

Université de Montréal

Jeu sérieux : Étude de l'effet de l'intégration d'un modèle
didactique dans un jeu vidéo sur l'apprentissage des
joueurs

par :

Emmanuel Mandart

Faculté des Sciences de l'éducation

Mémoire présenté à la Faculté des Sciences de l'éducation en vue de
l'obtention du grade de Maîtrise en Didactique
Avril, 2013

©, Mandart, 2013

Université de Montréal
Faculté des Sciences de l'éducation

Ce mémoire intitulé :

Jeu sérieux : Étude de l'effet de l'intégration d'un modèle didactique dans un
jeu vidéo sur l'apprentissage des joueurs

présenté par :

Emmanuel Mandart

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Président-rapporteur
Bruno Poellhuber

Directeur de recherche
Jesus Vasquez Abad

Co-directeur
Martin Riopel

Membre du jury
Jacques Raynauld

RESUME

Atout pour la mise en œuvre, atout pour l'évaluation et de manière plus évidente atout pour la motivation, le jeu sérieux se veut une solution pédagogique pertinente dans un contexte d'éducation formel ou informel. Au niveau de la recherche, on peut se questionner quant à la valeur pédagogique d'une telle approche ainsi que sur ses principaux atouts. Dans notre projet, nous nous sommes intéressés plus particulièrement à l'apport du scénario pédagogique dans un jeu sérieux.

En utilisant le jeu vidéo *Mecanika*, développé dans le cadre d'une maîtrise en didactique à l'UQAM et basé sur un questionnaire reconnu permettant d'identifier les conceptions des élèves en mécanique, le Force Concept Inventory (HESTENES *et al.*, 1992), nous tenterons d'extraire l'élément principal du scénario pédagogique afin d'en évaluer l'effet sur l'apprentissage. Notre méthodologie a permis de comparer les performances d'élèves de cinquième secondaire ayant utilisé deux versions différentes du jeu.

Dans un premier temps, les résultats obtenus confirment ceux observés par Boucher Genesse qui étaient déjà supérieurs à ceux habituellement cités dans les recherches impliquant le FCI. Nous avons aussi observé qu'il semble exister une relation significative entre le plaisir à jouer et l'apprentissage, ainsi qu'une relation significative entre le nombre d'interactions et la version du jeu sur le gain, ce qui confirme que le jeu produit un effet qui s'ajoute à celui du professeur. La présence d'étoiles dans le jeu original a suscité plus d'actions des élèves que la version orientée simulation qui en est démunie, ce qui semble indiquer que l'utilisation d'un jeu sérieux favorise l'implication des élèves.

Cependant, l'absence d'effet significatif associé à la suppression des étoiles indique que la scénarisation n'est peut-être pas la principale cause des apprentissages observés dans le jeu *Mecanika*. Le choix des autres éléments présents dans chaque tableau doit aussi être considéré. Des recherches futures seraient nécessaires pour mieux comprendre ce qui favorise les apprentissages

significatifs des élèves qui ont utilisé ce jeu. Chaque convergence des modèles du changement conceptuel que nous avons identifiés dans notre cadre théorique serait autant de bonnes pistes de variables à isoler en modifiant le jeu original Mecanika. Cette opération aurait le mérite de mettre à l'épreuve certaines caractéristiques du changement conceptuel, en plus d'identifier les raisons du succès du jeu Mecanika.

Mots Clefs : Jeu sérieux, changement conceptuel, scénario pédagogique, intégration, Mécanique, FCI.

ABSTRACT

Serious games are a relevant educational solution in both formal and informal contexts, as a resource for implementation, evaluation, and obviously for increasing motivation. From a research perspective, there are many questions about the educational value of such an approach as well as its main advantages. In our project, we are interested particularly in the contribution of serious games to pedagogic scenarios.

Using the game “Mecanika”, developed by the Master's in Education Department at UQAM and based on a recognized questionnaire for identifying students' understanding of mechanics, the Force Concept Inventory (Hestenes et al., 1992), we have tried to isolate the main educational elements of the game in order to assess their effect on learning. Our methodology was to compare the performance of *secondaire V* students, in Quebec, who used two different versions of the game.

At first, the results confirm the findings of Boucher Genesse which were already higher than those usually reported in research involving the FCI. We also observed that there appears a significant relationship between having fun and learning, and a significant relationship between the number of interactions and the version of the game on the gain, which confirms that the game produces an effect added to that of the teacher. The presence of stars in the original game solicited more student interaction than the simulation version, suggesting that the use of a serious game promotes the involvement of students.

However, no significant effect was associated with the removal of stars, indicating that the scenario is perhaps not the main cause of learning observed in the game Mecanika. The choice of other elements present in each scene must also be considered. Future research is needed to better understand what promotes meaningful learning in students who have used this game. Each convergence of conceptual change models in our theoretical framework identify good variables to isolate by modifying the original Mecanika game. This would permit testing of

certain characteristics of conceptual change as well as identifying the reasons for the success of the game Mekanika.

Keywords : serious game, conceptual change, pedagogic scenario, implementation, mechanics, FCI.

TABLE DES MATIERES

Résumé.....	I
Abstract.....	III
Table des matières.....	V
Liste des Figures.....	X
Liste des tableaux.....	XII
Remerciements.....	XIV
Avant-Propos.....	1
Problématique.....	3
1.1 Le rôle des jeux vidéo en éducation.....	3
1.2 Les problèmes de l'intégration des jeux vidéo en contexte scolaire.....	6
1.3 Le potentiel des jeux sérieux.....	10
1.4 Quelles sont les limites du concept de jeu sérieux ?.....	12
1.5 Résumé de la problématique.....	16
Cadre théorique.....	19
2.1 De la simulation assistée par ordinateur(SAO) au jeu sérieux.....	19
2.1.1 Confusion entre SAO et jeu sérieux.....	19
2.1.2 Définition du jeu sérieux.....	22
2.1.3 Atouts du jeu sérieux.....	24
2.1.3.1 Situation pédagogique active.....	24
2.1.3.2 La pédagogie différenciée.....	26
2.1.3.3 L'évaluation.....	27
2.1.4. Synthèse.....	27
2.2 Scénario pédagogique : intégration d'un modèle didactique.....	28
2.2.1 Modèle de conception de jeux vidéo.....	30
2.2.1.1 Mise au point sur la signification d'un scénario.....	30
2.2.1.2 Cercle heuristique de la jouabilité.....	32
2.2.1.3 « Mecanic, dynamic, aesthetic ».....	33
2.2.2 Un modèle didactique, le changement conceptuel.....	35
2.2.2.1 Le modèle de Posner.....	35

2.2.2.2 Le modèle de Vosniadou.....	36
2.2.2.3. Le modèle de Giordan.....	37
2.2.2.4 Le modèle de diSessa.....	37
2.2.2.5 Le modèle d’Hestenes.....	38
2.2.2.6 Convergence des différents modèles.....	38
2.2.3. Théories pédagogiques et théories de conception de jeu vidéo, l’alchimie du jeu sérieux.....	39
2.3 Un exemple d’intégration, Mecanika.....	40
2.3.1 Présentation du jeu sérieux Mecanika.....	40
2.3.2 Le scénario pédagogique de Mecanika.....	41
2.3.3 Analyse du scénario d’un tableau du jeu.....	44
2.3.4 Présentation des résultats de la maîtrise «Mecanika».....	48
2.4 Synthèse et présentation des questions spécifiques.....	49
Méthodologie.....	52
3.1. Type de recherche.....	52
3.2. Description des sources de données.....	52
3.2.1. Population.....	52
3.2.2 Échantillonnage.....	53
3.3. Instruments de recherche.....	53
3.3.1. Le test.....	53
3.3.2. Cueillette de données.....	54
3.3.3. Interprétations du Force Concept Inventory.....	54
3.4. Devis de recherche.....	55
3.4.1. Déroulement.....	55
3.4.2 Justification de l’expérimentation.....	56
3.4.2.1 Question générale.....	56
3.4.2.1.1 Groupe Témoin : Mecanika « classique ».....	57
3.4.2.1.2. Groupe Expérimental : Mecanika « sans les étoiles ».....	58
3.4.2.2 Questions spécifiques.....	59
3.4.2.2.1. Présentation des variables.....	59
3.4.2.2.2. L’appropriation de Mecanika.....	59
3.4.2.2.3 L’évolution des conceptions.....	60

3.4.2.2.4 L'atteinte des intentions de scénarisation pédagogique	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
Résultats	65
4.1 Quel est l'effet de l'intégration du changement conceptuel sur l'appropriation des élèves du jeu vidéo Mecanika ?	65
4.1.1 Analyse du pré-questionnaire du post-test.....	65
4.1.1.1 La perception de l'utilité du jeu	66
4.1.1.2 La perception divertissante du jeu.....	70
4.1.1.3 Problèmes techniques et autres biais.....	72
4.1.2 Analyse du nombre d'interactions faites avec le jeu.....	73
4.1.3 Analyse du temps passé sur le jeu.....	75
4.1.4. Synthèse	76
4.2 Quel est l'effet sur l'évolution des conceptions des élèves, tel que mesuré par le test du FCI, d'une version orientée simulation par rapport à la version originale du jeu sérieux Mecanika ?.....	77
4.2.1. Les notes du pré-test	77
4.2.2 Comparaison des gains obtenus au FCI	78
4.2.3. Comparaison des gains obtenus au FCI par rapport au niveau du pré-test	79
4.2.4. Comparaison des gains obtenus aux questions du FCI spécifiques à Mecanika par rapport aux résultats du pré-test.....	80
4.2.5 Synthèse	83
4.3 Est-ce que l'analyse des résultats par question du FCI ou par tableau de Mecanika permet de confirmer les intentions de scénarisation pédagogique du concepteur ?	84
4.3.1 Comparaison des gains obtenus aux questions du FCI travaillés par Mecanika.	84
4.3.2 Comparaison des gains obtenus aux questions relatives aux différentes séries de tableaux	85
4.3.3 Comparaison des gains obtenus par question au FCI.....	86
4.3.4 Comparaison des gains obtenus par rapport au temps passé sur le jeu et du nombre d'interactions effectuées	87

4.3.5. Synthèse	90
Interprétation	93
5.1 Réponse à la question générale de recherche	93
5.1.1 Synthèse des résultats.....	93
5.1.2. Comparaison avec des recherches précédentes.....	95
5.1.2.1 Rapprochement avec les résultats de Boucher Genesse.....	95
5.1.2.2. Comparaison avec le Modeling Intruction Project.....	96
5.1.3 Analyse transversale des résultats.....	96
5.1.3.1 Lien entre utilisation du logiciel et gain.....	97
5.1.3.2. Lien entre perception du logiciel et gain.....	98
5.1.3.3. Alchimie mitigée : entre effet prévu et effet réel	99
5.2 Rapprochement avec le cadre théorique	101
5.2.1. Une explication à l'égalité des gains, la particularité du modèle de diSessa...	101
5.2.2 Une explication au gain élevé, les convergences entre les cinq modèles de changement conceptuel	101
5.2.3. Retour sur le modèle MDA de Mecanika	103
5.3 Limites de la recherche	104
5.3.1. L'absence de véritable groupe témoin	104
5.3.2. Un seul professeur.....	105
5.3.3. Groupes non aléatoires.....	105
5.3.4. Un élément dans une intégration d'un modèle dans un jeu sérieux.....	106
Conclusion	108
Bibliographie.....	111
Bibliographie secondaire.....	115
Sitographie	116
Divers	117
Annexe	119
Annexe 1	120
Annexe 2	123
Annexe 3	128
Annexe 4	140

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 Briques d'interactions fréquentes dans un jeu vidéo
- Figure 2 Exemples de jeux ludo-éducatifs
- Figure 3 Au croisement de trois univers, le jeu **sérieux**.
- Figure 4 Jeu sérieux vs SAO, deux types d'explorations
- Figure 5 Le cercle heuristique de la jouabilité (PERRON, 2006)
- Figure 6 Traduction schématique libre du modèle MDA de HUNICKE & al. (2004)
- Figure 7 Ecran d'accueil du jeu Mecanika
- Figure 8 Le modèle MDA de Mecanika
- Figure 9 Le niveau B1 de Mecanika, sans les décors
- Figure 10 Le premier essai d'un élève qui raisonne selon une conception initiale
- Figure 11 La solution au niveau B1
- Figure 12 Résultats de méthodologie effectuée sur le Jeu Mecanika (BOUCHER GENESSE, 2013)
- Figure 13 Représentation graphique générale de l'expérimentation
- Figure 14 Analyse descriptive de la perception de l'utilité du jeu
- Figure 15 Représentation graphique de la relation entre utilité du jeu et gain obtenu
- Figure 16 Analyse descriptive de la perception du divertissement du jeu
- Figure 17 Représentation graphique de la relation entre le plaisir à jouer et le gain
- Figure 18 Analyse descriptive des problèmes techniques rencontrés
- Figure 19 Représentation graphique du nombre d'interactions effectuées avec le jeu
- Figure 20 Représentation du temps passé sur le jeu
- Figure 21 Représentation graphique du gain obtenu au FCI par groupe
- Figure 22 Représentation graphique de la relation entre le niveau au pré-test et le GainMéca obtenu
- Figure 23 Représentation graphique du gainMéca obtenu par groupe
- Figure 24 Représentation graphique de la relation entre le groupe et le nombre d'interactions
- Figure 25 Représentation graphique de la relation entre le groupe et le nombre d'interactions sur le gain.

Figure 26 Résultats significatifs de nos données

Figure 27 MDA "sans les étoiles"

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I Tests des effets inter-sujets (Gain Groupe/Utilité).

Tableau II Tableau de bord ANOVA à deux facteurs (Gain Utilité/Groupe)

Tableau III Tests des effets inter-sujets (Gain Fun/Groupe)

Tableau IV Tableau de bord ANOVA à deux facteurs (Gain Fun/Groupe)

Tableau V Tests des effets inter-sujets (Gain Méca Niveaux/Groupe)

Tableau VI Tableau de bord ANOVA à deux facteurs (Gain Méca Niveaux/Groupe)

Tableau VII ANOVA à deux facteurs (Groupe/Nombre d'interactions)

Tableau VIII Tableau de bord ANOVA à 2 facteurs (Gain Nombre d'interactions/Groupe)

REMERCIEMENTS

Je souhaiterais remercier en premier lieu, mes directeurs et co-directeurs de recherche qui m'ont permis de clarifier mon propos et ma méthodologie et qui ont contribué fortement à la valeur de l'apprentissage que je retiendrais de cet exercice. Je souhaiterais tout particulièrement remercier Jacques Raynaud pour m'avoir permis, entre autre, financièrement de compléter cette maîtrise à l'Université de Montréal et Martin Riopel pour tous les conseils avisés, minutieux et pratiques qu'il a pu m'offrir.

Je voudrais aussi remercier les professeurs et les élèves qui se sont impliqués dans cette recherche. Sans eux, je ne pourrais présenter aucune de ces lignes.

Je voudrais remercier l'Université de Montréal et son administration qui a su, au bon moment, m'épauler, me conseiller, m'avertir et m'autoriser sur les différentes étapes de ce mémoire. Je voudrais particulièrement remercier Nicole Gaboury pour toute l'attention qu'elle a pu m'accorder depuis le début, ainsi que Nathalie Loye pour son support et sa disponibilité.

Je souhaiterais remercier François Boucher Genesse qui a accepté gracieusement de transformer son jeu et qui m'a depuis le début épaulé dans les petits et gros soucis de la mise en place de cette recherche. Encore Merci.

Finalement, je souhaiterais remercier ma famille ainsi que les parents de ma compagne qui m'ont soutenu à plusieurs milliers de kilomètres de distance. Pour finir, je souhaiterais remercier ma compagne qui a toujours cru en mes capacités et qui m'a poussé, jusqu'au bout, au dépôt officiel de ce mémoire.

AVANT-PROPOS

Titulaire d'un diplôme en informatique, d'une licence en Sciences de l'éducation et fort d'expériences dans la conception de jeu, j'ai logiquement orienté mes recherches universitaires vers le concept de jeu vidéo pédagogique.

Cette recherche s'applique à mettre à l'épreuve une des considérations personnelles les plus fortes dans les capacités du jeu sérieux : le scénario pédagogique. En effet, chacun des jeux vidéo que je parcourt m'apporte indubitablement une multitude d'informations ou de compétences qu'il m'arrive de réutiliser dans la vie de tous les jours. Ce constat me pousse à considérer ce média comme un formidable outil d'apprentissage.

A ce jour, les premières tentatives d'utilisation du jeu vidéo en éducation n'atteignent pas le niveau des jeux vidéo actuels. Les studios indépendants de jeu vidéo étant un excellent exemple de jeu vidéo de qualité pour un budget restreint, nous pensons que c'est la conception des premiers jeux vidéo en éducation qui fait souvent défaut à la qualité de l'effet produit sur l'apprentissage des joueurs. La recherche sur le concept se doit donc, entre autres, d'établir un pont solide entre le monde du jeu vidéo et l'éducation pour améliorer la qualité du jeu sérieux. L'idée de scénario étant commune à ces deux champs de recherche, nous pensons qu'il est un des éléments les plus pertinents pour intégrer des modèles pédagogiques ou didactiques. Analyser l'effet du scénario comme élément commun du jeu vidéo et de l'éducation est l'objectif principal de notre recherche.

Utiliser le jeu vidéo pour apprendre paraît être aujourd'hui une solution d'avenir forgée sur l'idée de motivation, de pédagogie active et de formation à distance. Et McGonigal nous laisse à réfléchir sur ce constat, paradoxalement cynique et plein d'espoir pour notre recherche, qui perdure depuis longtemps :

« Nous pensons que nous ne sommes pas aussi bons dans la vie que dans les jeux. » (Mcgonigal, 2010b)

PROBLEMATIQUE

1.1 Le rôle des jeux vidéo en éducation

De manière générale, les recherches sur le jeu en éducation, et non sur le jeu vidéo, sont nombreuses et plaident, dans l'ensemble, en faveur d'un apport positif (Brougère, 1995). Historiquement, plusieurs auteurs se sont intéressés à l'utilisation d'un modèle ludique pour favoriser ou mieux comprendre l'apprentissage (Winicott, 1975 ; Piaget, 1951 ; Kergomard, 1895 ; Caillois, 1991). Dans la suite de ces propositions, le jeu vidéo peut être vu comme une nouvelle forme de jeu dans notre société, une forme qui prend une place grandissante dans l'activité ludique de tous.

En 2010, 63,3% des français jouent aux jeux vidéo dont 9,5 millions quotidiennement, ce qui fait de cette activité le premier loisir en France (TNS Sofres, 2007) et nous pouvons supposer que la tendance est relativement analogue au Canada. Ces statistiques appuient l'idée que le jeu vidéo prend une place considérable dans ce pays, à l'image de celle prise dans les autres pays développés.

Dans une élocution inspirée de sa propre thèse (Mcgonigal, 2010a), sur l'importance du jeu vidéo dans notre quotidien, McGonigal entame une première réflexion sur l'appréhension du support « Jeu vidéo » comme outil d'éducation :

« Un jeune moyen d'aujourd'hui dans un pays à forte culture de jeu aura passé plus de 10 000 heures à jouer en ligne avant l'âge de 21 ans. Dix mille heures est un chiffre intéressant,[...] pour les enfants des États-Unis, 10 080 heures est le nombre exact du nombre d'heures d'école du CM2 au Baccalauréat. » (Mcgonigal, 2010b)

Un élève passerait donc autant de temps à jouer à des jeux vidéo dans ses loisirs qu'à étudier en classe. On peut comprendre que cette équivalence de durée témoigne probablement de l'existence de deux catégories d'apprentissage, deux univers qui s'opposent et que nous associons aux éducations formelles et

informelles. Nous cherchons à savoir si cette éducation informelle, aussi importante que l'autre par sa durée, pourrait jouer un rôle utile en éducation.

Pour tenter de mieux comprendre le rôle que ces jeux vidéo pourraient jouer en éducation, une équipe de chercheurs (Alvarez et al., 2007) a élaboré un travail de classification des jeux vidéo. En se basant sur plus de 500 jeux vidéo, ces chercheurs ont tenté d'établir une liste d'interactions simples et majoritaires que le joueur est amené à faire lors de son expérience vidéo-ludique (Figure 1). Nous pouvons ainsi remarquer que plusieurs de ces briques (Écrire, Créer, Sélectionner, Déplacer, Faire correspondre, Gérer, etc.) pourraient correspondre à des activités d'apprentissage auxquelles un élève est confronté pendant une période de classe. En effet, dans une classe, l'élève est, lui aussi, amené souvent à écrire, à faire preuve de créativité lors de la rédaction d'une histoire, à prendre des décisions face aux outils qu'il peut utiliser pour résoudre un problème, à faire correspondre les bonnes connaissances aux bonnes questions, ou encore à gérer le temps consacré aux différentes questions d'un devoir par exemple.

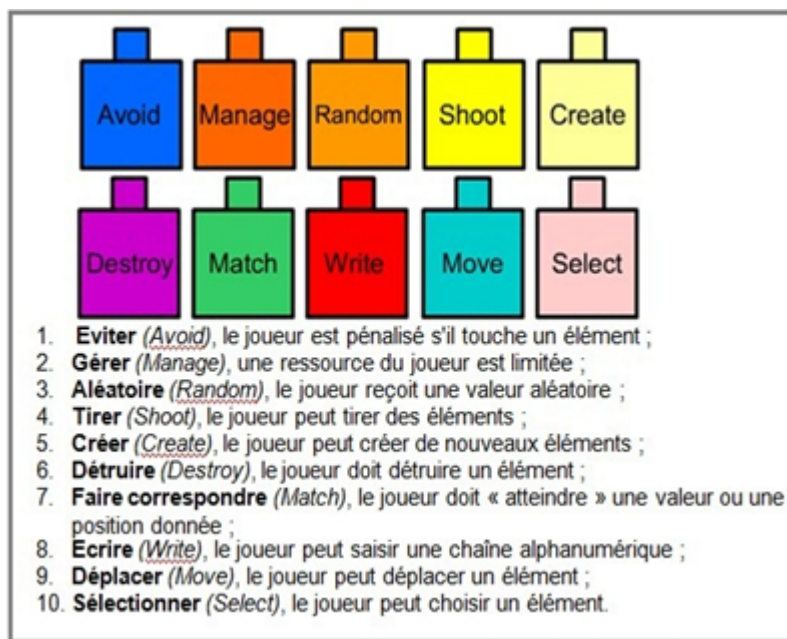


Figure 1 Briques d'interactions fréquentes dans un jeu vidéo (Alvarez et al., 2007)

Pour affiner encore notre propos sur le rapprochement entre le jeu vidéo et l'éducation, nous retenons aussi le travail de Frasca qui a tenté de mettre en évidence une typologie des règles de base du jeu vidéo (Frasca, 2003) :

- les « règles de manipulation » qui définissent ce que le joueur peut faire ;
- les « règles de but » qui définissent l'objectif du jeu ;
- les « méta-règles » qui définissent notamment la liberté de modification du jeu accordée au joueur par le créateur du jeu.

