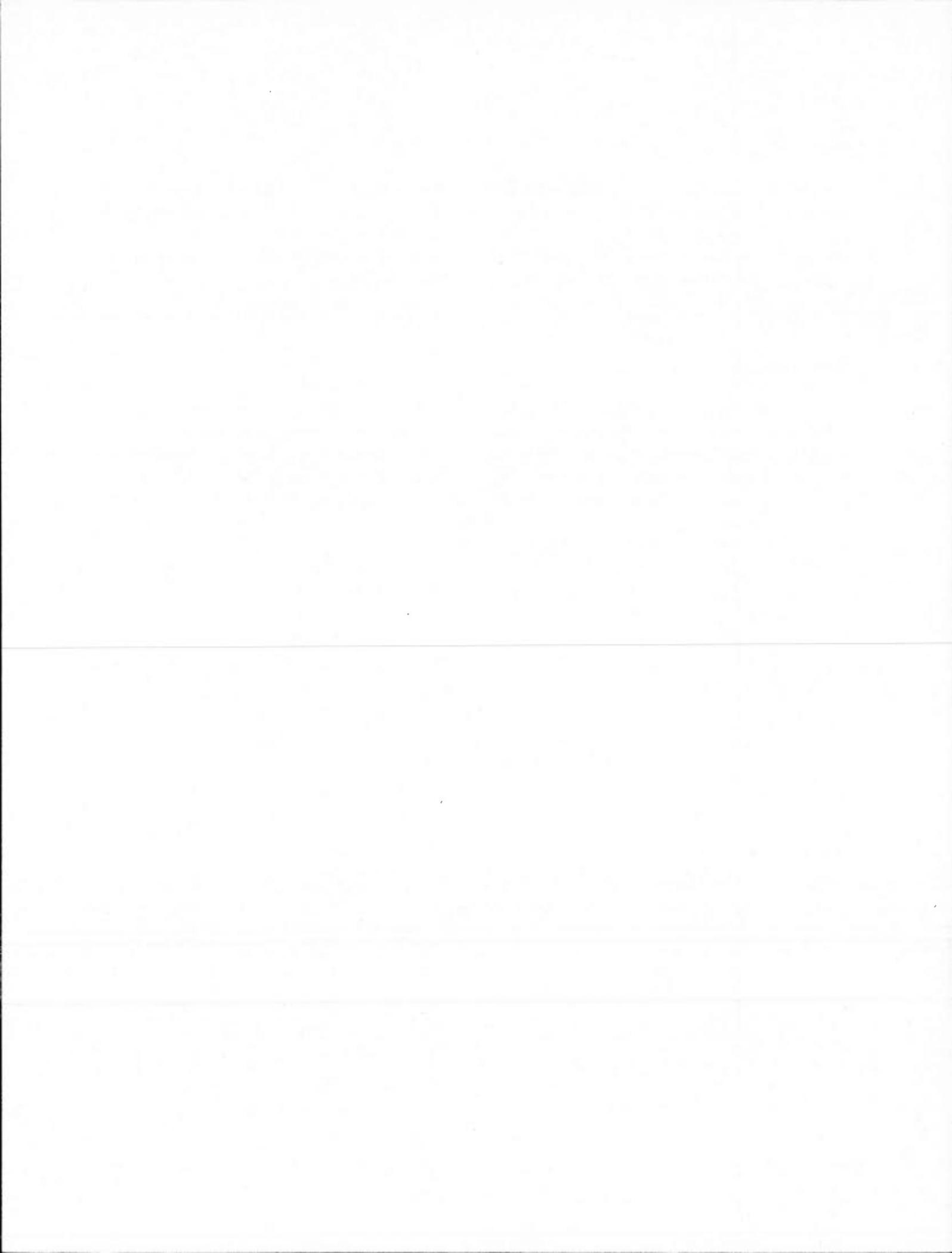
Tableau B9 (décrit plus haut p.6)

Tableau B10

Pour ce tableau, si l'élève a bien compris les tableaux précédents, il ne devrait plus croire que seul le dernier choc est responsable du vecteur vitesse finale de l'éclaireur. La solution de ce tableau est de changer leur trajectoire de sorte qu'ils traversent la zone en ligne diagonale. L'objectif associé à ce tableau est de comprendre qu'une augmentation de vitesse perpendiculaire à la vitesse initiale augmente aussi la grandeur de l'amplitude du vecteur vitesse résultante.

Tableau B11

L'élève doit réaliser que, pour que l'éclaireur atteigne l'étoile, il lui faut contourner la zone ombragée. Le but ici est de faire réaliser à l'élève que l'addition des chocs des Punch-o-matics change le vecteur vitesse totale de l'éclaireur, mais que la grandeur du vecteur vitesse est insuffisante pour traverser la zone ombragée. Ce tableau peut servir à montrer que la grandeur du vecteur vitesse résultant n'est pas calculée en additionnant simplement les grandeurs des coups, mais bien en utilisant l'addition vectorielle. La seule façon d'obtenir un vecteur vitesse de deux ombres dans ce tableau serait d'avoir des Punch-o-matics qui agissent tous dans la même direction.



BIBLIOGRAPHIE

- Abt, C. C. (2002). *Serious Games* (illustrated edition.). University Press of America.
- Avedon, E. M., & Sutton-Smith, B. (1979). *The Study of Games*. Krieger Pub Co.
- Brown, D., & Hammer, D. (2008). Conceptual Change in Physics. *International handbook of research on conceptual change*, Educational Psychology Handbook.
- Caillois, R. (2001). *Man, Play and Games*. University of Illinois Press.
- Catto, E. (2010). *Box2D*. Consulté de <http://www.box2d.org/>
- Center for the Digital Future. (2008). *World Internet Project Report*. The Digital Future Project. Consulté de <http://www.digitalcenter.org>
- Champagne, M. (2010). *Option Science, Physique, Manuel de l'élève*. ERPI. Consulté de http://www.erpi.com/secondaire/manuel_de_l_eleve_physique_p38201929.html
- Clark, D., Nelson, B. C., D'Angelo, C., Slack, K., & Martinez-Garza, M. (2010). SURGE: an NSF Project on Physics. Consulté juin 14, 2010, de <http://surgeuniverse.com/research.html>
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66.
- Conseil de la science et de la technologie. (2004). *La culture scientifique et technique. Une interface entre les sciences, la technologie et la société*. (Rapport de conjoncture).

Sainte-Foy: Gouvernement du Québec. Consulté de
<http://www.cst.gouv.qc.ca/Rapport-de-conjoncture-2004-La>

Costikyan, G. (2002). I Have No Words & I Must Design: Toward a Critical Vocabulary for Games (Vol. Proceedings of Computer Games and Digital Cultures Conference). Présenté à Computer Games and Digital Cultures Conference, Tampere: Tampere University Press. Consulté de <http://www.digra.org/dl/db/05164.51146.pdf>

Crawford, C. (1984). *The Art Of Computer Game Design: Reflections Of A Master Game Designer*. Osborne/McGraw-Hill, U.S.

CREO. (2009). Science en jeu - MMORPG dédié aux sciences et jeux gratuits éducatifs en ligne. Consulté avril 29, 2009, de <http://www.science-en-jeu.ca/>

De Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68, 179–201.

diSessa, A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(2/3), 105-225.

diSessa, A. (2001). *Changing Minds: Computers, Learning, and Literacy*. Cambridge: The MIT Press.

diSessa, A. (2006). A history of conceptual change research: threads and fault lines. *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (K. Sawyer., p. 265-282). MA: Cambridge University Press.

Dorn, D. S. (1989). Simulation Games: One More Tool on the Pedagogical Shelf. *Teaching Sociology*, 17(1), 1-18.

- Dreyfus, A., Jungwirth, E., & Eliovitch, R. (1990). Applying the « Cognitive Conflict » Strategy for Conceptual Change--Some Implications, Difficulties, and Problems. *Science Education*, 74(5), 555-69.
- Egenfeldt-Nielsen, S. (2006). Overview of research on the educational use of video games. *Digital Kompetanse*, 1(3), 184-213.
- Gee, J. P. (2007). Learning and Games. *The John D. and Catherine T. MacArthur Foundation Series on Digital Media and Learning*, 21-40.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs Traditional Methods in Mechanics Instruction. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043.
- Halloun, I., & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1065, 1056.
- Hays, R. T. (2005). *The Effectiveness of Instructional Games: A Literature Review and Discussion*.
- Heller, P., & Huffman, D. (1995). Interpreting the force concept inventory: A reply to Hestenes and Halloun. *The Physics Teacher*, 33(8), 503.
- Henderson, C. (2002). Common Concerns About the Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 40(9), 542-547.
- Hestenes, D. (1998). Who needs physics education research!?. *American Journal of Physics*, 66(6), 465.

Hestenes, D. (2006). Notes for a Modeling Theory of Science, Cognition and Instruction.

Présenté à GIREP conference: Modelling in Physics and Physics Education.

Hestenes, D., & Halloun, I. (1995). Interpreting the FCI. *The Physics Teacher*, (33), 502-506.

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.

Hewson, P. W., & A'Beckett-Hewson, M. G. (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13(1), 1-13.