Ces trois catégories de règles peuvent encore une fois s'approcher de celles mises en place par un professeur dans sa classe. Les « règles de but » s'apparenteraient aux objectifs pédagogiques d'un cours. Les « règles de manipulation » seraient les outils ou les consignes pour les exercices à effectuer afin d'acquérir une connaissance. Enfin, les « méta-règles » seraient la liberté qu'aurait l'élève à s'approprier la situation pédagogique. Nous pourrions aussi dire que ces « méta-règles » seraient les règles que le joueur peut se donner lui-même pour transcender son expérience ludique. Un bon exemple serait celui du jeu de briques *Lego* réputé internationalement, qui offre comme mécanique l'association de ces pièces et parfois une notice pour monter un objet spécifique. Les « méta-règles » seraient alors la façon dont le joueur peut transformer cette expérience en s'imposant, par exemple, que sa construction soit très grande, qu'elle soit de couleur unie, qu'elle utilise toutes les pièces de sa collection, ou bien qu'elle définisse un monde imaginaire dans lequel ses plus folles histoires prendraient forme. La triche, dans n'importe quel jeu, serait aussi un bon exemple de ces « méta-règles ». Elle indique le dépassement du joueur dans la compréhension des règles du jeu et sa façon « illégale » de manipuler ces règles pour en créer de nouvelles ou de trouver une faille à celle-ci. La triche est une forme d'émergence ultime des règles du jeu que le concepteur ne peut pas véritablement maîtriser. Elle est propre à chacun des joueurs et à l'appropriation qu'il se fait de ces règles. Cette idée nous ramène d'une certaine façon au courant constructiviste de l'éducation, à la manière dont l'élève s'approprie spontanément et personnellement la situation.

On touche ici pour la première fois au cœur de notre recherche : toutes ces règles ne pourraient-elles pas correspondre à ce qu'on associerait en éducation au modèle pédagogique appliqué qui mettrait l'élève dans une situation d'apprentissage ?

Si le jeu vidéo et la situation d'apprentissage ne sont certainement pas équivalents et ne présentent probablement pas la même valeur éducative, l'addition de ces deux domaines peut prendre du sens tant ils ont de points communs, sémantiques et historiques. Pour finir sur cette première partie, il convient donc de se poser cette question : le résultat de cette addition est-il le concept de jeu sérieux ?

1.2 Les problèmes de l'intégration des jeux vidéo en contexte scolaire

La notion de jeu sérieux est très récente mais l'idée « d'aider » l'envie d'apprendre ne date pas d'hier puisque les jeux vidéo étaient déjà utilisés dans cette optique dès la fin des années 60 » (Dorn, 1989 cité par Fenouillet, Kaplan & Yennek, 2009, p.43). Il paraît cependant intéressant de souligner que l'histoire de la recherche dans ce domaine commence dans les années 90. C'était alors l'époque des jeux ludo-éducatifs (Adibou, Versailles, Atlantis, Journal interactif, Tell me More,...) dont deux sont présentés dans la figure 2.



Figure 2 Exemples de jeux ludo-éducatifs

À cette époque, les jeux disponibles à étudier provenaient principalement des industries du jeu vidéo. Cependant les recherches sociologiques ont constaté rapidement que ces industries plaçaient tous leurs efforts sur la satisfaction des parents, une stratégie marketing plutôt qu'une stratégie pédagogique :

« Si Versailles fait partie des jeux les plus vendus dans le monde, on avance que ce ne serait pas le joueur qui l'achète, mais sa mère. [...]. Ce que le joueur rejette, ce n'est non pas la composante culturelle ou le savoir, mais bel et bien l'intérêt qu'il aura à apprendre ces informations pour les mettre au service de sa victoire.» (Georges, 2003, p.1)

La pertinence pédagogique se retrouve mise à mal par les intentions commerciales malgré les thématiques envisagées. Les parents ne prenant pas en considération, à l'époque, la manière dont l'enfant allait apprendre dans ce type de logiciel, les concepteurs ont tout misé sur les thématiques historiques grandioses. Le pari commercial a sans doute fonctionné mais le pari pédagogique beaucoup moins. Le problème d'intégration viendrait donc probablement du choix des concepteurs de ces jeux. Les pédagogues ont été écartés d'une phase de conception principalement axée sur l'exploit graphique ou ludique d'un tel logiciel.

Pour souligner encore cet échec d'intégration pédagogique, Charsky se permet d'écrire que le ludo-éducatif est « la combinaison de la forme la plus faible de l'éducation, entraînement et répétition, avec la moins divertissante des mécaniques de jeu » (Charsky, 2010, *traduction libre*).

Cette première intégration du jeu vidéo dans un contexte scolaire a donc subi un échec relatif (Natkin, 2008; Charsky, 2010). Les jeux ludo-éducatifs ont laissé progressivement la place aux jeux sérieux qui ont pour objectif d'être beaucoup plus immersifs et de moderniser un terme qui s'est forgé une assez mauvaise réputation auprès des élèves. La richesse du concept se trouverait au croisement de ces deux mondes, de connaissances et d'acquis : le jeu vidéo et l'éducation. La bonne compréhension de ces deux champs peut être la clef de la conception de ce type d'application.

Natkin (2008), nous aide justement à comprendre comment le jeu sérieux (jeux vidéo éducatifs) se différencie du ludo-éducatif, à comprendre ce qu'il apporte aujourd'hui à la recherche dans l'intégration du jeu vidéo en éducation :

« Un ludo-éducatif a pour objectif de présenter sous forme de jeu vidéo un contenu éducatif, en insérant des séquences ludiques avec des défis et

des récompenses. Sortis en 2008, les jeux qui permettent de réviser les programmes du collège sur la console Nintendo DS en sont un exemple récent.

Un jeu vidéo éducatif a une ambition plus limitée mais s'appuie sur un raisonnement beaucoup plus élaboré. Il s'agit de comprendre et d'exploiter les mécanismes d'immersion et d'apprentissage utilisés dans les jeux vidéo pour améliorer certaines compétences et connaissances du joueur. » (Natkin, 2008, p.12).

En effet, le scénario, le *gameplay*, le *level-design* sont quelques-uns des termes qui ont déjà été largement étudiés dans le domaine du jeu vidéo pur. Le résultat de ces recherches est riche en apprentissages pour plusieurs autres domaines (psychologie, éducation, littérature, etc...) (Gee, 2003; Huizinga, 1938; Newman, 2002; Juul, 2005).

Gee avance par exemple que l'étude de l'utilisation des jeux comme *World of Warcraft* ou *Half Life 2* ferait le constat d'une forte activité cognitive chez les sujets, d'un développement de l'aspect identitaire, de l'amélioration de la menée d'un objectif et d'un changement majeur dans la manière de voir le monde (Gee, 2003). Ce constat laisse à réfléchir sur les manières dont de tels jeux favorisent ces aspects : les mécaniques de jeu, la narration, le scénario, le *level design*, le multijoueur, le contexte ludique ou un savant mélange de toutes ces notions.

Dans la recherche en didactique, de plus en plus de nouvelles théories apparaissent mais sont souvent confrontées à des problèmes de mises en place et de moyens. Pourtant la pédagogie différenciée, l'apprentissage par l'erreur, le changement conceptuel, les théories motivationnelles et l'apprentissage par compétences sont autant de théories qui convergent toutes vers l'idée de redonner de la "saveur aux savoirs" (Astolfi, 2008).

Le jeu vidéo pourrait souvent être la solution à ces problèmes de mises en place et pourrait s'intégrer de manière pertinente. Pour la pédagogie différenciée, le jeu vidéo laisse par exemple la possibilité au joueur d'évoluer à son rythme, de s'approprier un jeu de manière unique, et pourrait donc intégrer des éléments de

ce modèle (Perrenoud, 1997). Ce qui semble souvent difficile à mettre en place dans une classe. Pour l'apprentissage par l'erreur, le jeu vidéo donne la possibilité au joueur d'essayer à l'infini sans avoir peur de se tromper devant tous ses camarades. L'erreur devient donc visiblement un outil à l'apprentissage d'un niveau par exemple. Les théories motivationnelles sont, de manière plus évidente, satisfaites par l'utilisation d'un support vidéo ludique : le scénario, l'engagement émotionnel, l'univers graphique. En outre, l'apprentissage par compétences se verrait être facilité par le fait que les jeux vidéo sont composés principalement de tâches à accomplir, par ailleurs souvent quantifiables. Pour sa part, le socio-constructivisme inspire dans l'aspect multi-joueurs du jeu vidéo.

Finalement, le changement conceptuel, qui nous intéresse plus particulièrement ici, pourrait être satisfait par un travail sur *le level design*, autrement dit la façon dont le concepteur va construire les tableaux de jeu, la manière dont il va disposer les outils ou les éléments de jeu pour provoquer la situation problématique « surprenante » propre au changement conceptuel. Le joueur pourrait donc se permettre d'explorer ses propres conceptions et le jeu vidéo serait alors un outil pertinent pour permettre de mieux satisfaire les trois critères de Posner : « intelligible, vraisemblable et fertile » (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982). Nous le verrons plus précisément un peu plus tard.

« Comme les jeux vidéo qui ont évolué de formes simples (Pac-Man, Space Invaders,) à des formes plus complexes (Civilization IV, EverQuest) et la recherche en éducation qui s'est orientée vers des méthodes d'apprentissage plus constructivistes, il s'effectue une progression parallèle du ludo-éducatif vers le jeu sérieux. (Charsky, 2010).

C'est donc à partir des mécanismes de chacun de ces domaines d'études, que la recherche sur le jeu sérieux doit tenter d'approfondir une réflexion, déjà entamée depuis quelques années, vers des modèles plus complexes pour espérer favoriser une meilleure intégration et construire un pont plus solide entre jeu vidéo et éducation

1.3 Le potentiel des jeux sérieux

Comme l'illustre la Figure 3 (Auneau, 2011), le jeu sérieux (serious game) installe ses premières bases dans le domaine des nouvelles technologies en éducation au carrefour des contenus pédagogiques, du ludisme et de l'interactivité.

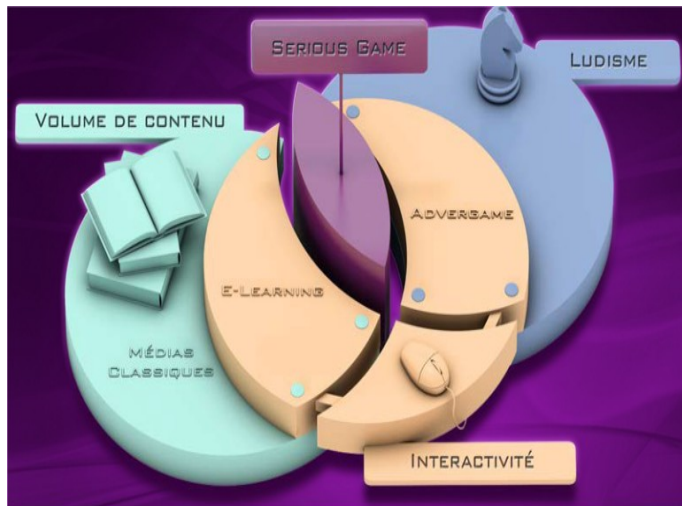


Figure 3 Au croisement de trois univers, le jeu sérieux.

« Le terme Serious Game est né des développements de jeux pour l'armée américaine et, en particulier, pour les troupes déployées en Irak » (Natkin, 2008, p.3). L'idée était de proposer un jeu de guerre sur Internet qui permet de recruter des soldats aux potentiels révélés et susceptibles d'être envoyés en Irak. Le terme « serious » montre alors bien la différence avec un vrai jeu de guerre sous-entendu « ludique ».

Cependant, nous savons déjà que le potentiel du jeu sérieux se révèle mieux grâce à la définition proposée par Alvarez (2007). Un jeu sérieux est :

« Une **application informatique**, dont l'intention initiale est de combiner (...) à la fois des aspects sérieux (Serious)(...) avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo (Game). Une telle association, qui s'opère par l'implémentation d'un "**scénario pédagogique**", (...) a donc pour but de **s'écarter du simple divertissement** » (Alvarez, 2007, p.51).

Nous avons surligné ici les éléments que nous qualifions d'importants dans la définition.

En somme, quand on parle de jeu sérieux, nous entendons une application informatique qui a pour but de s'éloigner du simple divertissement. La limite est floue, certains jeux vidéo classiques ayant plusieurs buts dont certains peuvent s'éloigner du simple divertissement. Nous pensons notamment à des jeux comme *Sim City* ou *Flight Simulator*. Justement, en éducation, cette limite est encore plus floue avec les Simulations Assistées par Ordinateur (SAO) qui s'apparentent à *Sim City* ou *Flight Simulator* mais qui n'ont pas pour objectif principal le succès commercial. Les SAO sont des applications informatiques qui ont pour but de s'éloigner du simple divertissement. Mais elles ne possèdent pas de scénario pédagogique intégré au logiciel. C'est l'enseignant qui prend le logiciel comme un outil pour élaborer son scénario.

Comme l'exprime la définition, l'évolution s'effectue par l'implémentation dans la phase de conception du jeu, d'une réflexion sur le scénario pédagogique à mettre en place.

De plus, il apparaît que le scénario pédagogique est un formidable moyen de réfléchir à la mise en œuvre des théories pédagogiques et didactiques existantes comme suggéré dans la section précédente.

C'est sur cette notion que se trouve probablement le potentiel du jeu sérieux. Est-ce dans l'intégration complète d'un scénario pédagogique que se crée un pont entre recherche en jeux vidéo et recherche en éducation ? Est-ce dans la réflexion sur l'élaboration de ce fameux scénario que se trouve la solution à une intégration réussie du jeu vidéo en contexte scolaire ? Nous croyons que c'est dans ce scénario qu'il faut concentrer tous les efforts de recherche pour comprendre quelle est la valeur éducative de cet outil.

Et si, sans scénario pédagogique réfléchi, toute application informatique, qui a pour but de s'éloigner du simple divertissement, ne pouvait plus être considérée comme un jeu sérieux. Cette affirmation pourrait, peut-être, être la réponse à bon

nombre des limites repérées du concept de jeu sérieux. C'est ce que nous souhaitons analyser sur un cas concret et nous verrons dans le cadre théorique comment se définit le scénario pédagogique dans un jeu sérieux.

1.4 Quelles sont les limites du concept de jeu sérieux ?

La plupart des limites repérées dans les recherches sur le concept sont dues à sa relative jeunesse. On peut compter en premier lieu la limite financière, mais qui n'est pas une limite directe pour la recherche. Malgré un engouement pour le concept en entreprise, les budgets de développement de jeux sérieux sont minimes en comparaison aux grands succès du jeu vidéo. Cette limite ne doit pas pour autant être paralysante car plusieurs studios de développement indépendants ont montré qu'avec un budget modeste, le joueur pouvait vivre une expérience vidéo-ludique passionnante (*World of Goo, FEZ, Limbo, Dust : An Elysian Tail...*). C'est dans ce cas la simplicité du *gameplay* liée à son efficacité ludique qui fait la différence. Cette limite semble alors être pour le chercheur une piste à explorer pour aboutir à ce type d'alliance ou alliage et faire vivre ainsi une expérience vidéo-pédagogique pertinente. On peut, en outre, souligner le soutien de plus en plus d'institutions pour ce type de développement (17 millions d'euros mis à disposition par le ministère à l'économie numérique en France en septembre 2009, pour un appel à projet de «Serious Game»).

Une deuxième limite concerne la résistance des institutions. L'aboutissement du concept, d'abord, et les projets en cours, par la suite, rendent réticents les ministères spécialisés en éducation. Cependant, cette tendance semble s'inverser dans le sens du jeu sérieux au vu des quelques chaires qui se sont ouvertes sur le sujet dans les universités au Québec par exemple. On peut citer comme exemple : le partenariat entre la CREO et l'UQAM, et l'intérêt de certains professeurs à la mineure en Jeu vidéo de l'Université de Montréal. Reste encore la question de la formation des enseignants à ce type d'outils, mais là n'est pas notre propos.

Une troisième limite porte sur le concept lui-même traduisant encore une fois l'importance que doit lui accorder la recherche. Malgré la définition d'Alvarez, le

terme «jeu sérieux» reste polysémique de par son utilisation dans plusieurs domaines : communication, information, militantisme, éducation et formation. Il l'est aussi par la multiplicité de paradigmes qu'il recouvre : design graphique, intelligence artificielle, 3D, scénarisation, programmation, production, réseau, pédagogie, didactique, communication, psychologie expérimentale et psychologie cognitive entre autres... Autant de pistes qu'il convient d'explorer une à une, de les rapprocher ensuite et de les confronter afin de mieux comprendre les tenants et les aboutissants du concept. Beaucoup de recherches ont déjà exploré quelques-unes de ces pistes, mais l'exploration n'est, à ce jour, pas assez suffisante pour définir précisément le modèle de cette nouvelle technologie, qui faciliterait considérablement le travail de chacun des producteurs de ce type d'application.

D'un point de vue scientifique, la recherche est en plein essor et chaque publication défriche un peu plus le concept, mais généralement de manière incomplète ou imprécise. Nous énumérons ici une série d'exemples de plus en plus significatifs.

Alvarez (2007) a voulu orienter sa recherche vers le développement d'un jeu sérieux, Technocity, mais pour lequel les résultats obtenus traduisent une méthodologie de développement insatisfaisante :

« Nous avons en effet identifié ou perçu de nombreux paramètres liés aux aspects humains, économiques, techniques, artistiques, ludiques, pédagogiques, organisationnels, et qui doivent impérativement être mis en cohérence pour espérer aboutir à la mise en œuvre d'un serious game pertinent. Technocity pour sa part, n'a pas atteint un tel statut. » (Alvarez, 2007, p.103).

En outre dans une étude antérieure (Mandart, 2010), nous avons fini par distinguer des éléments propres à l'élaboration de scénario (« situations ») pédagogique. Notre recherche, trop ambitieuse, a été effectuée sur le jeu sérieux « Food Force » développé par Ubisoft pour l'organisation mondiale contre la faim. La méthodologie basée sur les variables « actions » et « émotions » recouvrait

beaucoup trop de paradigmes pour faire de nos résultats une avancée satisfaisante au niveau de la recherche :

« Notre étude expérimentale, fondée sur deux variables seulement, nous a montré à quel point la recherche était encore riche et longue. D'ailleurs, elle donne même à réfléchir sur la conception des situations pédagogiques plus classiques.

L'importance d'une réflexion sur la place et l'intensité accordée aux différents types d'actions et d'émotions, lors d'une situation pédagogique s'avère pertinente. Dans une classe, elle peut s'avérer difficile à gérer par le maître. Toute la force du Serious Game est là. Elle peut concevoir ce type de situation grâce au tutorat avec pour toile de fond la pédagogie différenciée. » (Mandart, 2010, p.35).

Boucher-Genesse (2013) a analysé quatre recherches sur des jeux vidéo éducatifs appliqués à l'apprentissage des sciences et a identifié des limites de méthodologies de recherche ou de développement utilisées :

« (...) dans notre domaine de la didactique des sciences, 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. » (Boucher genesse, 2011, p.19)

Enfin, deux méta-analyses effectuées au cours des deux dernières années sur près de 140 recherches (Tobias, Fletcher, Dai, & Wind, 2011; Young et al, 2012) se sont préoccupées de la relation entre les jeux d'ordinateurs et l'éducation. Celles-ci vont dans le sens de nos premières citations :

« Il a été largement remarqué (Engel-Nielsen, 2007; Hays, 2005; O'Neil, Wainess, & Baker, 2005; Randel, Morris, Wetzle, & Whitehead, 1992; Tobias et al., 2011; Tobias & Fletcher, 2011B; Vogel et al., 2006) que l'enthousiasme pour l'utilisation des jeux pour l'apprentissage dépasse de loin les données disponibles lorsque l'on parle de transfert des connaissances acquises dans le jeu vers une tâche externe à celui-ci. (...) Comment pouvons-nous produire des jeux qui transmettent de manière fiable les objectifs pédagogiques prédéfinis ? La recherche se doit de produire des procédures efficaces, voire une technologie, pour arriver à cette fin. Trop souvent aujourd'hui, les jeux pédagogiques sont mal développés, ou l'apprentissage est intégré de manière inefficace. » (Tobias & Fletcher, 2012, p.234, traduction libre).

Les conclusions de ces méta-analyses sont éloquentes et se résument par ces six constats :

- absence d'éléments de recherches scientifiques pertinentes ;
- absence de définition commune ;
- absence de méthode de conception propre à cet outil ;
- intégration difficile des théories pédagogiques ;
- absence probable de technologies adaptées à la production de ce genre d'outil.

Dans notre projet, nous tenterons de préciser la définition et d'explorer un élément important de la conception de ce type d'outil, l'intégration de théories pédagogiques. Le scénario pédagogique d'un jeu sérieux souligné par la définition d'Alvarez serait le résultat de cette intégration.

Enfin, l'erreur majoritaire soulignée par les auteurs de ces méta-analyses est celle de considérer une simulation assistée par ordinateur comme un jeu sérieux. Nous pensons, en effet, que cette considération est probablement la clé d'une bonne intégration d'un jeu vidéo dans un contexte scolaire. Ces chercheurs ont pris le temps d'appuyer spécifiquement l'importance d'une définition plus précise, qui éviterait d'impliquer, dans ces méta-analyses, des genres du jeu vidéo qui ne

s'appliqueraient probablement pas à un modèle pédagogique pertinent du concept de jeu sérieux.

«L'absence de chevauchement dans les études citées par les deux méta-analyses parle aussi de la nécessité d'une définition commune convenue de ce que nous classons comme des jeux sérieux et ce qu'il faut inclure dans les études de ce genre. Young et al. (2012) ont exclu spécifiquement les simulations de leurs méta-analyses» (Tobias & Fletcher, 2012, p.235, traduction libre).

Nous pensons d'ailleurs, que le scénario pédagogique est l'élément principal qui caractérise le jeu sérieux d'une simulation assistée par ordinateur. Ce qui fait du jeu sérieux un concept à part entière n'incluant pas la simulation, comme le laisse à penser ces auteurs. Nous en reparlerons dans le cadre théorique.

Les limites du concept sont donc nombreuses mais peuvent souvent s'expliquer par sa relative jeunesse. Il convient donc d'approfondir les recherches.

1.5 Résumé de la problématique

Les jeux vidéo et les nouvelles technologies sont des évolutions à prendre au sérieux à l'échelle de l'éducation d'une société. Les jeux sérieux font partie de ces évolutions et se présentent comme une solution matérielle possible aux lacunes que comptent le système éducatif et tout organisme de formation dans ce domaine. Cependant les recherches actuelles ne sont pas encore convaincantes en termes de résultat. La polysémie du terme, les faiblesses méthodologiques de certaines recherches, la relative jeunesse du concept sont autant d'explications à une mauvaise connaissance du jeu sérieux qui apparaît pourtant comme une intégration pertinente du jeu vidéo en éducation.

A l'image, dans un premier temps, des jeux massivement multi-joueurs sur Internet qui développent, à chaque nouvelle sortie, une banque de données et une connaissance systémique basée sur l'élaboration d'un scénario ludique complexe, et dans un deuxième temps, de l'enseignant qui prépare didactiquement son cours sous forme de « scénario » ou séquence pédagogique, nous pensons détenir une

piste à explorer qui pourrait être une solution à ces échecs : l'importance du scénario pédagogique dans la conception d'un jeu sérieux.

Nous pensons que ce scénario se caractérise par son potentiel d'intégration d'un modèle pédagogique au sein du jeu vidéo. Cette intégration pourrait se révéler puissante tant le jeu vidéo semble être un outil pertinent de mise en place pédagogique. En tant que chercheur, cette intégration pourrait s'avérer d'autant plus remarquable qu'elle pourrait permettre de mesurer l'efficacité d'un modèle pédagogique.

Ce qui nous amène à notre question générale de recherche : Quel est l'effet sur l'apprentissage de l'intégration d'un modèle pédagogique dans le scénario d'un jeu vidéo ?

CADRE THEORIQUE

2.1 De la simulation assistée par ordinateur(SAO) au jeu sérieux.

2.1.1 Confusion entre SAO et jeu sérieux

Nous l'avons annoncé lors de la présentation de cette problématique. Nous pensons qu'il devient important, dans ce contexte pluridisciplinaire innovant, de redonner du sens à un concept clé de la définition d'un jeu sérieux : le scénario pédagogique.

La définition nord américaine du jeu sérieux proposée par Chen & Michael (2005), pourrait être l'une des raisons des nombreuses pistes qui restent à explorer. L'imprécision caractérise la plupart des projets existants ou en cours due à ce type de définition trop générale.

« Tout jeu dont la réalité première est autre que le simple divertissement. » (Chen & Michael, 2005).

Cette définition trop large ne permet pas de bien différencier le jeu sérieux des autres tentatives associées aux premiers pas du jeu vidéo en éducation : le ludo-éducatif et la simulation assistée par ordinateur.

D'ailleurs, lors d'une recherche effectuée en 2011, nous avons pu rendre compte d'un constat fait à l'Université de Montréal (Mandart, 2011) : l'amalgame entre simulation assistée par ordinateur et jeu sérieux était troublant. La SAO est un outil déjà utilisé depuis une quinzaine d'années en éducation. Dans le paradigme des nouvelles technologies en éducation, les SAO permettent d'expérimenter, à la manière des travaux pratiques en chimie ou en physique, des variables et des contenus abordés dans le cadre du cours magistral. La SAO, simulant ce type de travaux pratiques dans un environnement virtuel, correspond à un outil et à une étape particulière d'une séquence pédagogique. La SAO en elle même n'est pas optimisée pour être utilisée hors d'une séquence pédagogique car elle n'inclut pas de séquences pédagogiques à l'intérieur même du logiciel.

Le principe d'une SAO est de simuler la réalité dans un environnement virtuel pour provoquer une exploration scientifique d'un contenu. Par exploration scientifique, nous entendons expérimentation, recherche, application sur différentes variables apprises dans un contenu pédagogique.

Un bon exemple serait celui d'une SAO sur la géométrie moléculaire. Le logiciel se chargerait de simuler les différents éléments dans un environnement virtuel et d'instaurer une interface pour les manipuler et les associer. Aux apprenants, alors, d'associer les différents éléments en expérimentant ou en appliquant un contenu pédagogique déjà abordé à l'extérieur du jeu. A la manière du jeu vidéo qui prend la simulation comme un genre à part entière, les éditeurs ou développeurs se sont vite rendus compte que ce genre s'adressait à des joueurs déjà expérimentés dans les domaines.

Nous prenons le parti que le jeu sérieux se différencie des SAO, qui existent depuis une vingtaine d'années, par l'implémentation d'un scénario pédagogique qui provoque alors une exploration scénarisée d'un contenu pédagogique. Le logiciel comporte désormais une séquence pédagogique intégrée. Pour atteindre un nouveau public, certains jeux, à la manière des SIMCITY, se sont dotés d'un scénario ou d'une séquence pédagogique pour amener le joueur vers la simulation puissante qu'ils proposaient. C'est dans cette implantation, il nous semble, que la didactique et la pédagogie peuvent s'intégrer de manière pertinente et créative dans le jeu vidéo. Il est d'ailleurs déjà très intéressant de constater que les théories en conception de jeu vidéo proposent déjà différents moyens d'amener le joueur à maîtriser les règles de leur jeu (Gee, 2003).

Cependant, il n'est pas question dans cette recherche de sous-estimer le potentiel des SAO dans une perspective éducative. Nous pensons d'ailleurs que ces deux outils pédagogiques proposent deux types d'exploration d'un savoir.

D'un côté, le jeu sérieux propose une exploration scénarisée de par la présence d'un scénario pédagogique qui a pris le soin de répondre à un processus

didactique. Le scénario joue ici le rôle de didacticien d'un contenu pédagogique. L'élève joue alors avec le « savoir à enseigner ».

De l'autre côté, la SAO propose une exploration scientifique de par la manipulation d'outils simulant la réalité. Justement, en jouant avec cette réalité, la SAO propose bien de manipuler le « vrai savoir », le savoir savant. À l'enseignant de faire de cette manipulation une situation pédagogique appropriée pour son cours (avant, pendant, et/ou après le cours, de manière progressive ou non).

«Parce que la plupart des simulations n'ont pas d'élément fantastique s'apparentant aux jeux, elles ont tendance à être orientées vers les apprenants pratiquant dans un contexte réel. Les simulateurs de vol sont un parfait exemple d'une simulation correspondant à un contexte particulier. Pourtant, les simulateurs de vol sont un genre dans le monde du jeu vidéo. Microsoft Flight Simulator est par exemple un jeu populaire basé sur un moteur de simulation de vol.

La série «Civilization» et les différents jeux «Tycoon» sont également entraînés par une dynamique de simulation. Pourtant ceux-ci sont plus considérés comme des jeux car ils utilisent plus les théories en conceptions de jeu, avec des éléments comme la compétition et la fantaisie, afin de créer une expérience de jeu divertissante.» (Charsky, 2010, p.179, traduction libre).

Cette citation affirme ce qui pour nous relève du jeu sérieux par rapport à la SAO. La SAO a utilisé la technologie des environnements virtuels de manière parfois remarquable, mais en s'affranchissant des théories sur la conception de jeu.

Nous résumons cette réflexion sur la différence entre le jeu sérieux et la SAO par la Figure 4.

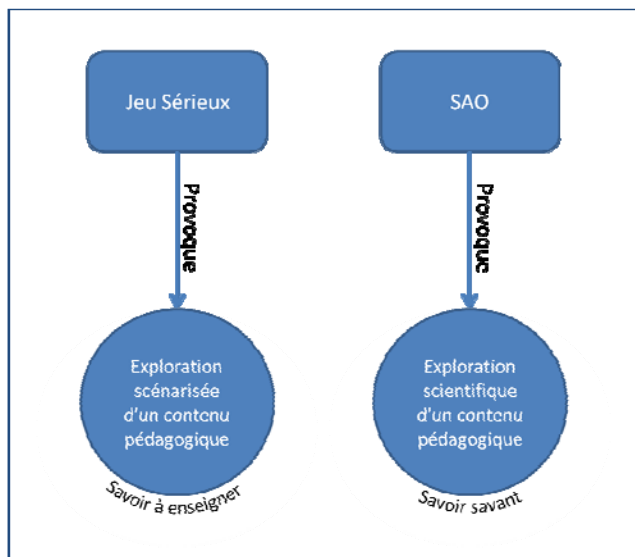


Figure 4 Jeu sérieux vs SAO, deux types d'exploration

2.1.2 Définition du jeu sérieux

A ce jour malheureusement, les recherches tentant de définir précisément le concept sont presque inexistantes. À part la définition méthodologique d'Alvarez, les propos de Natkin et ceux de Charsky, nous n'avons pas trouvé d'autres chercheurs qui ont tenté de compléter leurs travaux de définition du jeu sérieux. Une multitude de recherches (EIAH, 2009) gravitant autour du concept se sont fixées comme objectif l'observation sociologique, pédagogique, psychologique, économique, etc. de l'utilisation des jeux vidéo, pour certaines, et des jeux sérieux, pour d'autres sans jamais vouloir véritablement affiner la définition. Nous retiendrons donc la définition d'Alvarez (2007).

Sa méthodologie se base sur une étude longitudinale d'environ 40 ans sur plusieurs domaines (militaire, information, militantisme, éducation, marketing...) et sur un catalogue assez impressionnant de jeux vidéo. Nous pensons que peu de chercheurs ont risqué de remettre en question cette définition qui est devenue une référence dans le domaine. Pourtant, il nous paraît pertinent de préciser et compléter certaines parties de sa définition sans la remettre en question.

« Application informatique, dont l'intention initiale est de combiner, avec cohérence, à la fois des aspects sérieux (Serious) tels, de manière non exhaustive et non exclusive, l'enseignement, l'apprentissage, la communication, ou encore l'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo (Game). Une telle association, qui s'opère par l'implémentation d'un "scénario pédagogique", qui sur le plan informatique correspondrait à implémenter un habillage (sonore et graphique), une histoire et des règles idoines, a donc pour but de s'écarter du simple divertissement. Cet écart semble indexé sur la prégnance du "scénario pédagogique". » (Alvarez, 2007, p.51).

Dans la première partie de sa définition, nous comprenons à la fois l'utilisation des termes du concept et la multiplicité des domaines dans lesquels il peut être utilisé. Nous sommes en accord avec cette première partie qui souligne bien l'inspiration des jeux vidéo. Cependant notre recherche s'inscrit exclusivement dans le domaine de l'éducation et plus particulièrement de la didactique en général. Cette notification va permettre de mieux comprendre l'importance que nous accordons à la seconde partie de la définition.

Dans la seconde partie, l'élément indispensable pour notre recherche est la mise en oeuvre d'un scénario pédagogique. Une autre recherche que nous avons effectuée (MANDART, 2011) nous a démontré l'importance de cette partie de la définition pour différencier le jeu sérieux par exemple de la simulation assistée par ordinateur. En outre, l'importance du scénario pédagogique implanté dans le jeu sérieux donne un sens aux recherches en éducation sur le sujet. Un jeu sérieux nécessite donc bien un game designer, un pédagogue et un responsable du contenu pédagogique, sans parler de l'équipe classique de production de jeu vidéo.

La recherche sur le domaine doit se faire entre le jeu vidéo et l'éducation, et se doit de créer systématiquement des ponts pour tenter d'en faire, dans un premier temps, une alliance et idéalement trouver le moyen d'en faire un alliage solide. Là réside le succès d'un jeu sérieux selon nous. Ceci infirme plus particulièrement la dernière phrase de la définition. Selon nous la simple implémentation d'un

« habillage », d'une histoire et de règles idoines définissent plus le caractère des jeux ludo-éducatifs. Nous préférons donc la réflexion de Natkin sur ce qu'il appelle des jeux vidéo éducatifs pour parler de jeu sérieux :

« Un jeu vidéo éducatif a une ambition plus limitée mais s'appuie sur un raisonnement beaucoup plus élaboré. Il s'agit de comprendre et d'exploiter les mécanismes d'immersion et d'apprentissage utilisés dans les jeux vidéo pour améliorer certaines compétences et connaissances du joueur. » (Natkin, 2008, p.12).

C'est dans ces propos que s'inscrit notre recherche sur le scénario pédagogique d'un jeu sérieux. La réflexion sur le scénario pédagogique se doit d'être riche et élaborée sur les mécanismes d'immersion et d'apprentissage mis en place dans un jeu sérieux. C'est sur cette partie que nous tenterons d'affiner les propos d'Alvarez dans la section 2.2 qui s'attardera à faire des liens entre des modèles de conceptions vidéo ludiques et un modèle didactique, le changement conceptuel.

2.1.3 Atouts du jeu sérieux

2.1.3.1 Situation pédagogique active

Le premier argument qui semble mettre en avant les bonnes intentions du concept de jeu sérieux est la motivation des élèves par une situation pédagogique active. Il nous faut convenir que lorsque l'on parle d'action dans un jeu vidéo, on ne parle pas d'action physique en tenant compte pourtant de l'action physique des mains lors de sa pratique. Nous parlons ici d'action virtuelle, de prise de décision, d'évitement, de création, de dialogue, de mouvement, d'interaction virtuelle avant tout. Cependant, en admettant cette virtualité et la disparition de l'activité physique face à un jeu sérieux, l'élève actionne en permanence de multiples actions et interactions. Il est, dans un jeu sérieux, acteur de son apprentissage.

« Le jeu doit proposer aux étudiants une situation qu'ils puissent « vivre » (au sens d'une immersion significative) et dans laquelle les connaissances

apparaîtront comme la solution optimale au(x) problème(s) posé(s) »
(Brousseau, 1998, cité par Gonçalves, Ney, Balacheff, 2009, p.12).

Grâce à cette définition, nous comprenons alors l'activité et l'immersion que peut proposer un jeu sérieux. Mettre l'élève en situation d'action problématique mais ludique que seule la maîtrise des connaissances requises pourra résoudre. Brousseau souligne aussi l'importance d'un défi optimal proposé à l'élève, synonyme d'un apprentissage plus efficace. En jeu vidéo, la notion de « flow » (Csikszentmihalyi, 2005) est un des ingrédients capitaux au succès d'un jeu vidéo. Proposer aux joueurs un défi ni trop facile, ni trop difficile pour s'assurer que le joueur reste investi dans le jeu. Certains jeux ont même développé des algorithmes intégrés pour que le jeu s'adapte par lui-même au niveau du joueur.

Sur l'idée de pédagogie active, le scénario pédagogique dans un jeu sérieux n'ajoute en rien à la SAO qui met, elle aussi, l'apprenant dans une situation dynamique. Cependant, la manière ou l'état dans lequel un scénario pédagogique met l'apprenant peut être très différent, sur la gestion du *flow* ou sur la motivation par exemple.

Le concept de motivation est un des points déterminants dans le succès d'une situation pédagogique active. En effet, c'est la richesse et la capacité tutorielle des actions qui font d'un jeu sérieux une pédagogie forgée sur la motivation. Malone (1987) ou encore Blanchard et Frasson (2007) ont basé leurs recherches dans le champ des théories motivationnelles. Malone affirme par exemple l'importance du choix d'actions proposées aux élèves pour augmenter son autodétermination :

« Malone fait une relation entre le choix et le contrôle qui du point de vue des théories motivationnelles est plus sujet à controverse (Fenouillet, 2009). Cependant, quelque soit par ailleurs la nature de cette relation, il s'avère que tout ce qui concourt à laisser le choix à l'individu, va augmenter son autodétermination et donc accroître sa motivation (mesurée en termes de persistance et d'intérêt pour l'activité en général).»
(Vallerand et al., 2009, cité par Fenouillet et al., 2009, p.46).

De leur côté, Blanchard et Frasson (2007) se sont basés sur les questions de la motivation intrinsèque et extrinsèque. Pour travailler sur ce sujet, les auteurs se sont inspirés eux aussi des recherches liées à la théorie de l'autodétermination. Cette dernière identifie trois besoins psychologiques innés dont la satisfaction conditionne la qualité de la motivation d'un individu. Ces besoins concernent les niveaux d'autonomie, de compétence et de relationnel ressentis par cet individu. Ces trois besoins résument bien la théorie de Malone et se rapprochent un peu plus de ce que l'on peut observer dans les caractéristiques d'un best seller en jeu vidéo.

2.1.3.2 La pédagogie différenciée

Le deuxième élément pédagogique, jouant en la faveur du média jeu vidéo, est la possibilité d'identification et de considération unique de chacun des apprenants qu'offre le support vidéo ludique dans le prolongement de la pédagogie différenciée.

Pour ne citer qu'un seul exemple, il nous semble que la recherche de Michel et Jobert (2008) a réussi à montrer à quel point l'utilisation du support vidéo ludique pouvait résoudre bon nombre de problèmes contemporains en éducation, en plaçant l'élève au centre de la situation pédagogique répondant à merveille aux idées de la pédagogie différenciée. En se basant sur des enfants déficients intellectuels, les auteurs ont pu se rendre compte de l'impact que pouvait avoir un jeu sérieux sur l'importance des émotions de ces élèves. En effet, les problèmes essentiels des enfants en difficulté selon ces chercheurs sont : le manque de concentration, les problèmes d'attention, une image négative d'eux-mêmes, ainsi que des problèmes de mémoire. D'où des recommandations pour le logiciel :

« Créer un personnage bienveillant et complice avec lequel l'enfant puisse s'identifier et interagir. Permettre à l'enfant de choisir ce compagnon de jeu qui l'appellera également par son prénom, avec lequel il fera les différents jeux proposés. Utiliser un personnage qui sera « l'assistant vocal » qui énoncera la consigne de l'exercice. » (Jobert, 2008)

Les résultats pour ce logiciel qui tenait compte des recommandations citées précédemment ont été convaincants. Ces dernières ont permis une réelle amélioration de l'intérêt des enfants et de leur autonomie. En effet, les auteurs ont constaté que les personnages du didacticiel étaient trop éloignés du monde des enfants, alors que dans les contes, les enfants peuvent plus facilement se reconnaître avec l'envie de s'identifier à des personnages victimes ou bourreaux (Peter Pan). Pourtant, nous voyons bien dans cette expérience, que la profondeur de la conception du scénario était assez faible.

Les chercheurs ont testé et comparé leur logiciel avec celui d' « Adibou » qui est un logiciel qui n'est pas adapté pour des enfants déficients cognitifs. Ils ont constaté qu'avec leur logiciel ces enfants étaient plus autonomes, la navigation était plus facile, les exercices étaient plus souvent réussis, car ils comprenaient mieux la consigne, et le maintien de l'attention était meilleur. Les enfants se sentent utiles, plus impliqués dans la réussite des exercices.

2.1.3.3 L'évaluation

Le dernier argument pédagogique qu'induit l'utilisation de ce type d'outil informatique est la capacité évaluative mise en avant notamment par la thèse de Riopel (2005). En effet, Riopel a montré qu'il était possible, en combinant la simulation assistée par ordinateur et l'expérimentation assistée par ordinateur, de dresser un journal de bord d'une séance pédagogique couplant ces deux outils qui traduit, action après action, les changements et transferts didactiques opérés dans l'apprentissage de chacun des apprenants. Le résultat est impressionnant et les perspectives d'évolutions sont multiples malgré la complexité qu'ils engendrent. Dans le cas du jeu sérieux, ce type d'évaluation paraît être possible (Sanchez et al., 2011).

2.1.4. Synthèse

Le jeu sérieux peut donc apporter trois intérêts pédagogiques évidents : la pédagogie active, la pédagogie différenciée et l'évaluation. Reste le simple fait qu'un jeu sérieux nécessite un scénario pédagogique qui implique toutes les

théories pédagogiques existantes comme base de construction (apprentissage par problème, par erreur, didactique du curriculum et apprentissage par compétences, behaviorisme, constructivisme et socioconstructivisme, parmi tant d'autres). Autant de théories déjà existantes qui ne demandent qu'à être pensées comme ingrédient supplémentaire possible dans une alchimie de développement de jeu sérieux.

La question reste de savoir quel est l'effet de l'intégration de ces théories sur l'utilisation d'un jeu sérieux. Peut-on juger d'une différenciation pédagogique, d'une intensité différente d'activité, d'une meilleure évaluation ? Quel est l'effet de l'intégration d'un modèle pédagogique sur l'utilisation du jeu vidéo ?

2.2 Scénario pédagogique : intégration d'un modèle didactique

Ayant déjà défini le concept de jeu sérieux dans la problématique et dans la partie précédente, nous souhaitons désormais nous appliquer à définir ce que signifie un scénario pédagogique, dans une situation d'apprentissage réelle puis dans un contexte de jeu sérieux.

« Tricot évoque notamment la nécessité d'établir un "scénario pédagogique" et "un scénario d'utilisation" pour concevoir une application informatique dédiée à "un objectif pédagogique".» (Alvarez 2007, p.14).

À l'école ou en formation, nous mettons en avant cette définition générale pour comprendre ce que définit un scénario pédagogique :

« Le scénario pédagogique est vu comme « le résultat du processus de conception d'une activité d'apprentissage », processus s'inscrivant dans un temps donné et aboutissant à la mise en œuvre du scénario. Dans un scénario, on trouve donc des objectifs, une planification des activités d'apprentissage, un horaire, une description des tâches des étudiants, des modalités d'évaluation qui sont définis, agencés et organisés au cours d'un processus de design. » (Daele et al., 2002, cité par Villiot Leclercq, 2007, p.511).