Hopson, J. (2006, novembre 10). We're Not Listening: An Open Letter to Academic Game Researchers. Consulté septembre 16, 2008, de http://gamasutra.com/features/20061110/hopson_01.shtml

Huizinga, J. (1971). *Homo Ludens*. Beacon Press.

Jones, S., & Fox, S. (2009). *Generations Online in 2009*. PEW. Consulté de <http://www.pewinternet.org/Reports/2009/Generations-Online-in-2009.aspx>

Juul, J. (2003). The Game, the Player, the World: Looking for a Heart of Gameness. *Level Up: Digital Games Research Conference Proceedings* (p. 30-45). Présenté à Level Up, Utrecht: Utrecht University.

Kelley, D. (1998). *The Art of Reasoning: (Third Edition.)*. W.W. Norton & Co.

Lenhart, A., Kahne, J., Middaugh, E., Macgill, A. R., Evans, C., & Vitak, J. (2008). *Teens, Video Games, and Civics* (<http://www.pewinternet.org>). Consulté de http://www.pewinternet.org/pdfs/PIP_Teens_Games_and_Civics_Report_FINAL.pdf

- Ministère de l'Éducation. (2006). Programme de formation de l'école québécoise, Enseignement secondaire. Gouvernement du Québec. Consulté de http://www.mels.gouv.qc.ca/DGFJ/dp/programme_de_formation/secondaire/prforms_eclercycle.htm
- National Science Board. (2004, janvier). An Emerging and Critical Problem of the Science and Engineering Labor Force.
- National Science Foundation. (2004). *Science and Engineering Indicators. 2004. Volume 1* (p. 496). Arlington, VA: National Science Foundation.
- Newton, I. (1687). *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.
- OECD. (2008). *Encouraging student interest in science and technology studies*. OECD Publishing.
- Papert, S. (1998). Does Easy Do It? Children, Games, and Learning, *Game Developer*. Consulté de <http://www.papert.org/articles/Doeseasydoit.html>
- Parlett, D. (1999). *Oxford History of Board Games* (illustrated edition.). Oxford University Press, USA.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Potvin, P., Riopel, M., Charland, P., Ayotte, A., & Boucher-Genesse, F. (2010, octobre). *Enhancing performance in the « Force Concept Inventory » test using homework gameplay while involving physics teachers in the level design process : SpaceFart*. Présenté à Meaningfulplay 2010, East Lansing, MI.

- Potvin, P., Riopel, M., Charland, P., & Mercier, J. (2011). Does classroom explicitation of initial conceptions favour conceptual change or counter-productive contamination? *Research in science education*.
- Prensky, M. (2001). Digital Natives, Digital Immigrants - Part1. *On the Horizon, MCB University Press*, 9(5).
- Prensky, M. (2005). Complexity matters. Mini-games are Trivial - but « Complex » Games Are Not. *Educational Technology*, 45(4).
- Redish, E. F., Saul, J. M., & Steinberg, R. N. (1997). On the effectiveness of active-engagement microcomputer-based laboratories. *American Journal of Physics*, 65(1), 45. doi:10.1119/1.18498
- Rieber, L., & Noah, D. (1997). Effect of Gaming and Visual Metaphors on Reflective Cognition Within Computer-Based Simulations. Présenté à AERA conference, Chicago, IL. Consulté de <http://it.coe.uga.edu/~lrieber/gaming-simulation/>
- Salen, K., & Zimmerman, E. (2003). *Rules of Play: Game Design Fundamentals*. The MIT Press.
- Savinainen, A., & Scott, P. (2002). Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching. *Physics Education*, 37(1), 53-58.
- Sicart, M. (2008). Defining Game Mechanics. *the international journal of computer game research*, 8(2). Consulté de <http://gamestudies.org/0802/articles/sicart>
- Statistique Canada. (2007). *À la hauteur : Résultats canadiens de l'étude PISA de l'OCDE - La performance des jeunes du Canada en sciences, en lecture et en mathématiques* (p. 113). Ottawa: Ressources humaines et Développement social Canada, Conseil des

ministres de l'Éducation (Canada) et Statistique Canada. Consulté de
<http://www.pisa.gc.ca/81-590-F.pdf>

Steinberg, R. N., & Sabella, M. S. (1997). Performance on multiple-choice diagnostics and complementary exam problems. *The Physics Teacher*, 35(3), 150.
doi:10.1119/1.2344625

Suits, B. (2005). *The Grasshopper: Games, Life and Utopia*. Broadview Press.

Wastiau, P., Kearney, C., & Van den Berghe, W. (2009). *Quels usages pour les jeux électroniques en classe?* (p. 55). Belgique: European Schoolnet.

White, B. Y. (1984). Designing Computer Games to Help Physics Students Understand Newton's Laws of Motion. *Cognition and Instruction*, 1(1), 69-108.