En premier lieu, ce qui nous intéresse c'est l'utilisation du mot conception. Il y a donc bien derrière ce concept, un processus de fabrication réfléchi, organisé, référencé, de la même manière qu'un concepteur de jeu vidéo construit des mécaniques de jeu et des dynamiques. L'idée d'activité d'apprentissage nous intéresse aussi dans le sens où elle réfère à ce que nous définirions comme le résultat produit de mécanique et de dynamique comme un état d'apprentissage. L'idée est de concevoir pour mettre en activité d'apprentissage les apprenants. Et c'est la mise en œuvre d'un scénario qui permet ce processus de création. Le reste de la définition ne sont que des outils ou des ingrédients à la fabrication du scénario, ceux là même que nous pourrions utiliser dans un jeu sérieux et qui feraient alors peut-être sa force didactique. On pourrait alors parler d'ingénierie didactique (ARTIGUE, 1988). Et c'est d'ailleurs peut être le fait que ce scénario soit programmable, préparé, desservi informatiquement dans un jeu sérieux qui peut possiblement en faire sa force d'exécution à la fois inébranlable, individuelle, différenciée et contextualisée.

« Tricot précise que ce "scénario pédagogique" ne doit pas être posé en parallèle du jeu. Ces deux composantes doivent être mises toutes deux en cohérence. Ainsi selon Zyda : « Une équipe de production doit travailler de façon rapprochée avec l'équipe de conception pour veiller à bien intégrer l'aspect pédagogique. » Ainsi selon Tricot. « il faut que les deux niveaux soient parfaitement cohérents l'un avec l'autre. » (Alvarez, 2007, p.13)

Le scénario pédagogique dans un jeu sérieux serait donc le résultat d'une association pertinente de modèles de conception vidéo ludiques et pédagogiques. Nous nous proposons, dans cette partie, de comprendre comment intégrer un modèle didactique dans un jeu vidéo et former ainsi le scénario pédagogique du jeu.

2.2.1 Modèle de conception de jeux vidéo

2.2.1.1 Mise au point sur la signification d'un scénario

« Pour les praticiens appartenant à une discipline ou à une communauté de pratique, il désigne la description écrite, structurée et partageable de ce qu'un enseignant prévoit de faire ou a fait. Pour le monde scientifique, notamment dans le domaine de l'informatique appliquée à l'éducation, le concept de scénario est vu comme « un ensemble ordonné d'activités, régies par des acteurs qui utilisent et produisent des ressources » (Paquette, 2005) ; il peut être formalisé afin de permettre son opérationnalisation sur une plate-forme. » (Villiot Leclercq, 2007, p.508)

Selon cette citation, quand on parle de scénario, on ne parle pas forcément de narration ou d'histoire. C'est selon nous d'ailleurs la clef du succès d'un jeu vidéo. Il y a plusieurs types de scénarios dont voici les deux principales formes dans le jeu vidéo classique (Demarle, 2006) :

« High level story » : c'est l'histoire proposée par le jeu vidéo. Le scénario devient alors très important pour amener le joueur à continuer son expérience. Ces jeux sont souvent très linéaires et correspondent la plupart du temps à un seul chemin à parcourir. Le joueur modèle est donc facile à imaginer et à contrôler. Mais on ne peut parler alors de pédagogie différenciée.

« Immediat level story » : c'est l'expérience du joueur à l'intérieur du jeu vidéo qui écrit l'histoire vécue. Dans ce type de scénario, les game designers créent ce qu'ils appellent un « sand box » ou bac à sable, avec assez d'outils pour permettre au joueur de se raconter son histoire. Le joueur modèle n'existe, dans ce cas extrême, presque plus. On s'approche alors d'une pédagogie très différenciée mais difficile à maîtriser. Cependant il ne faut pas confondre ce type de scénario avec une situation de simulation. Dans ce bac à sable, le *game designer* décide toujours de ce qu'il met comme outil et de quelle manière il laisse le joueur les utiliser. Ainsi il maîtrise le scénario d'apprentissage de ces outils et donc le défi proposé. Reste que les outils proposés peuvent être résultants d'une pure

imagination. Auquel cas ils ne s'apparentent pas à la réalité, à des objets scientifiques.

C'est toute la finesse que doit avoir un *game designer* dans le développement d'un jeu sérieux. Entre narration linéaire et bac à sable interactif, il faut trouver le juste milieu pour à la fois visualiser et maîtriser le profil de l'« élève-joueur » modèle et laisser chacun se raconter leur propre histoire, atout considérable pour la pédagogie différenciée.

Simplifier l'idée de scénario par le concept de narration ou d'histoire, c'est donc simplifier de manière extrême la conception d'un jeu. Ceci n'exclut pas la valeur d'une bonne histoire mais pour notre recherche nous approfondirons l'idée de scénario pour mettre l'apprenant dans un état, un état d'apprentissage de préférence. A la manière du cinéma, il y a d'un côté l'histoire racontable par tous, et de l'autre les moyens cinématographiques utilisés pour mettre le spectateur dans un état, pour lui faire ressentir une émotion. Les plans, le montage, les lumières, les silences, la durée, les indices, sont autant de moyens qui mis ensemble forment un scénario.

De la même manière nous pensons que le jeu sérieux peut contenir une histoire aussi excellente soit elle, mais elle doit avant tout contenir un scénario qui favorisera la mise en état de l'apprenant. Mais quels sont ces moyens vidéo-ludiques, caractérisés par l'interactivité, qui peuvent mettre le joueur dans un état d'apprentissage ?

Une revue de quelques théories de conception de jeu devrait mettre en lumière quelques moyens qui pourraient être pertinents pour insérer « des objectifs, une planification des activités d'apprentissage, un horaire, une description des tâches des étudiants, des modalités d'évaluation » (VILLIOT LECLERCQ, 2007), dans un scénario pédagogique d'un jeu sérieux.

2.2.1.2 Cercle heuristique de la jouabilité

Ce modèle provient d'une recherche effectuée par Bernard Perron, professeur en histoire de l'art à l'Université de Montréal, spécialisé dans la relation entre cinéma et jeu vidéo. Dans le cadre d'un article de recherche, Perron (2006) a construit ce cercle de la jouabilité (Figure 5) qui permet d'amorcer l'idée du MDA expliqué dans la partie suivante. Nous appréhendons ici l'idée de mécanique de jeu dans la conception d'un scénario pédagogique interactif.

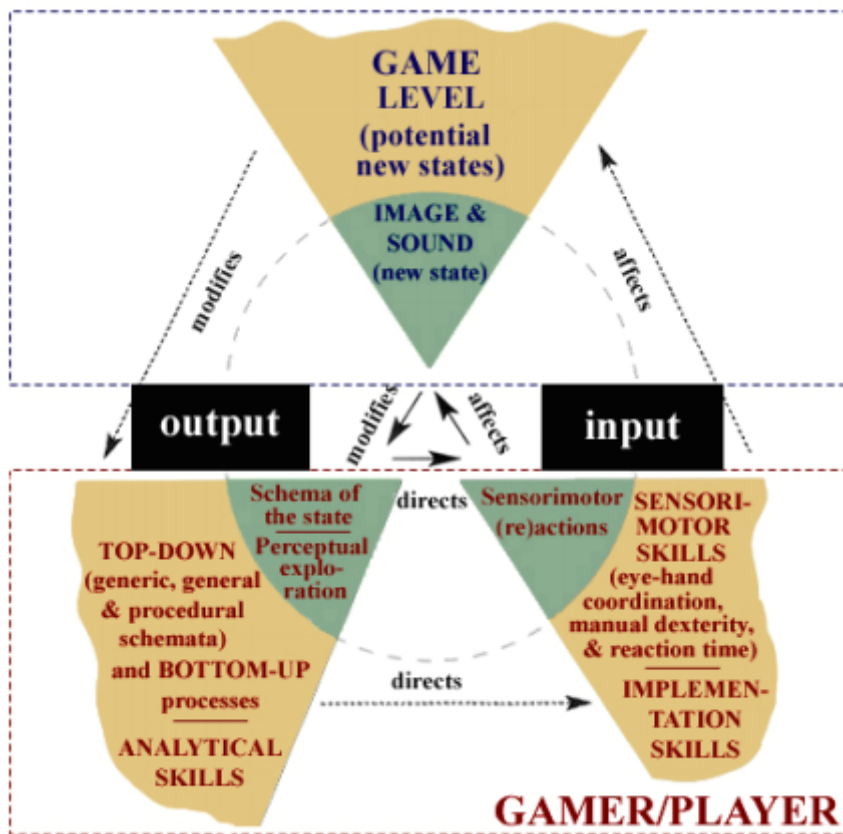


Figure 5 Le cercle heuristique de la jouabilité (Perron, 2006)

Dans la partie du haut de la Figure 5, se trouve l'écran de jeu : ce que le joueur voit et entend. Dans la partie du bas, c'est le joueur lui-même. Bernard Perron veut expliquer par ce schéma que l'écran propose un certain nombre d'éléments que le joueur commence par analyser de manière générique, puis générale et enfin procédurale. Le joueur est d'ailleurs capable de faire cette analyse dans l'autre sens. Cette analyse lui permet de décider directement de quelle manière il va utiliser ses compétences sensori-moteur pour renvoyer une information au jeu

(réflexe, dextérité manuelle, coordination yeux-mains,...). Le jeu va alors afficher cette «entrée» du joueur en affectant le programme informatique du jeu. Une mécanique de jeu doit donc passer par ces phases pour faire d'elle une boucle logique de découverte.

On voit ici la profondeur d'une activité d'analyse, proche du « simuli-réponse », propre à l'interactivité mise en jeu dans un jeu vidéo.

Aux concepteurs alors de s'assurer que ce cercle heuristique réponde à la fois au critère de l'activité interactive et desserve, en même temps, habilement l'ingénierie didactique de l'intégration d'un modèle. La section suivante devrait nous permettre de mieux comprendre une telle intégration.

2.2.1.3 « *Mecanic, dynamic, aesthetic* »

« Le MDA est une approche formelle à la compréhension des jeux qui tente de réunir le design, le développement, la critique et la recherche technique sur les jeux. Nous croyons que cette méthodologie rendra plus claire et plus forte le processus itératif des développeurs, académiciens, et chercheurs du domaine, facilitant ainsi la décomposition et l'étude de plusieurs classes de design de jeux et d'artéfacts.(...) L'idée fondamentale de ce modèle est que le jeu est davantage un artefact qu'un média. C'est-à-dire que le contenu d'un jeu se trouve dans son comportement et non dans le média qui est transmis au joueur. »
(Hunicke et al., 2004, p.1)

Ce modèle est un des plus connus dans la conception de jeu vidéo car il traduit de manière extrêmement simple et pertinente le travail d'un designer de jeu et l'expérience que vivra le joueur. Un jeu est, selon ce modèle inspiré de multiples théories du jeu, un ensemble de règles qui forment un système qui procure le «fun» (aesthetics) attendu par le joueur. Le «fun» étant la première partie qui attirera le joueur pour le faire jouer dans un système régi par des règles.

Ce qui devient donc très intéressant, c'est que le designer de jeu commence lui par définir des mécaniques correspondant aux règles. Ces mécaniques peuvent,

selon nous, être éducatives si tant est qu'elles correspondent aux objectifs pédagogiques visés. Si l'objectif visé est la compréhension des différentes phases de la lune, la mécanique se doit donc de jouer avec le placement du soleil, de la terre et de la lune. Ces mécaniques de jeu provoquent alors une dynamique pédagogique pouvant s'apparenter à une théorie pédagogique correspondant aux types de mécaniques choisis. Les mécaniques impulsant des dynamiques amèneraient selon le modèle du MDA à une esthétique caractérisée par une perception, une émotion. Nous pensons qu'elles mettraient le joueur, dans un contexte de jeu sérieux, dans un état d'apprentissage qui n'exclut pas une perception ludique ou émotion quelle qu'elle soit. Astolfi (2008) disait à ce sujet que l'apprentissage a perdu de sa saveur alors qu'il pourrait provoquer de fortes émotions positives. Une telle association pourrait peut-être redonner de la «saveur aux savoirs» et la didactique pourrait alors aider dans ce processus de conception.

La Figure 6 permet de comprendre le modèle MDA comme une manière de concevoir un scénario pédagogique interactif. Réfléchir une conception sur les mécaniques de jeu, puis les dynamiques, amène naturellement à une « aesthetic » que nous traduirons par l'expérience utilisateur.

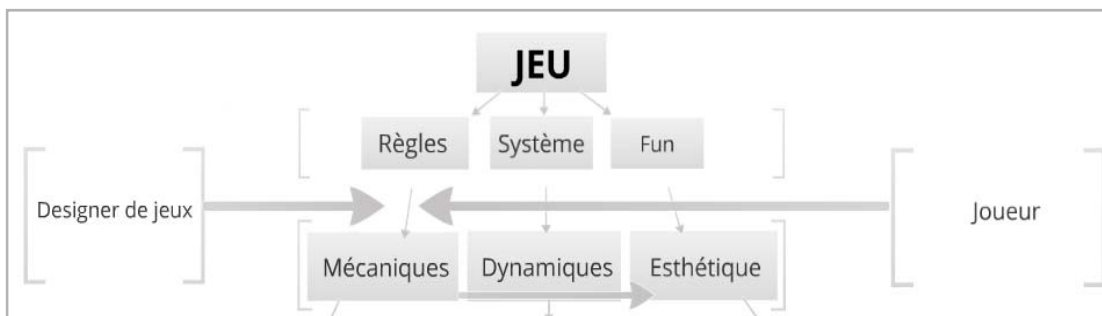


Figure 6 Traduction schématique libre du modèle MDA de HUNICKE & al. (2004)

Nous décrypterons dans la section 2.3 l'intérêt de ce modèle en l'apposant au jeu que nous avons choisi pour cette étude, Mecanika. Ce travail révélera d'autant plus le potentiel de ce modèle pour favoriser l'intégration de modèle pédagogique dans un jeu sérieux.

2.2.2 Un modèle didactique, le changement conceptuel.

Dans la perspective du jeu qui nous a été offert d'étudier, nous nous préparons à mettre à l'épreuve un scénario pédagogique basé sur la théorie des conceptions initiales et le changement conceptuel. Il convient donc de s'attarder sur certains éléments de ce modèle didactique en s'inspirant du travail de recherche de Bêty (Bêty, 2010), qui a tenté d'établir un pont théorique entre les principaux modèles de changement conceptuel.

Vers le début des années 1980, quelques chercheurs ont constaté que les élèves arrivaient 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.

En éducation lorsque l'enseignement travaille sur ces conceptions initiales, on parle de changement conceptuel. Nous allons voir brièvement les principales caractéristiques de cinq modèles reconnus favorisant le changement conceptuel.

2.2.2.1 Le modèle de Posner

En partant de l'idée que l'apprentissage est « une activité rationnelle » (Bêty, 2010), le modèle fait référence au jugement conscient de l'élève lors de l'apprentissage. On parle alors de « remplacement » ou « d'accommodation » des conceptions initiales.

L'intérêt de ce modèle très populaire est l'affirmation de quatre conditions qui favoriseraient l'écologie conceptuelle d'un cours :

- l'insatisfaction : anomalies en évidence ;
- l'intelligibilité : utilisation d'un vocabulaire juste, d'analogies, de métaphores ;
 - la plausibilité : consistance avec les engagements épistémologiques et les autres connaissances ;
 - la fécondité : emploi de la nouvelle condition.

Posner *et al.* (1982) insistent sur l'importance de « proposer des situations et des problèmes qui soulignent des anomalies pour favoriser la condition de l'insatisfaction quant aux anciennes conceptions » (Bêty, 2010, p.6). En ajoutant l'utilisation de l'analogie ou de la métaphore, on voit apparaître ici, une excellente justification de l'intégration d'un tel modèle dans un jeu vidéo. Nous allons d'ailleurs voir dans le jeu que nous étudions dans cette recherche que cette situation peut être facilement mise en place dans un jeu sérieux.

2.2.2.2 Le modèle de Vosniadou

En parlant de changement conceptuel en sciences, Vosniadou (1994) avance l'idée de physique « naïve » organisée sous trois entités :

- théories cadres de la physique (présuppositions ontologiques et épistémologiques)
 - théories spécifiques à chaque domaine (croyances et interprétations des observations)
 - modèles mentaux

En utilisant le terme de représentation comme synonyme de modèle mental, le changement conceptuel est selon lui « une révision qui s'opère au niveau des théories cadres et spécifiques » (Bêty, 2010, p.7).

Vosniadou s'accorde aussi à donner du matériel à manipuler aux élèves pour qu'ils « expriment leurs modèles mentaux ».

2.2.2.3. Le modèle de Giordan

Plus connue en Europe et dans la francophonie, la « transformation des conceptions de Giordan se produit à la fois par la déconstruction et la construction des conceptions existantes ». (Bêty, 2010, p.9). Giordan (1994) nomme son modèle « le modèle allostérique ». Le questionnement occupe une place fondamentale dans la construction du savoir, et il insiste sur l'importance de prendre en compte les paramètres favorables (actions, états, attitudes) à la transformation des conceptions, pour faire émerger le conflit cognitif.

Il apparaît, selon ce modèle, important de « revenir plusieurs fois sur un même contenu et de l'aborder sous différents angles » (Bêty, 2010, p.9). Autre élément pertinent pour notre recherche, Giordan explique l'importance de l'existence d'« aides à penser », qui peuvent se trouver, pour l'enseignant, sous la forme d'outils, de méthodes ou de stratégies. Un jeu sérieux pourrait être défini comme une « aide à penser » selon Giordan.

La motivation, la confiance en soi, le droit à l'erreur, l'imagination, le sens du savoir, le conflit cognitif sont autant de valeurs chères au modèle allostérique de Giordan. Autant d'éléments à implanter de manière pertinente dans un jeu vidéo.

2.2.2.4 Le modèle de diSessa

Le modèle de diSessa montre que plusieurs croyances (conceptions initiales) 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.

Fait intéressant, diSessa est « contre le conflit cognitif » (Bêty, 2010, p.8).

2.2.2.5 Le modèle d'Hestenes

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.

« 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. » (Boucher Genesse, 2012, p.28).

2.2.2.6 Convergence des différents modèles.

Selon l'analyse de Bêty (2010), tous ces modèles indiquent d'abord que l'élève est « actif et au centre de l'apprentissage ». Cela nous ramène aux forces du jeu vidéo déjà évoquées précédemment.

« Ce constat rejoint le constructivisme didactique, selon lequel l'élève construit son savoir à partir d'une investigation du réel de façon individuelle et collective. » (Bêty, 2010, p.10)

Bety souligne aussi que le changement conceptuel demande du temps, qu'il est relativement graduel pour les quatre modèles, ce qui correspond bien encore une

fois à l'utilisation d'un jeu vidéo. Répéter une action, en la diversifiant au fur et à mesure des niveaux, est une des mécaniques les plus courantes dans le jeu vidéo.

Selon Posner, diSessa et Giordan, il est préférable de revoir plusieurs fois le même concept. Tous les auteurs mentionnent la résolution de problème. L'analogie, la schématisation, la modélisation semblent être un outil favorisé par les différents modèles. Enfin les quatre critères (intelligibilité, insatisfaction, plausibilité et fécondité) de l'écologie conceptuelle de Posner semblent trouver écho dans les différents modèles. Autant de convergences à retrouver dans le jeu de notre étude pour juger de la pertinence de notre outil pour le changement conceptuel dans le scénario pédagogique de celui-ci.

2.2.3. Théories pédagogiques et théories de conception de jeu vidéo, l'alchimie du jeu sérieux

Nous l'aurons donc compris, dans cette deuxième partie, le scénario pédagogique d'un jeu sérieux est un concept basé sur deux paradigmes : les théories pédagogiques et les théories de conception de jeu vidéo. Nous n'avons vu ici qu'une infime partie de ce que ces deux mondes proposent comme piste de conception et il semble que certaines associations soient évidentes tout comme d'autres beaucoup plus complexes mais possiblement très pertinentes.

Le travail est là. La conception doit naître à cet endroit. L'alchimie entre ces deux mondes doit avoir lieu dans le scénario pédagogique. C'est dans cet élément du jeu sérieux que se produit l'alliage entre jeu vidéo et éducation, potentiel synonyme de succès pédagogique selon nous.

C'est donc de cette manière que se définit un scénario pédagogique dans un jeu sérieux :

Un scénario pédagogique dans un jeu sérieux, est l'alchimie entre plusieurs éléments issus à la fois des théories en éducation et en conception de jeu vidéo, permettant alors de mettre l'élève-joueur dans un état ludo-éducatif. Cette alchimie peut s'avérer remarquable comme inutile auquel cas l'objectif pédagogique ne sera pas atteint.

Cette définition affinerait, selon nous, la définition de Alvarez et rendrait compte ainsi de la complexité du concept. Le processus de développement d'un jeu sérieux devrait donc réunir des pédagogues ainsi que des designers de jeu dans un modèle de développement de type design participatif (Charlier & Henri, 2007) pour s'assurer en permanence du résultat de cette alchimie. La dernière phrase de notre définition devra être éprouvée dans notre recherche, et elle constituera le cœur de notre deuxième question spécifique : Quel est l'effet sur les conceptions des joueurs d'une alchimie entre le modèle MDA et le modèle du changement conceptuel ?

2.3 Un exemple d'intégration, Mecanika.

Nous pensons justement que le jeu, que nous allons utiliser dans notre méthodologie, a réussi à trouver cette fameuse alchimie et c'est de la recherche/développement dont il est issu que certaines réponses à nos questions pourraient être trouvées.

2.3.1 Présentation du jeu sérieux Mecanika

Mecanika est un jeu vidéo éducatif qui permet aux élèves de secondaire 5 et du CEGEP de développer des connaissances intuitives relatives aux concepts de la cinématique et de la dynamique en physique.

« Pendant le jeu, il n'y a pas d'équation à apprendre ni de tableau théorique à lire. Les joueurs doivent diriger des robots afin de détruire une machine déviante dont les circuits sont déréglés. Leurs actions reproduisent des effets d'impulsions, d'accélération et de gravités, notions associées à la physique mécanique. » (Riopel, 2011)

Le jeu est disponible gratuitement à l'adresse <http://www.mecanika.ca>.



Figure 7 Ecran d'accueil du jeu Mecanika

2.3.2 Le scénario pédagogique de Mecanika

Le jeu consiste à diriger des petits robots, en utilisant les principes de la cinématique et de la dynamique en mécanique, sur un chemin d'étoiles judicieusement placées. Le jeu est une série de tableaux, d'une difficulté croissante, séparées en cinq, correspondant à différents principes mécaniques :

- SÉRIE A : Lois de Newton, concepts d'équilibre et de résultante de plusieurs forces.
- SÉRIE B : Concepts de mouvement rectiligne uniforme (première loi de Newton), forces impulsives (deuxième loi de Newton), concepts d'équilibre et de résultante de plusieurs forces.
- SÉRIE C : Approfondissement des concepts déjà abordés (lois de Newton, concepts d'équilibre et de résultante de plusieurs forces), concepts du mouvement rectiligne uniformément accéléré et du mouvement des projectiles, concept de force centripète.
- SÉRIE D : Retour sur les concepts présentés dans les trois premières séries (lois de Newton, concepts d'équilibre et de résultante de plusieurs

forces, concepts de mouvement rectiligne uniforme et de mouvement rectiligne uniformément accéléré, de même que le concept de force centripète et du mouvement des projectiles), introduction aux concepts de force gravitationnelle et d'accélération gravitationnelle.

- SÉRIE E : Retour sur l'ensemble des concepts liés à la dynamique (lois de Newton, concepts d'équilibre et de résultante de plusieurs forces, concepts de force centripète, de force gravitationnelle, d'accélération gravitationnelle), intégration du concept de force de frottement.

Boucher Genesse est un ancien employé de Bungie, studio de développement de la série «Halo» acclamée par la critique et le grand public. En récho à notre définition de scénario pédagogique dans un jeu sérieux, il a proposé - comme alchimie - de traduire les travaux à la réputation internationale d'un groupe de recherche connu sous le nom de Force Concept Inventory(FCI) (voir la section méthodologie) (Hestenes et al., 1992) dans un jeu à la *World of Goo*, voir *Angry Birds*.

La qualité du travail par rapport à la définition que nous avançons plus tôt, est d'avoir mis au service des travaux de recherches sur le FCI ses propres compétences et connaissances dans le jeu vidéo.

En reprenant les éléments de conception définis dans la section précédente, nous expliquons par l'intermédiaire de la Figure 8 la conception de Mecanika. En décryptant ainsi les différents éléments du jeu, on peut voir apparaître une alchimie entre le modèle MDA et les critères du changement conceptuel.

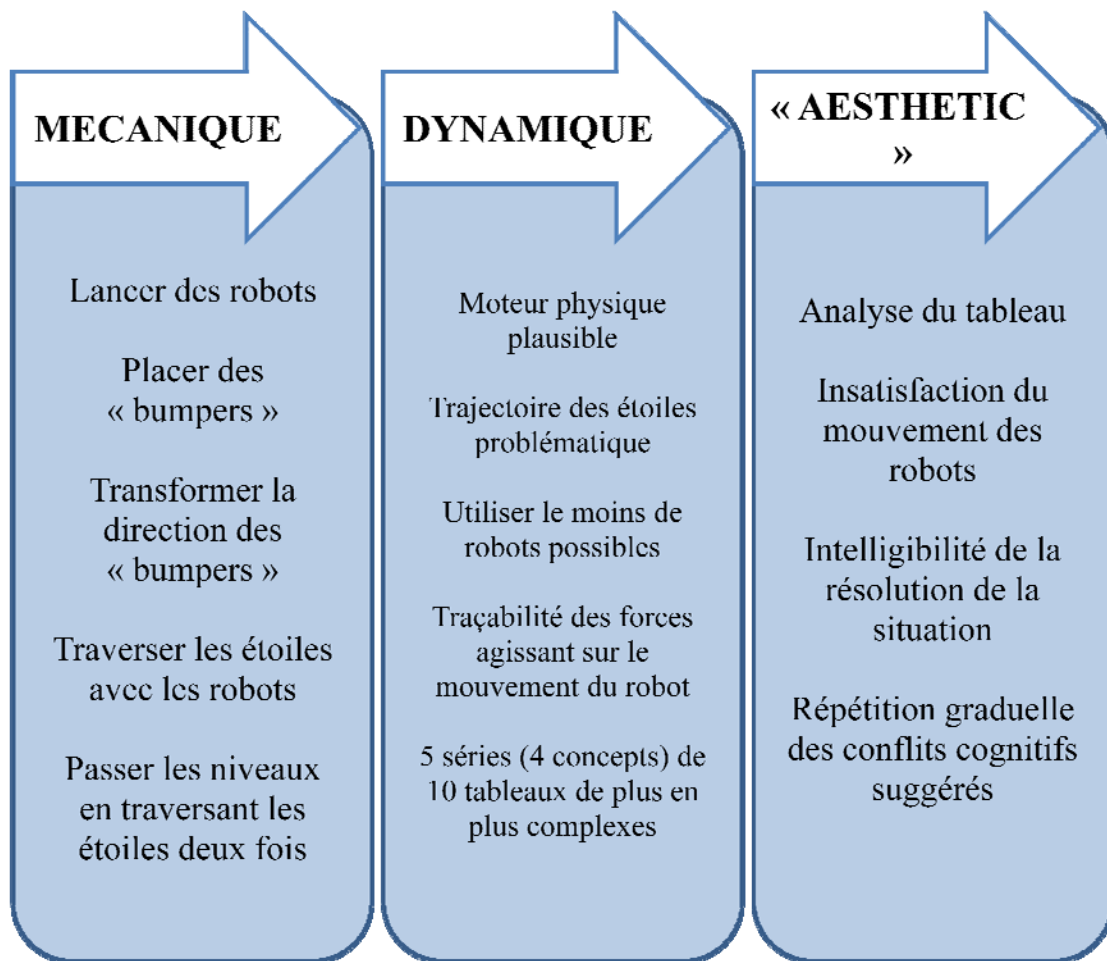


Figure 8 Le modèle MDA de Mecanika

On comprend notamment la manière dont s'expriment les modèles de changement conceptuel vus précédemment par le jeu. Nous soulignerons particulièrement l'importance du « level design » qui offre des trajectoires dessinées par le placement des étoiles et du décor. Il est, selon nous, l'élément clé de cette alchimie. En retirant les étoiles, il semble que le jeu perd la clé de voute de son scénario pédagogique. L'insatisfaction n'étant plus évidente, l'analyse du tableau peu pertinente, l'intelligibilité difficile à percevoir, et les conflits cognitifs graduels inexistants, Mecanika perdrait toutes les caractéristiques de l'écologie conceptuelle recherchée.

Nous nous proposons dans la partie suivante de rendre encore plus évidente l'alchimie entre le jeu et le changement conceptuel par l'analyse d'un tableau du jeu.

2.3.3 Analyse du scénario d'un tableau du jeu

Pour mettre en évidence de manière plus claire, l'alchimie du jeu Mecanika, nous nous proposons dans cette partie d'analyser un tableau du jeu pour comprendre les mécanismes de conception pédagogiques utilisés par Boucher Genesse. Nous comprendrons ainsi que les étoiles de la version originale sont l'élément de jeu principal permettant l'intégration du modèle de changement conceptuel, et plus particulièrement l'idée de conflit cognitif.

Prenons l'exemple du niveau B1, soit le premier niveau de la série B, illustré à la Figure 9. 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.

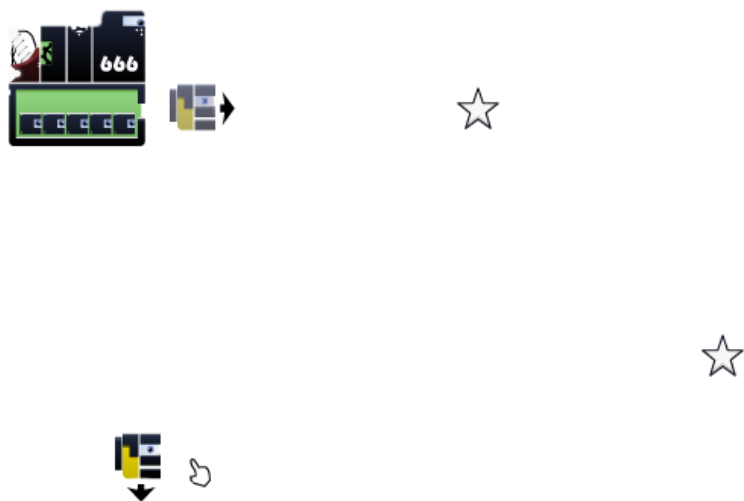


Figure 9 Le niveau B1 de Mecanika, sans les décors

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 l'impulsion provoquera un changement de trajectoire perpendiculaire vers le bas à la trajectoire initiale. Le résultat illustré à la Figure 10 le surprendra.



Figure 10 Le premier essai d'un élève qui raisonne selon une conception initiale

Le travail d'intégration du modèle de changement conceptuel, pour jouer sur les conceptions initiales, se trouve donc dans la mise en scène d'un conflit cognitif par un placement judicieux d'étoiles à traverser. Obliger le joueur à reproduire une trajectoire problématique pour faire ressurgir une conception initiale, mise en évidence par l'inventaire des conceptions de forces (FCI), est la principale idée du jeu de Mecanika.

La conception initiale précédente (la dernière force à agir impose la trajectoire) est identifiée dans la taxonomie de Hestenes et al. (1992). Mecanika est conçu pour explorer un nombre maximum de conceptions initiales retrouvées dans cet inventaire de conceptions. Le jeu se base donc sur les erreurs fréquentes des élèves, au lieu de se concentrer seulement sur les « bonnes » conceptions newtoniennes, et tente alors de déclencher un conflit cognitif significatif propre à quatre des modèles que nous avons identifiés. On retrouve dans cette idée de

conception, la caractéristique propre au modèle de Posner (1982), le fait de créer une situation d'insatisfaction.

Nous pouvons retrouver, à l'Annexe 2, la liste des niveaux associés à sa conception initiale du FCI selon la conception de Boucher Genesse. Nous pensons que cette liste est solide tant elle se réfère au travail de plusieurs recherches sur le FCI. Cependant la mise en scène des étoiles est propre aux décisions du concepteur. Il serait donc possible que la mise en scène des étoiles choisie n'influence pas la conception initiale prévue. Pourtant, cette méthodologie de développement d'intégration du modèle de changement conceptuel nous paraît être solide.

De plus, tous les niveaux de la série B de Mecanika ont comme objectif de mettre en échec entre autres cette conception initiale. Cette répétition graduelle de mise en scène de conflits cognitifs différents tout au long de la série B nous intéresse aussi. Elle réfère à une autre caractéristique convergente de nos modèles de changement conceptuel. Cette répétition aura pour effet aussi de limiter les erreurs de conception du concepteur et lui permettre ainsi de mieux maîtriser l'effet prévu sur le changement de cette conception initiale de l'élève. Celui qui raisonne selon celle-ci 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.

L'élève arrivera éventuellement, en tâtonnant, à la solution qui consiste à placer la deuxième impulsion directement sur la première étoile, telle qu'illustrée à la Figure 11 et à accepter ainsi de changer sa conception initiale.

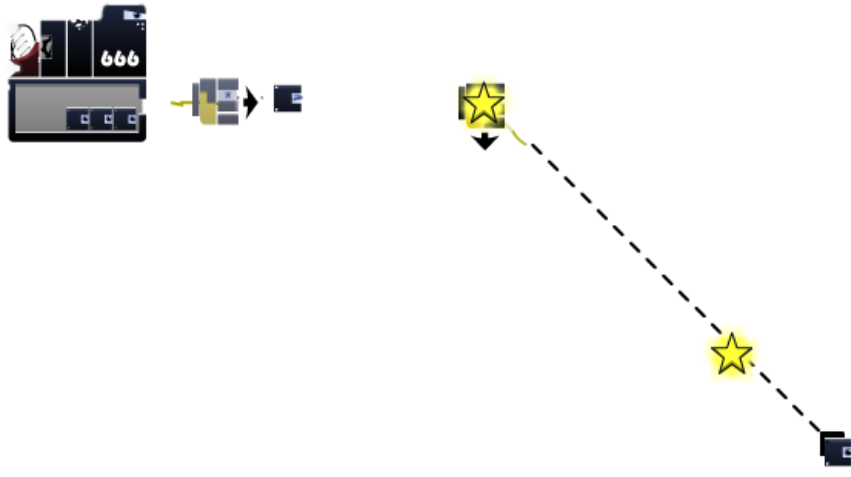


Figure 11 La solution au niveau B1

Nous comprenons d'autant mieux, par cet exemple, la différence entre une simulation et un jeu sérieux. Là où une SAO se contenterait de reproduire un environnement fidèle à la réalité, composé d'outils d'interaction pour expérimenter des situations non prévues par le logiciel, le jeu sérieux se charge de mettre en place un scénario pédagogique intégré. Ici le scénario se traduit par une mise en scène d'étoiles, générant une trajectoire idéale à reproduire, judicieusement choisie pour provoquer une série graduelle de conflits cognitifs. Cette mise en scène intègre de manière solide plusieurs caractéristiques du changement conceptuel.

Sans s'attarder sur les autres éléments du jeu pouvant parfois être aussi pertinents dans l'intégration du changement conceptuel, nous comprenons ainsi l'importance des étoiles dans le scénario pédagogique de Mecanika. C'est la raison pour laquelle ces étoiles seront l'élément principal de notre méthodologie.

Enfin, l'exemple précédent comportait seulement des éléments d'accélération et d'impulsion. Le jeu est constitué, en fait, 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 Mecanika, 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 ceux-ci.

2.3.4 Présentation des résultats de la maîtrise «Mecanika»

Les résultats de cette maîtrise sont éloquentes et encourageants. Fort d'une méthodologie scientifique pertinente comme illustrée dans la Figure 12, Mecanika démontre un véritable potentiel d'apprentissage synonyme d'une alchimie réussie entre éducation et jeu video.

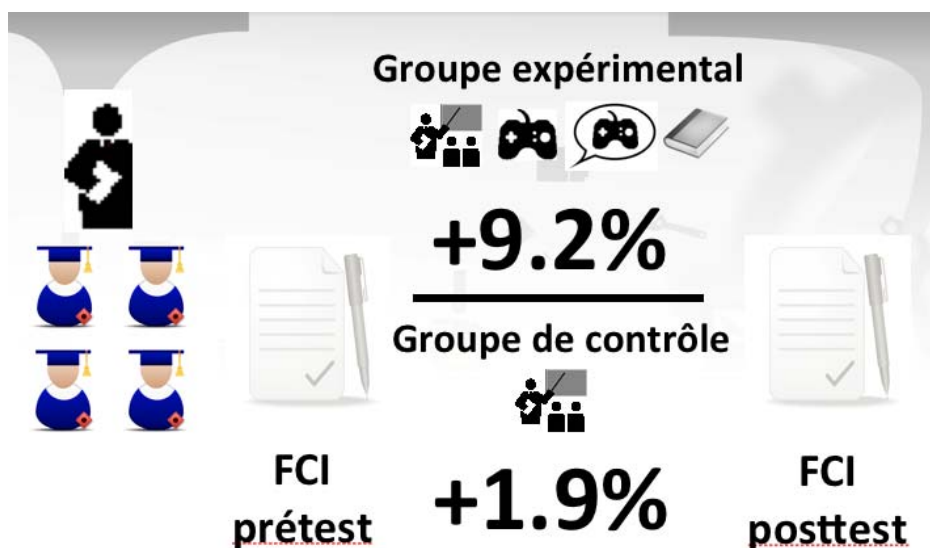


Figure 12 Résultats de méthodologie effectuée sur le Jeu Mecanika (Boucher Genesse, 2013)

Le groupe expérimental qui a été soumis au jeu, à un cours traditionnel, à des discussions sur le jeu, et renforcé par des guides pédagogiques obtient un gain de 9,2% en moyenne au post test effectué avec le FCI. Le groupe témoin au même moment ne suivant que le cours traditionnel classique enregistre un gain au FCI de 1,3%. La différence de gain entre les groupes est significative et met en avant l'effet du jeu sur les conceptions initiales des élèves. Le scénario pédagogique de

Mecanika pourrait être une des raisons de cet effet positif. C'est ce que confirme Boucher Genesse dans ses conclusions en affirmant l'effet positif de son jeu sur son échantillon, sous-entendant implicitement la pertinence de l'approche pédagogique de scénario de son jeu.

D'ailleurs, il pousse sa méthodologie plus loin pour identifier l'effet réel du jeu, sans les guides, sans les discussions, en proposant au groupe témoin de jouer comme bon leur semble au jeu chez eux et de repasser le test du FCI quelque temps plus tard. Leur gain au FCI atteint 7,3% alors que le premier groupe expérimental, qui suit désormais seulement le cours traditionnel, n'enregistre aucun gain supplémentaire. Le défi et l'alchimie semblent bien réussis.

Il nous semble donc pertinent d'utiliser Mecanika et ces premiers résultats de recherche. Nous pensons pouvoir ainsi isoler de manière pertinente le scénario pédagogique de Mecanika en supprimant les étoiles du jeu.

2.4 Synthèse et présentation des questions spécifiques

Dans ce deuxième chapitre consacré au cadre conceptuel de notre mémoire, nous avons d'abord tenté de définir une différence entre SAO et jeux sérieux. Elle semble se faire par l'implémentation d'un scénario pédagogique. Celui-ci se caractérise par la rencontre de modèles de conceptions du jeu vidéo et de l'éducation, pour maîtriser l'expérience de jeu et mettre le joueur dans un état d'apprentissage pertinent.

A ce jour nous pensons que cette alchimie peut s'avérer décevante comme exceptionnelle, et c'est pour cette raison que nous souhaitons dans cette recherche comprendre les raisons d'un tel écart de résultat. Nous voudrions donc mettre à l'épreuve le scénario d'un jeu sérieux qui a fait ses preuves, Mecanika, pour savoir si le scénario et l'alchimie réalisée sont les raisons de son succès.

En se basant sur le test standardisé du FCI (voir section 3.3.1) et avec l'autorisation de son concepteur de transformer Mecanika, nous pensons que nous pourrions retirer facilement l'élément principal de son scénario (les étoiles) dans le

groupe expérimental et retrouver une expérience plus proche de la SAO. Ainsi nous pourrions mettre en évidence la valeur de la différence ajoutée par le jeu sérieux, son scénario. Pour cette recherche, nous évaluerons l'effet de l'intégration vidéo ludique du modèle didactique du changement conceptuel.

Nous pourrions ainsi répondre à notre question générale de recherche, et aux trois questions spécifiques que nous vous présentons suite à l'élaboration de notre cadre théorique.

Quel est l'effet sur l'apprentissage de l'intégration d'un modèle pédagogique dans le scénario d'un jeu vidéo ?

Qs1 : Quel est l'effet de l'intégration du changement conceptuel sur l'appropriation des élèves du jeu vidéo Mecanika ?

Qs2 : Quel est l'effet sur l'évolution des conceptions des élèves, tel que mesuré par le test du FCI, d'une version orientée simulation par rapport à la version originale du jeu sérieux Mecanika ?

Qs3 : Est-ce que l'analyse des résultats par questions du FCI ou par tableaux de Mecanika permet de confirmer les intentions de scénarisation pédagogique du concepteur ?

METHODOLOGIE

Notre méthodologie se situe dans le prolongement de la maîtrise de François Boucher Genesse qui a étudié l'impact sur l'apprentissage tel que mesuré par le FCI de différentes utilisations du jeu sérieux « Mecanika ». Par l'intermédiaire de son cadre conceptuel, Boucher Genesse a montré un gain significatif important, ce qui est un résultat très intéressant pour la recherche autour du jeu sérieux.

Notre méthodologie reprend donc les principes de sa propre méthodologie. Nous prendrons comme référence les résultats de sa recherche pour l'établissement de notre groupe témoin. En outre, François Boucher Genesse a gracieusement accepté de transformer certaines propriétés de son jeu pour permettre de répondre à notre question de recherche qui s'intéresse plus particulièrement à l'effet du scénario pédagogique à l'intérieur du jeu.

3.1. Type de recherche

Cette recherche s'appuie sur des données recueillies auprès d'un bon nombre 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 du fait que c'est l'institution qui a formé les groupes et l'enseignant qui a choisi volontairement de participer à l'étude.

3.2. Description des sources de données

3.2.1. Population

Puisque la physique mécanique est enseignée au Québec en cinquième année du 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'étaient pas un critère pour le recrutement. Les individus doivent parler le français ou l'anglais, puisqu'ils doivent être à même de comprendre le jeu Mecanika, qui n'est disponible que dans ces deux langues.

3.2.2 Échantillonnage

Les enseignants ont été recrutés en fonction de leur intérêt pour le projet, au lieu d'être choisis 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 11 classes. Le nombre de sujets initiaux s'est donc élevé à 328 élèves (N=328). Ces chiffres ont diminué durant l'expérimentation pour s'établir finalement à 143 élèves (N=143) à cause de l'abandon du groupe expérimental d'un des professeurs en cours de recherche.

3.3. Instruments de recherche

3.3.1. Le test

Le questionnaire intitulé 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. 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 donné à tort (faux négatif) est estimée à moins de 10%, alors que la possibilité d'une bonne réponse à un item donné à tort (faux positif) est un peu plus haute, considérant qu'un choix au hasard donne 20%.

3.3.2. Cueillette de données

Pour des raisons éthiques et 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. Au cas où l'enseignant serait dans l'impossibilité de faire passer ce test en ligne, il pourra avoir recours à une version papier.

La version en ligne du test (Annexe 3) est identique à la version papier – il s'agit d'un formulaire en version PDF qui reprend 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 leur nom puisque les chercheurs n'ont pas à déchiffrer de versions papiers parfois illisibles.

3.3.3. 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.

$$h = \frac{\%post - \%pré}{100 - \%pré}$$

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.

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 (1995) 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.

3.4. Devis de recherche

3.4.1. Déroulement

L'expérience s'est étalée sur une période d'un minimum de 8 semaines, période qui varie en fonction de la vitesse à laquelle les enseignants enseignent les concepts couverts dans *Mecanika*. Elle a commencé en janvier 2012, soit au début de l'enseignement de la physique mécanique dans la plupart des écoles secondaires.

La Figure 13 illustre le devis de recherche utilisé. Les enseignants participant à l'expérience ont attribué à chacune de leur classe un nom de groupe (groupe *Mecanika* « classique » et groupe *Mecanika* « sans les étoiles »). Les deux groupes ont utilisé chacun une seule version de *Mecanika*. Ce devis d'expérimentation est adapté pour répondre à notre question de recherche puisque la version sans les étoiles, est une version sans scénario pédagogique comme expliqué dans la partie suivante.

Les pré-tests et post-tests ont servi à mesurer la valeur de l'apprentissage pour ces élèves qui auront joué à une des deux versions du jeu. Ces phases de tests ont été faites au cours des périodes de classe dans un laboratoire informatique si cela était possible.

3.4.2 Justification de l'expérimentation

Dans un souci de clarification de la méthodologie, cette partie explique le rapprochement entre les questions retenues dans la section 2.4. et les outils quantitatifs mis en place pour comparer les deux groupes de l'expérimentation.

3.4.2.1 Question générale

Quel est l'effet sur l'apprentissage de l'intégration d'un modèle pédagogique dans le scénario d'un jeu vidéo ?

Pour mesurer la force du modèle pédagogique de Mecanika qui s'apparente à l'intégration des caractéristiques du modèle de changement conceptuel, nous voulons créer deux types de Mecanika. La version « classique » sera chargée de défendre les mérites du jeu sérieux et de ce qui, selon nous, fait sa force, l'intégration d'un scénario pédagogique. Dans le groupe expérimental, la version de Mecanika dite « sans les étoiles » se chargera de défendre l'idée d'un jeu sans scénario pédagogique puisque nous lui retirons l'élément principal de celui-ci, les étoiles. Dans un souci de justesse de notre travail de recherche, nous avons modifié cette version pour qu'elle se rapproche de ce qu'une SAO peut proposer. Ainsi nous pensons pouvoir juger de l'effet de la suppression du modèle pédagogique de Mecanika, le changement conceptuel.

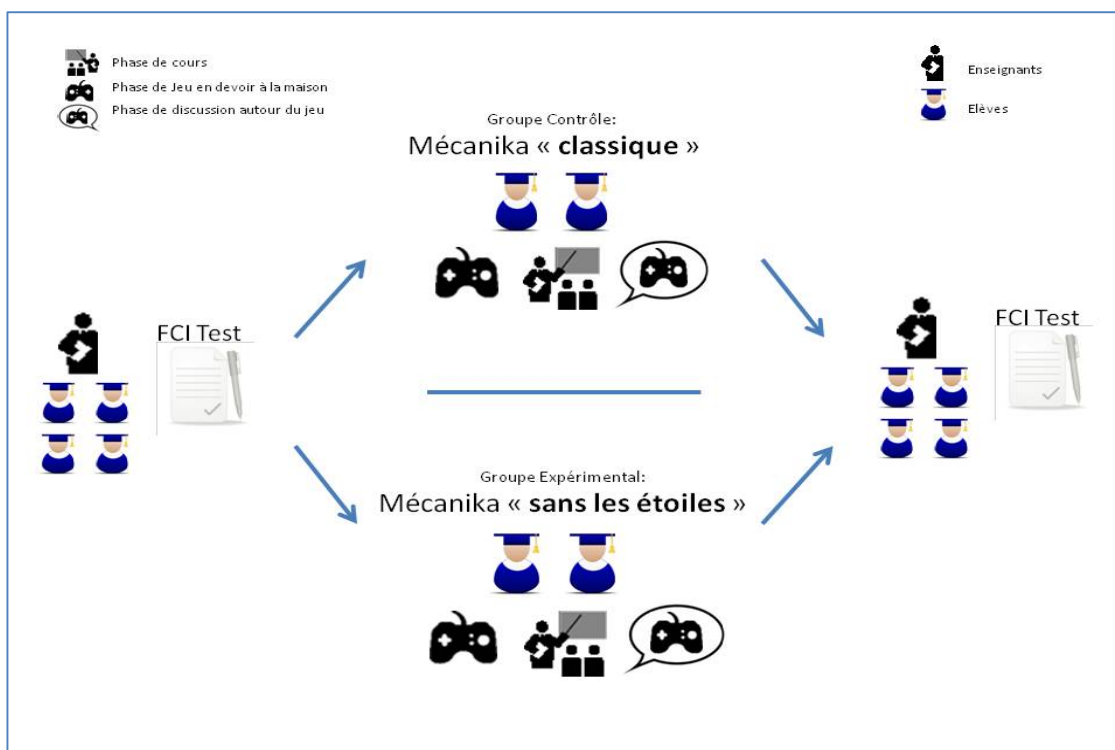


Figure 13 Représentation graphique générale de l'expérimentation

3.4.2.1.1 Groupe Témoin : Mecanika « classique »

Ce groupe est témoin du fait des résultats de la maîtrise de François Boucher Genesse. L'effet de Mecanika sur l'apprentissage mesuré au test du FCI pourra être confirmé avec nos données. Comme le propose Boucher Genesse dans son mémoire, nous retenons que ce sont les résultats des recherches menées sur le FCI qui ont conduit à la construction du scénario pédagogique de Mecanika. Et nous proposons de mettre à l'épreuve l'idée que c'est ce travail qui est l'une des forces de ce jeu sérieux.

Comme nous l'avons vu dans le cadre conceptuel, les éléments des tableaux proposés par Mecanika « classique » vont imposer le scénario que l'auteur du jeu sérieux veut faire vivre au joueur modèle (le nombre de robots disponibles, la position des plateformes, le vide, les différents « genres » des robots, et surtout la position des étoiles). C'est la compréhension de ces éléments du scénario à suivre

qui va amener au succès du jeu. C'est la force selon nous du scénario pédagogique de Mecanika.

3.4.2.1.2. Groupe Expérimental : Mecanika « sans les étoiles »

Nous avons donc tenté dans cette version de supprimer l'élément principal de la réflexion sur le scénario pédagogique de Mecanika : les étoiles. Cependant, pour ne pas faire de cette version un « gâteau au chocolat sans chocolat », nous avons décidé de nous approcher dans cette version d'une simulation assistée par ordinateur. En effet sans les étoiles, le jeu propose tous les outils de simulation de la gravité, de la vitesse, de l'accélération, de la masse,... L'élève peut donc à la manière d'une SAO manipuler tous ces outils pour faire de son expérience une exploration scientifique. Pour donner du sens à cette version et pour pousser l'idée d'exploration scientifique, nous avons implanté, dans chaque tableau du jeu, une consigne demandant d'expérimenter le même objectif pédagogique que pour chaque tableau du Mecanika classique (Annexe1).

Ex : « Expérimente l'effet du vent-o-matic sur les éclaireurs ».

L'élève se retrouvera donc dans les mêmes tableaux que Mecanika « classique » mais, sans les étoiles, dans une perspective d'exploration scientifique (équivalent à une SAO), en retirant un des éléments identifiés caractéristiques des modèles de changement conceptuel, le conflit cognitif.

Quelques autres changements d'ordre pratique ont dû être opérés pour s'assurer de la pertinence de cette version.

En résumé, voici les modifications, par rapport au Mecanika classique, de cette version :

- suppression des étoiles ;
- tous les robots sont réveillés ;
- modification de tous les dialogues qui font référence aux étoiles ;
- suppression des médailles mais implantation d'une célébration de fin de niveau (« Au suivant ! »).

- ajout d'une limite de temps (invisible) par niveau correspondant à la moitié du temps moyen passé par niveau dans le Mecanika original.
 - Affichage d'un bouton « Suivant » après ce temps ;
 - Ajout d'un nombre minimum d'interactions avant d'afficher le bouton.

3.4.2.2 Questions spécifiques

3.4.2.2.1. Présentation des variables

Nous établissons ici la liste des variables obtenues grâce à cette méthodologie. Nous présenterons par la suite les analyses pertinentes entre ces variables pour répondre aux questions spécifiques.

- % de bonnes réponses obtenues au pré-test ;
- % de bonnes réponses obtenues au post-test ;
- gain en % entre les deux tests ;
- gain en % par question du FCI ;
- temps passé sur le jeu ;
- temps passé sur chaque tableau ;
- nombre d'interactions sur le jeu au complet ;
- nombre d'interactions par tableau ;
- résultat au questionnaire perceptuel du post-test (Annexe 4).

3.4.2.2.2. L'appropriation de Mecanika

Quel est l'effet de l'intégration du changement conceptuel sur l'appropriation des élèves du jeu vidéo Mecanika ?

Nous chercherons par cette question à analyser les différences d'utilisation entre les deux versions. Nous espérons ainsi rendre compte de caractéristiques de motivation, de pédagogie active et différenciée comme vu dans le cadre conceptuel.

Pour se faire nous procéderons à des analyses descriptives et inférentielles du temps passé, du nombre d'interactions ainsi que des réponses au questionnaire perceptuel précédant le post-test.

L'hypothèse posée pour cette question spécifique est donc que les élèves, utilisant la version sans scénario pédagogique du jeu Mekanika, vont percevoir le jeu comme moins divertissant et moins utile que les élèves utilisant la version originale. Nous pensons aussi que la version expérimentale va réduire l'implication des apprenants par rapport à la version classique. Nous vérifierons cette hypothèse en analysant le nombre d'interactions et le temps passé sur la version expérimentale par rapport au groupe témoin.

3.4.2.2.3 L'évolution des conceptions

Quel est l'effet sur l'évolution des conceptions des élèves, tel que mesuré par le test du FCI, d'une version orientée simulation par rapport à la version originale du jeu sérieux Mekanika ?

Dans cette partie, nous tenterons de rendre compte de la pertinence du scénario pédagogique de Mekanika sur le gain obtenu entre les deux tests de notre recherche. Nous posons alors comme hypothèse que les élèves du groupe témoin, utilisant la version classique du jeu, vont obtenir un gain plus fort que les élèves du groupe expérimental, selon le test standardisé du FCI, ce qui rendra compte du travail effectué en partie par le jeu sur les conceptions initiales des élèves.

Pour se faire, nous procéderons à des analyses descriptives et inférentielles des résultats obtenus aux deux tests et du gain obtenu lors de cette expérience.

3.4.2.2.4 L'atteinte des intentions de scénarisation pédagogique

Est-ce que l'analyse des résultats par questions du FCI ou par tableaux de Mekanika permet de confirmer les intentions de scénarisation pédagogique du concepteur ?

Enfin, cette dernière question cherchera à rendre compte, par une analyse plus approfondie, d'une bonne intégration du modèle du changement conceptuel de Mecanika. En effet, comme le précise Boucher Genesse dans ses recherches (2013), son jeu ne traite que quinze questions du questionnaire du FCI. Il a en effet dressé un référentiel des questions exploitées par tableaux de jeu de Mecanika associées à la conception initiale correspondante. Ce référentiel est disponible en Annexe 2. Il nous permet ainsi d'associer une partie du jeu (un ou plusieurs tableaux) à une question spécifique du FCI. Cette association ne constitue malgré tout qu'une prédiction du concepteur au moment de la réalisation du scénario pédagogique du jeu. En analysant donc, par tableau ou par conception travaillés dans Mecanika, nous posons comme hypothèse que l'effet sur le gain sur les questions identifiées par le référentiel de Boucher Genesse sera positif. Nous pourrions ainsi rendre compte de la qualité d'un ou plusieurs tableaux et possiblement justifier la bonne intégration du modèle didactique lors de la conception du scénario pédagogique du jeu sérieux.

Pour se faire, nous procéderons à des analyses descriptives et inférentielles des résultats obtenus par questions sélectionnées et du gain obtenu entre les deux tests. Un rapprochement avec les résultats de la première question spécifique devrait permettre de tirer de meilleures conclusions quant à la maîtrise de l'objectif pédagogique par le concepteur.

Nous espérons aussi rendre compte, par cette question, de la difficulté de prévoir les résultats des joueurs suite à une session du jeu Mecanika. Nous avançons donc une autre hypothèse. La version originale et son scénario pédagogique justifié par le référentiel (Annexe 2), obligeant les joueurs à suivre une trajectoire idéale ou un comportement modèle, va permettre de mieux maîtriser l'effet positif prévu sur le gain, en le comparant à l'effet réel du jeu, au complet, et à la version expérimentale.

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) : ils en auront au moins une 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 soit 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 entre les deux groupes. L'effet du biais a été limité, en expliquant la situation aux enseignants, et en leur demandant de donner leur cours « traditionnel » le plus fidèlement possible, sans se laisser influencer par l'expérience.

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

Les enseignants ne sont pas choisis au hasard, mais bien sur la base de l'intérêt qu'ils manifestent pour 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 ont à la fois un groupe contrôle et un 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 deux fois : la répétition du même test pourrait potentiellement permettre aux élèves d'améliorer leur performance. Henderson (2002) explique qu'il n'y a pas de différence significative entre les résultats de ceux qui ont passé un pré-test du

FCl et ceux qui ne l'ont pas passé. Les élèves n'apprennent donc vraisemblablement rien du test, même s'ils le passent plusieurs fois.

Outil de mesure connu des enseignants : les enseignants ne doivent avoir connaissance du FCl 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 FCl est accessible sur Internet, bien que difficilement, il est demandé aux enseignants de ne pas pousser trop loin leur curiosité.

Enfin, la transformation d'un objet de recherche entraîne une extrême prudence sur la maîtrise des variables étudiées. Malgré le rapprochement réfléchi avec une SAO, la suppression d'un élément principal du jeu Mecanika, doit nous obliger à être extrêmement prudent sur les analyses quantitatives obtenues dans cette recherche.

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 FCl et à Mecanika sont disponibles pour les enseignants seulement, et ce, à la fin de l'expérience. Cependant, 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 Mecanika, 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 FCl ne sont pas utilisées sans le consentement des sujets. Pour les élèves qui ne participent pas au projet et qui ne compléteront pas les tests du FCl, des exercices sont proposés en classe par l'enseignant responsable du groupe.

RESULTATS

L'expérience s'est donc déroulée des mois de janvier à avril 2012 (12 semaines) avec deux professeurs dans deux écoles différentes de Montréal. Malheureusement, en cours d'expérimentation, un des professeurs s'est désengagé du groupe expérimental ne voulant utiliser que la version classique de Mecanika.

Nous ne pouvons donc analyser que les données du premier professeur, que nous comparerons avec le second qu'en cas de réelle pertinence scientifique. La taille de notre échantillon est donc de $N=142$.

La question principale de recherche porte sur l'effet de l'intégration d'un modèle pédagogique dans le scénario d'un jeu vidéo sur l'apprentissage. Cette question a été par la suite divisée en trois sous-questions de recherche. Les résultats et leur interprétation pour chaque sous-question formeront les sections principales de ce chapitre.

Quel est l'effet sur l'apprentissage de l'intégration d'un modèle pédagogique dans le scénario d'un jeu vidéo ?

4.1 Quel est l'effet de l'intégration du changement conceptuel sur l'appropriation des élèves du jeu vidéo Mecanika ?

4.1.1 Analyse du pré-questionnaire du post-test

Avant de répondre aux questions du FCI lors du post-test, les élèves étaient invités à répondre à un questionnaire d'appréciation de l'expérience (Annexe 4). Ce questionnaire nous permet à la fois de vérifier certains biais dus à l'utilisation de nouvelles technologies et d'entamer une approche plus qualitative de l'expérience centrée autour de la perception de l'expérience par les élèves. Ainsi, nous

pourrons avancer des résultats quant à la motivation des élèves et leur ressenti personnel sur leur utilisation du jeu.

Pour analyser les résultats du questionnaire perceptuel, nous opérons de manière systématique. Nous présentons d'abord brièvement une analyse graphique descriptive associée à un calcul du Khi-carré permettant de justifier ou non cette première analyse. Vient ensuite le calcul d'une ANOVA à deux facteurs cherchant à mettre en avant une relation entre le gain, variable dépendante, les réponses au questionnaire perceptuel et les groupes. Ce calcul cherche à mettre en avant de manière plus fine, les relations entre la perception des deux versions du jeu et l'effet qu'il pourrait avoir sur le gain au FCI.

4.1.1.1 La perception de l'utilité du jeu

Dans un premier temps donc, nous présentons de manière descriptive les résultats de la question « Le jeu a-t-il été utile pour votre apprentissage ? » par la Figure 14.

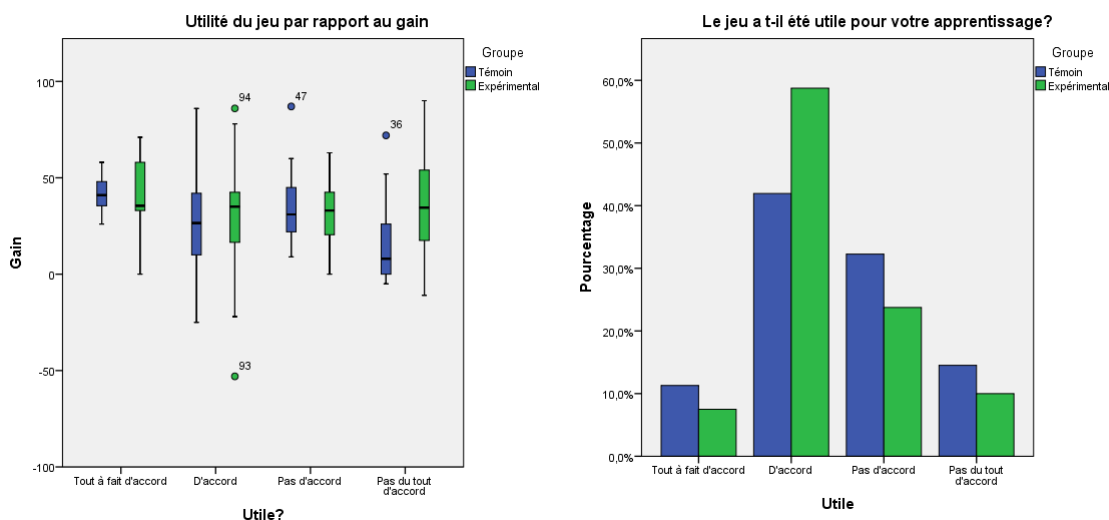


Figure 14 Analyse descriptive de la perception de l'utilité du jeu

Il semble dans ce graphique que les élèves du groupe expérimental aient trouvé l'expérience, dans l'ensemble, utile à leur apprentissage.

Un calcul du Khi-carré, pour vérifier l'hypothèse nulle que les deux groupes se distribuent de la même manière, nous indique que nous ne pouvons pas rejeter H0 ($p=0,26 > 0,05$). Nous devons donc en conclure que les deux groupes se répartissent de la même manière à cette question.

Au regard du deuxième graphique de la Figure 14, nous cherchons désormais à savoir s'il existe une relation entre la réponse donnée à la question sur l'utilité du jeu et le gain obtenu au FCI lors de cette expérience, en tenant compte des deux groupes. Nous réalisons pour cela une ANOVA à deux facteurs (Groupe et Utilité) par rapport à la variable dépendante Gain.

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: Gain

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	3419,551 ^a	7	488,507	,929	,487
Ordonnée à l'origine	95198,970	1	95198,970	180,963	,000
Groupe	318,200	1	318,200	,605	,438
Usefull	1873,761	3	624,587	1,187	,317
Groupe * Usefull	1306,670	3	435,557	,828	,481
Erreur	70493,273	134	526,069		
Total	210685,000	142			
Total corrigé	73912,824	141			

a. R deux = ,046 (R deux ajusté = -,004)

Tableau I Tests des effets inter-sujets (Gain Groupe/Utilité).

Les résultats des effets inter-sujets sont présentés dans le Tableau I. Le calcul de cette ANOVA à deux facteurs ne nous permet donc pas de démontrer une relation entre ces deux variables (Groupe/Utilité) par rapport au gain ($p=0,48 > 0,05$). La relation individuelle de ces variables avec le gain ne nous permet pas non plus d'affirmer une relation entre ces variables (Groupe/Gain et Utilité/Gain), dont les moyennes par variables sont exposées dans le Tableau II.

Tableau de bord

Gain par rapport à la perception de l'utilité entre les deux groupes

Groupe	Usefull	Moyenne	N	Ecart-type
Témoin	Tout à fait d'accord	41,71	7	10,812
	D'accord	27,42	26	24,642
	Pas d'accord	34,50	20	19,234
	Pas du tout d'accord	18,67	9	26,791
	Total	30,05	62	22,669
Expérimental	Tout à fait d'accord	38,83	6	24,359
	D'accord	30,00	47	24,426
	Pas d'accord	32,11	19	15,351
	Pas du tout d'accord	36,38	8	32,044
	Total	31,80	80	23,183
Total	Tout à fait d'accord	40,38	13	17,548
	D'accord	29,08	73	24,363
	Pas d'accord	33,33	39	17,265
	Pas du tout d'accord	27,00	17	29,852
	Total	31,04	142	22,896

Tableau II Tableau de bord ANOVA à deux facteurs (Gain Utilité/Groupe)

Pourtant, une valeur se démarque particulièrement entre les deux groupes. Parmi les apprenants qui perçoivent le jeu comme complètement inutile à leur apprentissage, la différence de gain est très importante. Cette différence porte à croire que la version classique regroupe, de manière plus croissante, les élèves en termes de gain par rapport à la perception croissante de l'utilité du jeu. Ce qui n'est pas le cas, à la lecture de ce tableau, pour la version expérimentale qui classe de manière moins évidente les apprenants par rapport à nos hypothèses.

La Figure 15 confirme nos précédents calculs de signification, malgré la différence visible sur les élèves qui n'ont pas du tout trouvé le jeu utile pour leur apprentissage. Ce manque de signification statistique est dû au nombre trop faible de sujets ayant donné cette réponse.

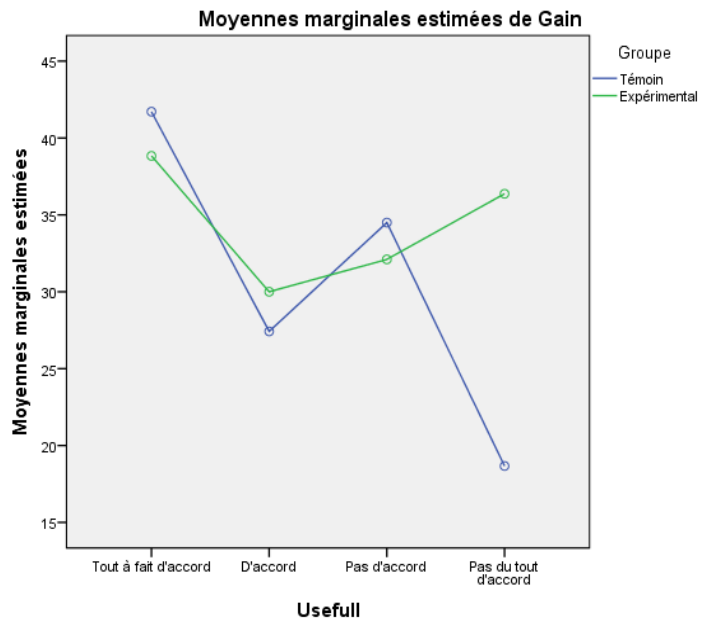


Figure 15 Représentation graphique de la relation entre utilité du jeu et gain obtenu

4.1.1.2 La perception divertissante du jeu

Dans la Figure 16, nous présentons de manière descriptive les résultats à la question sur la perception divertissante du jeu Mecanika. De la même manière que pour l'étude de la question précédente, nous procédons à un calcul du Khi-carré et d'une ANOVA à deux facteurs, pour vérifier les interprétations graphiques que nous pourrions supposer.

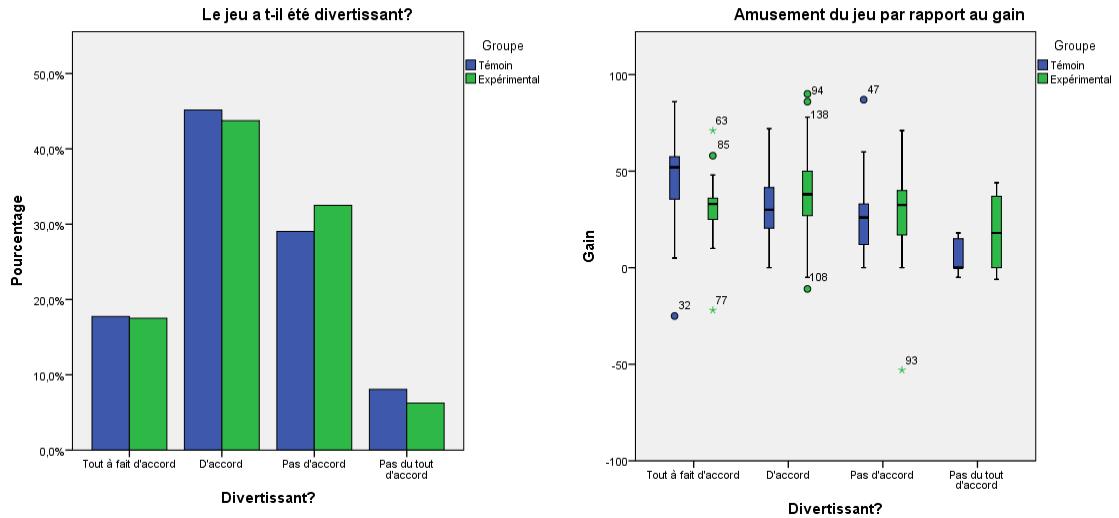


Figure 16 Analyse descriptive de la perception du divertissement du jeu

Le Khi-carré nous amène à conserver l'hypothèse nulle et conclure que la distribution entre les deux groupes, à cette nouvelle question, est similaire statistiquement ($p=0.96>0,05$). Les deux groupes ont donc trouvé leur expérience avec une des deux versions de Mecanika autant divertissante.

L'ANOVA à deux facteurs (Divertissement/Groupe), par rapport au gain obtenu au FCI lors de cette expérience, nous permet de révéler une valeur significative de relation entre la variable indépendante de la perception divertissante du jeu et la variable dépendante du gain ($p=0,02<0,05$) (Tableau III).

Variable dépendante: Gain

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	7177,812 ^a	7	1025,402	2,059	,052
Ordonnée à l'origine	68129,987	1	68129,987	136,801	,000
Groupe	72,181	1	72,181	,145	,704
Fun	5332,145	3	1777,382	3,569	,016
Groupe * Fun	1808,932	3	602,977	1,211	,308
Erreur	66735,012	134	498,022		
Total	210685,000	142			
Total corrigé	73912,824	141			

a. R deux = ,097 (R deux ajusté = ,050)

Tableau III Tests des effets inter-sujets (Gain Fun/Groupe)

Tableau de bord

Gain

Groupe	Fun	Moyenne	N	Ecart-type
Témoïn	Tout à fait d'accord	43,00	11	30,669
	D'accord	30,75	28	18,658
	Pas d'accord	27,83	18	20,563
	Pas du tout d'accord	5,60	5	10,213
	Total	30,05	62	22,669
Expérimental	Tout à fait d'accord	30,93	14	22,047
	D'accord	36,83	35	22,382
	Pas d'accord	28,04	26	24,525
	Pas du tout d'accord	18,60	5	21,995
	Total	31,80	80	23,183
Total	Tout à fait d'accord	36,24	25	26,317
	D'accord	34,13	63	20,871
	Pas d'accord	27,95	44	22,735
	Pas du tout d'accord	12,10	10	17,559
	Total	31,04	142	22,896

Tableau IV Tableau de bord ANOVA à deux facteurs (Gain Fun/Groupe)

La variable groupe mise à part, il semble en effet qu'au regard de la Figure 17 et du tableau IV, plus un élève a trouvé l'expérience du jeu divertissante plus il a

obtenu un meilleur gain. La différence semble particulièrement significative pour les élèves qui n'ont pas du tout trouvé l'expérience du jeu divertissante.

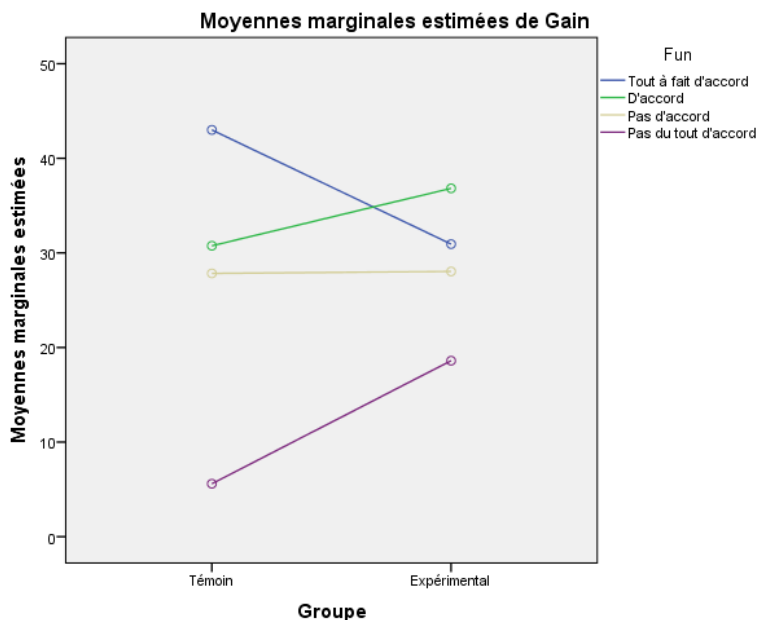


Figure 17 Représentation graphique de la relation entre le plaisir à jouer et le gain

Un test de Bonferroni nous confirme nos propos en affirmant une différence significative du gain obtenu au FCI entre les élèves qui ont répondu « Pas du tout d'accord » et ceux qui ont répondu « Tout à fait d'accord » ($p=0,03$) ou « D'accord » ($p=0,03$).

Cette différence nous permet de montrer l'importance du plaisir pris lors d'utilisation de ce type de jeu pour prévoir un gain plus ou moins élevé. Malheureusement, elle ne nous permet pas de tirer de conclusion par rapport aux deux versions de Mecanika.

4.1.1.3 Problèmes techniques et autres biais

Finalement, la question portant sur les problèmes techniques majeurs rencontrés ou pas pendant l'expérience est, tout comme les résultats de Boucher Genesse, surprenante puisque les réponses se répartissent de manière uniforme entre les groupes et entre les élèves qui ont eu des problèmes techniques, et les autres

(Figure 18). Aucune différence statistique significative n'a pu être mise en évidence. Mais c'est un biais qu'il conviendra de prendre en compte.

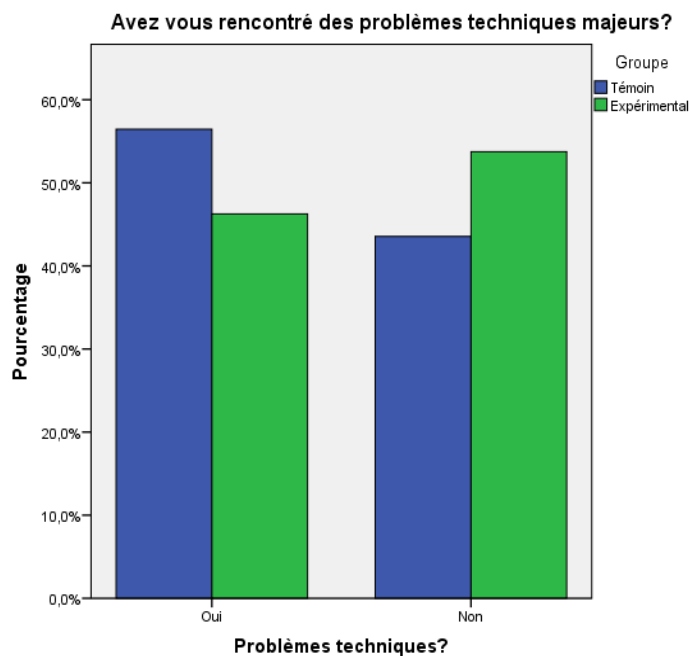


Figure 18 Analyse descriptive des problèmes techniques rencontrés

Pour terminer sur l'analyse de ce questionnaire, et pour s'assurer qu'un des biais de l'expérience a bien été limité, les résultats à la dernière question nous assurent qu'aucun des élèves de notre échantillon n'avait joué au jeu avant l'expérience sur le site de « Science en Jeu ».

4.1.2 Analyse du nombre d'interactions faites avec le jeu

Comme convenu dans notre méthodologie, la base de données de l'expérience était capable d'enregistrer le nombre de « robots » utilisés par tableau. Sachant qu'à chaque fois que le joueur clique sur le distributeur de robots, il en distribue cinq en moins de dix secondes. Nous pouvons considérer une interaction avec le jeu comme les nombres présentés dans la Figure 19, divisés par cinq. Ce calcul n'inclut pas le nombre de fois que l'utilisateur a interagi avec les « bumpers » ou les zones de vent. Ce nombre quand il est divisé par cinq correspond donc plus au nombre de fois que l'élève a décidé d'essayer la stratégie de placement qu'il vient

d'opérer pour réaliser l'objectif. Ce chiffre reste donc intéressant dans la mesure où il rend compte du nombre d'essais effectués.

La Figure 19 nous montre la moyenne cumulée du nombre de roches utilisées lors de l'expérience. Le groupe témoin semble avoir essayé plus de stratégies de placement des objets d'interaction. Cette différence est significative sur le nombre total moyen de roches utilisées par groupe ($N=143$, $p=0<0,05$, $\mu_{\text{Témoin}}=1014$, $\mu_{\text{Expérimental}}=660$, $t=-6$).

Ce premier constat est intéressant dans la différence d'utilisation du logiciel et finalement du nombre d'expérimentations qu'il a permis ou suscité. L'interprétation de ces résultats pourrait être intéressante, mais elle devra être discutée en tenant compte du biais de cette recherche, par rapport à la réalisation de la version de Mecanika « sans les étoiles ».

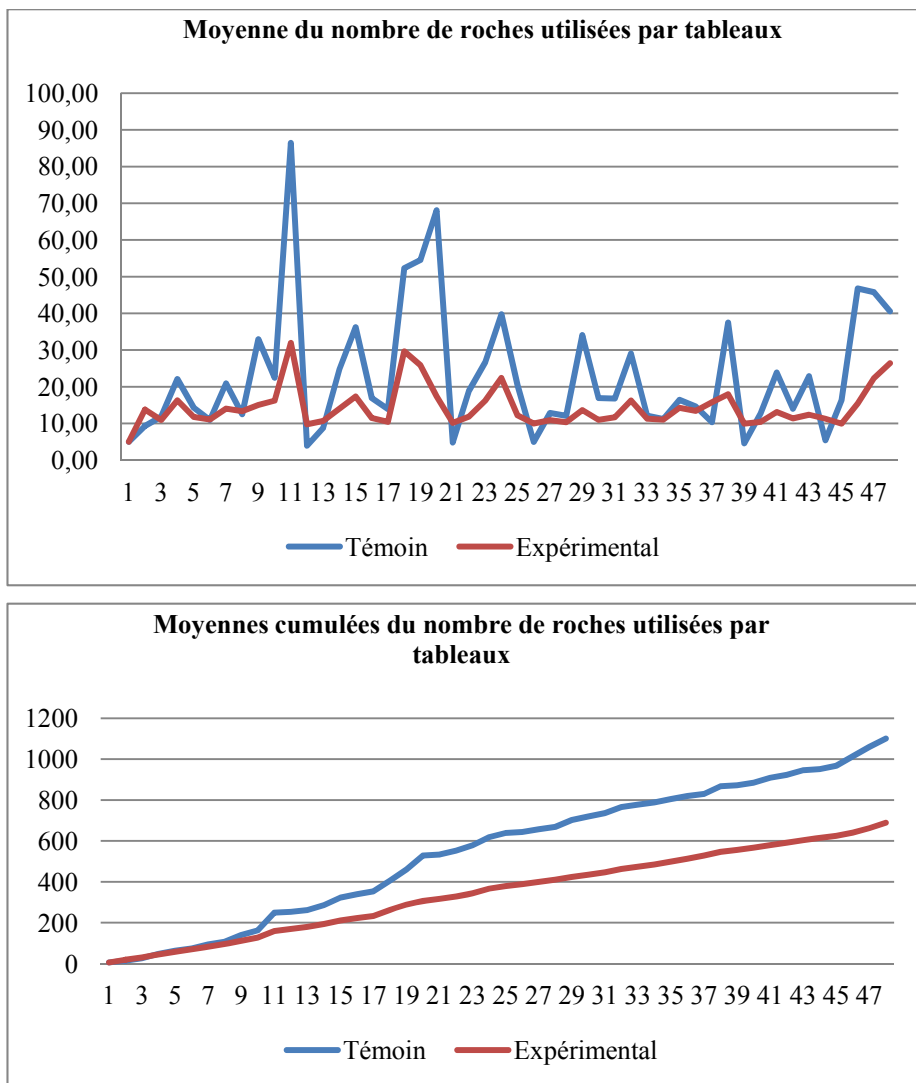


Figure 19 Représentation graphique du nombre d'interactions effectuées avec le jeu

4.1.3 Analyse du temps passé sur le jeu

De la même manière que la section précédente, la base de données de l'expérience nous a permis d'enregistrer le temps passé par tableau et par élève en seconde. La Figure 20 nous indique sur ce point qu'il ne semble pas y avoir de différence notable. Les deux groupes ont passé le même temps en moyenne sur les deux versions. La vérification statistique par test t d'échantillons indépendants nous confirme qu'il n'y a pas de différence dans le temps moyen passé au total entre les deux groupes ($N=143$, $p=0,62 > 0,05$, $\mu_{\text{Témoin}}=9178$, $\mu_{\text{Expérimental}}=8629$, $t=-0,5$).

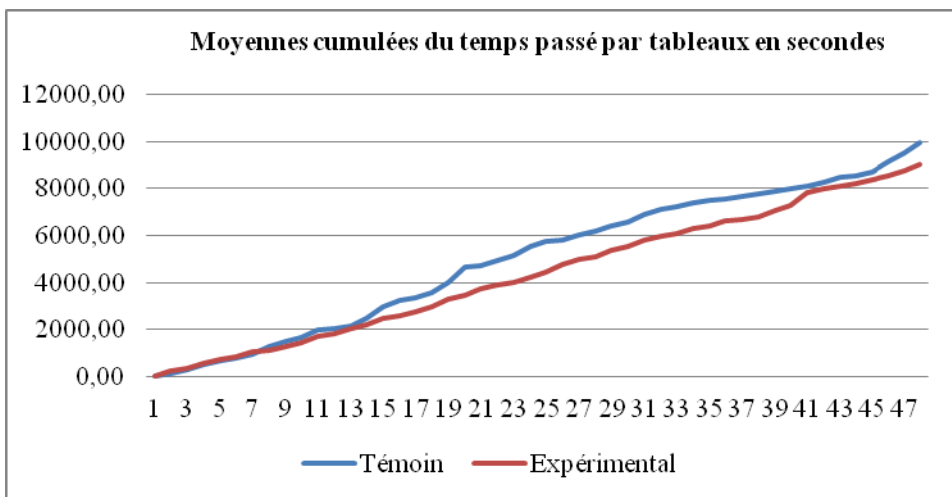
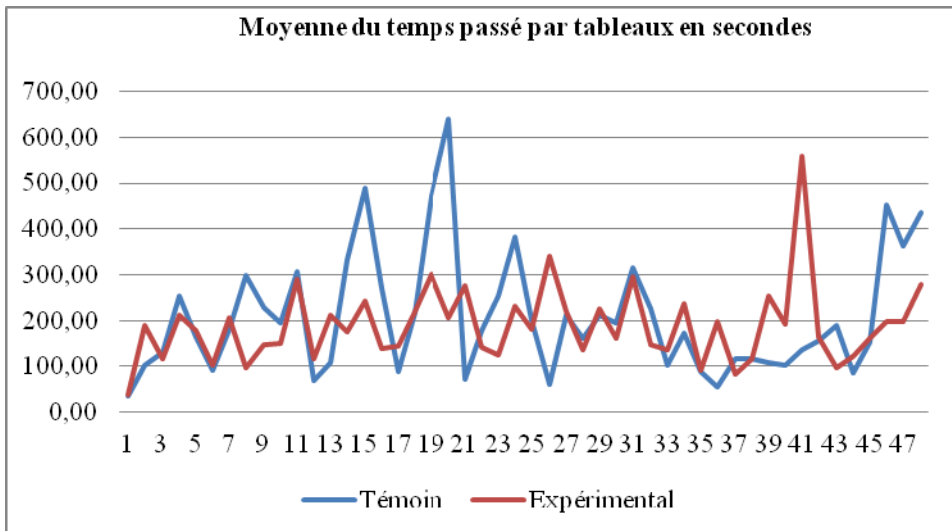


Figure 20 Représentation du temps passé sur le jeu

Ce résultat est intéressant s'il est mis en relation avec le constat de la section précédente. Les deux groupes ont passé le même temps sur le logiciel, mais le groupe témoin a plus interagi avec Mecanika. En le rapprochant avec le gain obtenu au FCI, nous pourrions interpréter davantage ces résultats et convenir si le fait de plus interagir avec le logiciel est un élément qui peut permettre de prévoir un certain gain au FCI.

4.1.4. Synthèse

Des résultats répondant à notre première question spécifique sur l'utilisation des versions de Mecanika, nous retiendrons les éléments suivants :

- Aucune relation significative entre l'utilité du jeu ressentie par les élèves et le gain obtenu au FCI et par rapport aux groupes.
- Relation significative entre le plaisir pris à jouer au jeu et le gain obtenu au FCI (Plaisir+ ->Gain+). Les deux versions de Mecanika n'ont aucun effet sur cette relation.
- Différence significative importante du nombre d'interactions effectuées avec le jeu en faveur du groupe témoin.

Aucune différence significative du temps passé à jouer entre les deux groupes.

4.2 Quel est l'effet sur l'évolution des conceptions des élèves, tel que mesuré par le test du FCI, d'une version orientée simulation par rapport à la version originale du jeu sérieux Mecanika ?

Nous résumons par ce tableau les différentes moyennes de nos deux groupes illustrant les résultats présentés dans cette partie.

Tableau de bord

Groupe		Pré-test	PostTest	Gain	PréMéca	PostMéca	GainMéca
Témoin	Moyenne	30,61	50,97	30,05	44,35	59,66	26,82
	N	62	62	62	62	62	62
	Ecart-type	10,094	17,166	22,669	17,283	17,844	28,690
Expérimental	Moyenne	34,74	54,89	31,65	51,27	65,35	23,41
	N	81	81	81	81	81	81
	Ecart-type	11,435	16,922	23,075	17,863	17,118	41,039
Total	Moyenne	32,95	53,19	30,96	48,27	62,88	24,89
	N	143	143	143	143	143	143
	Ecart-type	11,030	17,079	22,833	17,886	17,603	36,129

Tableau II Comparaison moyenne des deux groupes

4.2.1. Les notes du pré-test

La moyenne des élèves au pré-test pour tous les groupes confondus est de 33%. Ce bon résultat est remarquable pour des élèves de ce niveau. Il est plus élevé que la moyenne habituelle de 26% observée au secondaire (Hestenes, 2006). Cette différence est significative puisque $p < 0,05$. Elle sera donc prise en

considération dans l'interprétation des résultats. Cette différence se trouve corroborée par les résultats du deuxième professeur, qui a obtenu une moyenne de 24,5% pour toutes ses classes au pré-test.

Revenons au premier professeur. Le groupe expérimental qui a joué au jeu Mecanika « sans les étoiles », a eu une moyenne de 34.7% au pré-test (N=81), alors que le groupe de contrôle qui a joué au Mecanika « classique », a une moyenne de 30.6% (N=62). En outre, cette différence est significative ($p=0.026$). Nous prendrons donc en compte dans les analyses le fait que les élèves du groupe de contrôle aient un potentiel d'apprentissage plus important dû à leurs plus faibles notes. Nous normaliserons cette différence initiale au pré-test, par la mesure du gain. Cette correction par la formule du gain est expliquée à la section 3.3.3 de la méthodologie.

4.2.2 Comparaison des gains obtenus au FCI

L'analyse du gain du groupe expérimental comparée au groupe de contrôle permet de déterminer si la suppression du scénario pédagogique de Mecanika a un effet sur le changement conceptuel des joueurs. En d'autres mots, cette analyse sert à mesurer l'effet de la suppression des étoiles, principal élément de conception du scénario pédagogique de Mecanika, sur le gain obtenu au FCI.

L'hypothèse de recherche est directionnelle, c'est-à-dire qu'elle présume qu'il y aura un gain plus faible pour le groupe expérimental. On peut donc utiliser un niveau de confiance unilatéral de $p=0.05$.

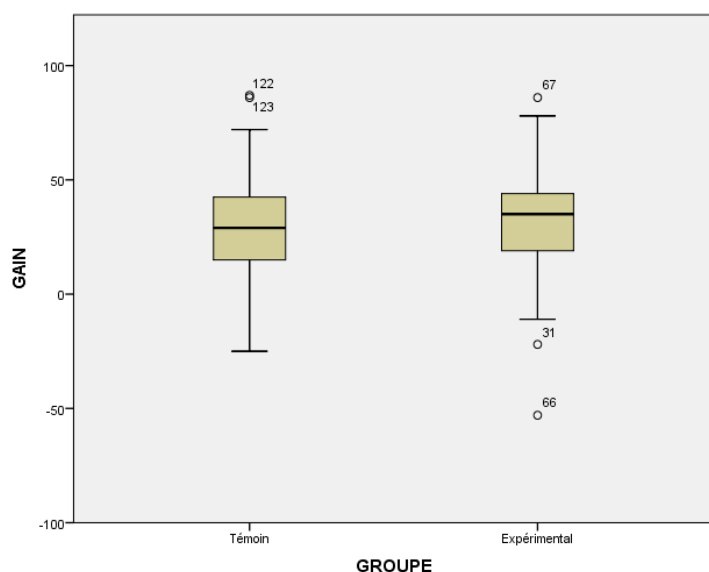


Figure 21 Représentation graphique du gain obtenu au FCI par groupe

La Figure 21 semble nous indiquer que le gain obtenu pour chaque groupe est sensiblement identique. Cependant, la dispersion, représentée par la longueur des moustache, dans le groupe expérimental serait plus faible.

En effet, le calcul du gain moyen du groupe expérimental ($h=0,316$, $N=81$, $t=-12,7$, $p=0$) nous montre qu'il est sensiblement identique à celui du groupe de contrôle ($h=0,3$, $N=62$, $t=-11,2$, $p=0$). De plus, un test t indépendant révèle que la différence entre le groupe expérimental et celui de contrôle, $h=0.016$, n'est pas significative ($t=-0,4$, $p=0,67$).

Les résultats observés permettent d'affirmer que la suppression des étoiles, dans le groupe expérimental, a un effet neutre sur les résultats obtenus au FCI par rapport au groupe de contrôle.

4.2.3. Comparaison des gains obtenus au FCI par rapport au niveau du pré-test

Pour ce faire, nous nous proposons de partager nos deux groupes en deux niveaux. Le premier nommé « Inférieur » regroupe les élèves ayant obtenu au pré-test un résultat inférieur ou égal à la moyenne générale de notre échantillon ($\mu=33$). Le second nommé « Supérieur » rassemble les autres élèves.

En partant du constat que le gain obtenu au FCI est à chaque fois significatif pour ces quatre nouveaux groupes, nous voudrions désormais voir si les deux versions du jeu obtiennent les mêmes résultats au gain obtenu, en effectuant des tests t sur échantillons indépendants. La variable indépendante étant le niveau au pré-test.

Pour les élèves du niveau inférieur, le test t ne nous permet pas d'affirmer une différence significative ($t=0,86$, $p=0,39>0,05$) entre les groupes témoin ($N=36$, $h=27,42$) et expérimental ($N=33$, $h=31,03$).

Pour les élèves du niveau supérieur, le test t ne nous permet pas non plus d'affirmer une différence significative ($t=-0,24$, $p=0,81>0,05$) entre les groupes témoin ($N=26$, $h=33,69$) et expérimental ($N=48$, $h=32,08$).

4.2.4. Comparaison des gains obtenus aux questions du FCI spécifiques à Mécanika par rapport aux résultats du pré-test

En introduction de la présentation des résultats de cette nouvelle question spécifique, Boucher Genesse affirme que son jeu devrait avoir un effet sur certaines questions du FCI (Annexe 2). Nous appellerons cette sélection de questions du FCI le gainMéca, que l'on pourrait associer à l'idée de gain prévu par la conception du jeu. Nous affinerons cette réflexion dans la section suivante.

Cependant en comparant désormais le gainMéca pour les deux niveaux au pré-test par groupe, nous obtenons malheureusement des résultats similaires. Malgré la prise en compte exclusive des questions censées être plus influencées par l'utilisation du jeu les tests t sur échantillons indépendants ne révèlent pas de différence significative entre les groupes.

Pour les élèves du niveau inférieur, le test t ne nous permet pas d'affirmer une différence significative ($t=-1,4$, $p=0,16>0,05$) entre les groupes témoin ($N=36$, $h=28,42$) et expérimental ($N=33$, $h=35,94$).

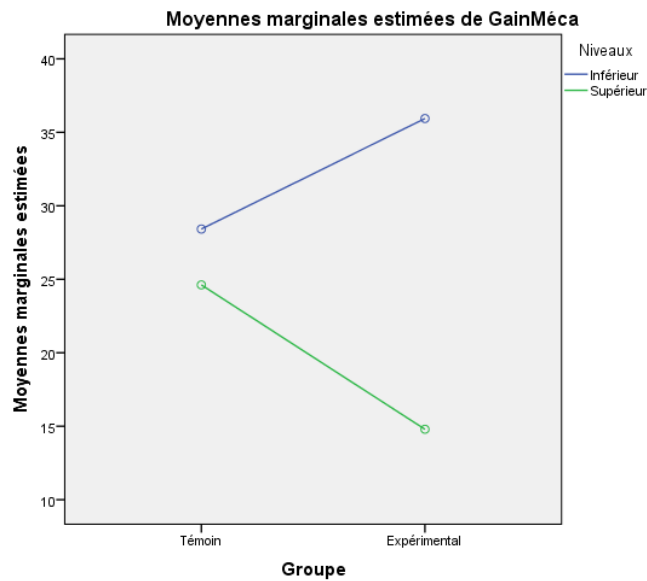


Figure 22 Représentation graphique de la relation entre le niveau au pré-test et le gainMéca obtenu

Dans la perspective de présenter des résultats de plus en plus fins révélant peut-être un effet au niveau « micro » de notre résultat général, nous avons divisé notre échantillon en deux groupes de niveaux, séparés par la moyenne totale au pré-test ($\mu=33$).

Pour les élèves du niveau supérieur, le test t ne nous permet pas non plus d'affirmer une différence significative ($t=-0,9$, $p=0,37>0,05$) entre les groupes témoin ($N=26$, $h=24,62$) et expérimental ($N=48$, $h=14,79$). Pourtant, la différence de moyennes au gainMéca entre les deux groupes est intéressante. L'échantillon de ce test est trop petit pour révéler une différence significative. Un échantillon de départ plus important aurait peut-être pu permettre de présenter un résultat plus en accord avec nos hypothèses.

Cependant, dans la perspective de trouver une relation entre le niveau et le gain Méca, nous avons calculé une ANOVA à deux facteurs où les deux variables indépendantes sont le niveau et le groupe. La relation entre le niveau au pré-test et le gainMéca est significative ($p=0,04<0,05$) (Tableau V).

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: GainMéca

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	9373,510 ^a	3	3124,503	2,468	,065
Ordonnée à l'origine	91729,253	1	91729,253	72,452	,000
Niveaux	5303,084	1	5303,084	4,189	,043
Groupe	45,108	1	45,108	,036	,851
Niveaux * Groupe	2563,556	1	2563,556	2,025	,157
Erreur	175982,699	139	1266,063		
Total	273933,000	143			
Total corrigé	185356,210	142			

a. R deux = ,051 (R deux ajusté = ,030)

Tableau V Tests des effets inter-sujets (Gain Méca Niveaux/Groupe)

Cette relation ne sépare pas notre échantillon en groupe expérimental et témoin. Les résultats présentés dans le tableau V ne montre cependant pas un effet d'interaction significatif entre les groupes et le niveau au pré-test sur le gainMéca, malgré une valeur proche du seuil de signification ($p=0,157>0,05$). Le Tableau VI indique cependant de manière intéressante une tendance sur l'effet d'interaction entre le groupe et le niveau au pré-test sur le gainMéca.

Tableau de bord

GainMéca

Niveaux	Groupe	Moyenne	N	Ecart-type
Inférieur	Témoin	28,42	36	21,282
	Expérimental	35,94	33	22,717
	Total	32,01	69	22,143
Supérieur	Témoin	24,62	26	36,954
	Expérimental	14,79	48	48,263
	Total	18,24	74	44,605
Total	Témoin	26,82	62	28,690
	Expérimental	23,41	81	41,039
	Total	24,89	143	36,129

Tableau VI Tableau de bord ANOVA à deux facteurs (Gain Méca Niveaux/Groupe)

A la lecture de la Figure 22, nous pouvons donc caractériser cette relation non significative. Plus le niveau au pré-test est élevé et plus nous pouvons prévoir que le gainMéca obtenu sera moins élevé pour le groupe expérimental ; ce qui semble être une tendance inverse pour le groupe témoin. De nouveau, cet effet pourrait s'avérer significatif si le test était plus puissant.

4.2.5 Synthèse

Des résultats répondant à notre deuxième question spécifique, sur l'effet sur les conceptions des joueurs, nous retiendrons les éléments suivants :

- Résultat au pré-test pour notre échantillon significativement plus élevé que la moyenne de précédentes recherches sur le FCI.
- Gain obtenu lors de cette expérience significativement élevé pour nos deux groupes.
- Aucune différence significative sur le gain moyen obtenu au FCI entre nos deux groupes
- Aucune différence significative sur le gain moyen obtenu entre les groupes en divisant notre échantillon selon leur résultat au pré-test (Inférieur/Supérieur).
- Aucune différence significative sur le gainMéca moyen obtenu entre les groupes en divisant notre échantillon selon leur résultat au pré-test (Inférieur/Supérieur).
- Relation significative entre le niveau au pré-test et le gainMéca. Plus le pré-test est bas et plus le gainMéca risque d'être élevé.

4.3 Est-ce que l'analyse des résultats par question du FCI ou par tableau de Mecanika permet de confirmer les intentions de scénarisation pédagogique du concepteur ?

4.3.1 Comparaison des gains obtenus aux questions du FCI travaillés par Mecanika.

Comme avancé dans la question précédente, Boucher Genesse indique que la conception de son jeu l'a amené à prévoir un effet sur certaines questions du FCI. En s'inspirant de certaines questions pour concevoir certains tableaux du jeu, il est en effet plausible de penser que l'utilisation du jeu aura une influence sur ces questions.

« Un de ces aspects est par exemple la série de niveaux C, qui ne semble pas avoir eu l'effet escompté. » (Boucher Genesse, 2012, p.87)

Le gain obtenu sur ces questions est appelé gainMéca. Il correspond, selon nous, au gain prévu par le concepteur. Cette remarque nous paraît importante dans l'étude de notre question. Intégrer un modèle didactique dans un scénario de jeu devrait, en effet, permettre au concepteur du jeu de contrôler les apprentissages véhiculés par celui-ci. Nous étayerons cette idée, dans l'interprétation des résultats.

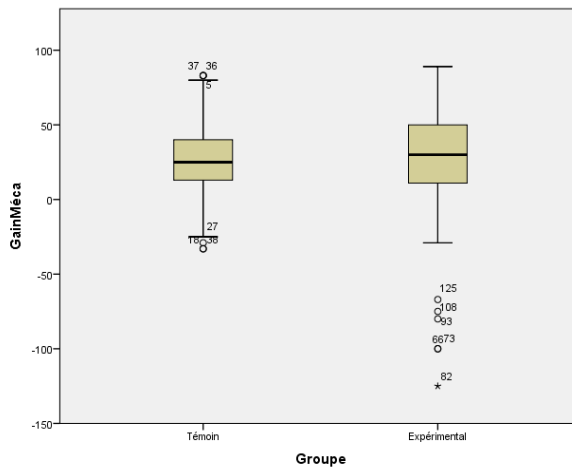


Figure 23 Représentation graphique du gainMéca obtenu par groupe

En d'autres termes, la Figure 23 devrait rendre compte de l'effet d'une bonne intégration du modèle du changement conceptuel, dans la version classique de Mecanika appartenant au groupe témoin et sur ces questions spécifiques, sur le gainMéca.

Malheureusement, malgré un gain moyen significatif pour les deux groupes, un test t sur échantillon indépendant ne nous permet pas d'affirmer une différence sur le gainMéca ($h=3,41$, $N=143$, $p=0,57$, $t=0,55$). Ainsi, nous ne pouvons pas justifier d'une forme de bonne intégration du changement conceptuel, par les étoiles, sur ces questions auxquelles le concepteur pensait pouvoir prévoir un effet. Le groupe témoin ($h= 26,82$, $N=62$) ne se détache pas de manière significative du groupe expérimental ($h=23,41$, $N=81$) sur cet effet prévu par le concepteur.

4.3.2 Comparaison des gains obtenus aux questions relatives aux différentes séries de tableaux

Dans la même lignée que la section précédente, Boucher Genesse décrypte dans l'Annexe 2 les conceptions initiales sur lesquelles le jeu, par tableau ou par série de tableaux, est censé avoir un effet.

Pour chaque série de tableaux de Mecanika, nous pouvons donc prévoir un effet sur un certain nombre de questions comme prévu par son concepteur. Nous

détaillons ci-après les numéros de questions du FCI se rapportant aux séries de tableaux.

- Série B : 8, 9 et 10;
- Série C : 6, 7, 8, 9, 21, 22, 23 et 24;
- Série D : 1, 2, 3, 12, 14 et 27.

Nous ôtons de cette liste la série A qui, selon le concepteur, servait d'apprentissage des mécaniques de jeu et non de concept de mécanique.

Nous espérons ici rendre compte de la bonne réalisation d'une série de tableaux, d'une bonne intégration du changement conceptuel par le conflit cognitif, d'une bonne utilisation des étoiles. Cette réussite aurait donc un effet positif significatif sur le gain obtenu à ces questions spécifiques.

Malheureusement, un test t sur échantillons indépendants sur la série B ($p=0,38$, $t=-0,86$), la série C ($p=0,98$, $t=0,12$) et la série D ($p=0,73$, $t=0,34$) ne nous permet pas de remarquer des différences significatives sur ces questions. Nous ne pouvons donc interpréter une différence comme étant la preuve de la qualité d'une série de tableaux du jeu. Nous parlons ici d'effet prévu par le concepteur sur certaines questions.

4.3.3 Comparaison des gains obtenus par question au FCI

Dans la perspective de révéler une différence significative entre nos deux groupes sur le gain au FCI, nous avons souhaité analyser l'effet réel du jeu sur chaque question du FCI. En opposition aux sections précédentes, nous présentons ici l'effet réel par question au FCI. En omettant donc les prévisions du concepteur, dans l'intégration de son modèle didactique, sur l'effet sur certaines questions du FCI, les résultats suivants présentent les différences réelles d'effets sur chaque question du FCI entre nos deux groupes.

Pour se faire, nous avons effectué un calcul de mesures répétées pour chaque question dont les facteurs étaient le résultat au pré-test et celui au post test, divisé par nos groupes de recherches. Les valeurs de p de chacune des mesures n'étant

pas véritablement un outil d'analyse, nous ne pouvons retenir qu'une seule différence significative en faveur du groupe témoin($p=0,01$) sur la question 24 du FCI.

Ce résultat trop isolé ne nous permet pas de justifier un travail de regroupement révélant une quelconque relation avec une conception initiale, une série de tableaux ou un tableau en particulier. En outre, cette question fait partie d'une série de questions sur un problème en particulier. Cette différence significative sera donc difficile à interpréter pour justifier une forme de bonne intégration du changement conceptuel.

4.3.4 Comparaison des gains obtenus par rapport au temps passé sur le jeu et du nombre d'interactions effectuées

Il convient d'espérer pour le concepteur, un gain significatif selon le temps passé sur le jeu ou encore selon le nombre d'interactions qu'un joueur peut faire avec le jeu. En d'autres termes, nous pensons que nous pouvons relier le temps passé sur le jeu ou le nombre d'interactions effectuées à une valeur de gain positive, selon l'investissement du joueur ou non.

Malheureusement notre échantillon ne nous permet pas de démontrer une différence significative entre le temps investi ou le nombre d'interaction faites et le gain obtenu au FCI.

Cependant, en cherchant à démontrer l'intérêt des étoiles sur le gain, nous pensons avoir trouvé une relation intéressante entre le nombre d'interactions effectuées et le groupe, sur le gain obtenu. Cette relation est d'abord présentée graphiquement dans la Figure 24.

Relation entre le gain et le nombre d'interactions par rapport aux deux groupes

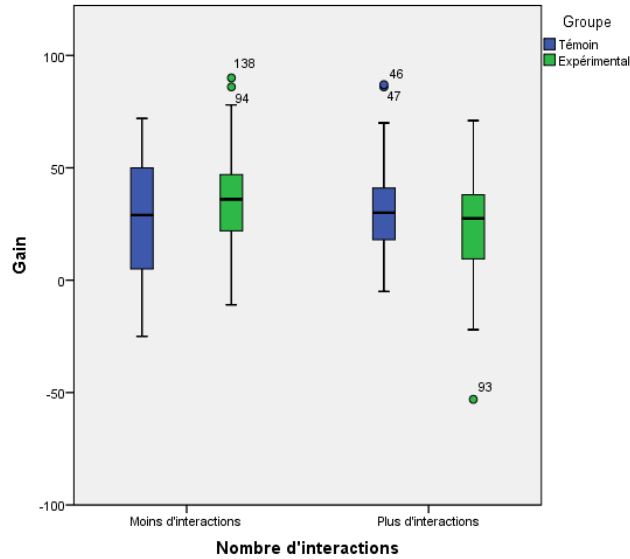


Figure 24 Représentation graphique de la relation entre le groupe et le nombre d'interactions

Il convient d'apporter quelques précisions quant à ce graphique. Nous avons créé une nouvelle variable, à partir du nombre total d'interactions effectuées avec le jeu, en séparant notre échantillon selon la médiane de cette dernière variable ($m=690$). Notre échantillon est ainsi scindé en deux groupes égaux en nombre, l'un ayant effectué moins d'interactions avec le jeu et l'autre plus d'interactions avec le jeu. L'utilisation de la médiane a pour effet ici de lisser les valeurs marginales de certains élèves tout en les conservant dans l'échantillon.

Nous pouvons désormais présenter les résultats de notre ANOVA à deux facteurs (Groupe et Nombre d'interactions) par rapport au gain obtenu au FCI.

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: Gain

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Modèle corrigé	2945,422 ^a	3	981,807	1,920	,129
Ordonnée à l'origine	96583,652	1	96583,652	188,851	,000
Groupe	,028	1	,028	,000	,994
Nombre d'interactions	478,804	1	478,804	,936	,335
Groupe * Nombre d'interactions	2002,010	1	2002,010	3,915	,050
Erreur	71088,326	139	511,427		
Total	211085,000	143			
Total corrigé	74033,748	142			

a. R deux = ,040 (R deux ajusté = ,019)

Tableau VII ANOVA à deux facteurs (Groupe/Nombre d'interactions)

Le Tableau VII nous indique une relation significative entre le groupe et le nombre d'interactions par rapport au gain.

Tableau de bord

Gain

Interaction (Médiane)	Groupe	Moyenne	N	Ecart-type
Moins	Témoin	26,94	17	27,385
	Expérimental	35,35	57	20,712
	Total	33,42	74	22,497
Plus	Témoin	31,22	45	20,847
	Expérimental	22,88	24	26,330
	Total	28,32	69	23,059
Total	Témoin	30,05	62	22,669
	Expérimental	31,65	81	23,075
	Total	30,96	143	22,833

Tableau VIII Tableau de bord ANOVA à 2 facteurs (Gain Nombre d'interactions/Groupe)

La Figure 25 et le Tableau VIII nous aident à traduire cette relation par rapport au gain. Les élèves du groupe expérimental seraient amenés à obtenir un gain moins

important, s'ils interagissent plus avec le logiciel, alors que ceux du groupe témoin obtiendraient un gain plus important dans les mêmes conditions. Selon notre cadre théorique, le fait de plus expérimenter dans notre version SAO aurait donc un effet inverse sur le gain des élèves ayant plus interagis avec la version originale du jeu. Autrement dit, la version originale aurait un effet plus positif sur le gain par rapport à la version SAO, selon que le joueur interagit de manière plus importante avec le logiciel.

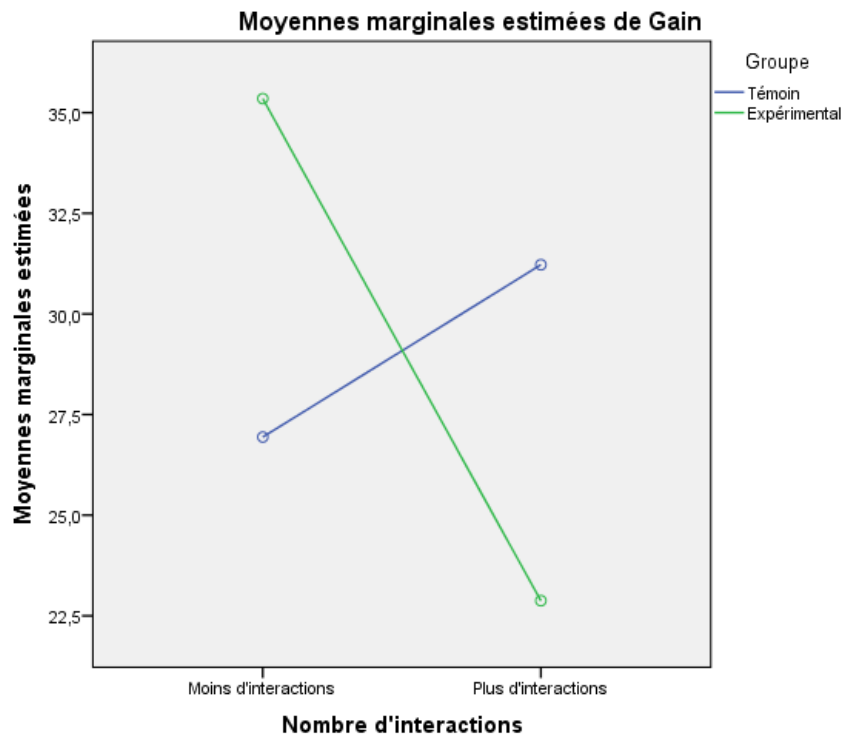


Figure 25 Représentation graphique de la relation entre le groupe et le nombre d'interactions sur le gain.

4.3.5. Synthèse

Des résultats répondant à notre troisième question spécifique, sur la possible justification d'une bonne intégration du modèle didactique, nous retiendrons les éléments suivants :

- Aucune différence significative entre les groupes sur le gain Méca.

- Aucune différence significative entre les groupes sur le gain spécifique à chaque série (B,C et D).
- Une seule différence significative entre les groupes pour chaque question du FCI(Question24).
- Relation significative entre le nombre d'interactions effectuées et la version du jeu sur le gain obtenu au FCI. Cette relation prédit un meilleur gain pour la version originale à mesure que le joueur interagit avec le jeu.

INTERPRETATION

5.1 Réponse à la question générale de recherche

5.1.1 Synthèse des résultats

Afin de répondre à la question générale de recherche, nous récapitulons ici les résultats à nos trois questions spécifiques de notre recherche. La Figure 26 représente graphiquement les résultats significatifs de notre recherche.

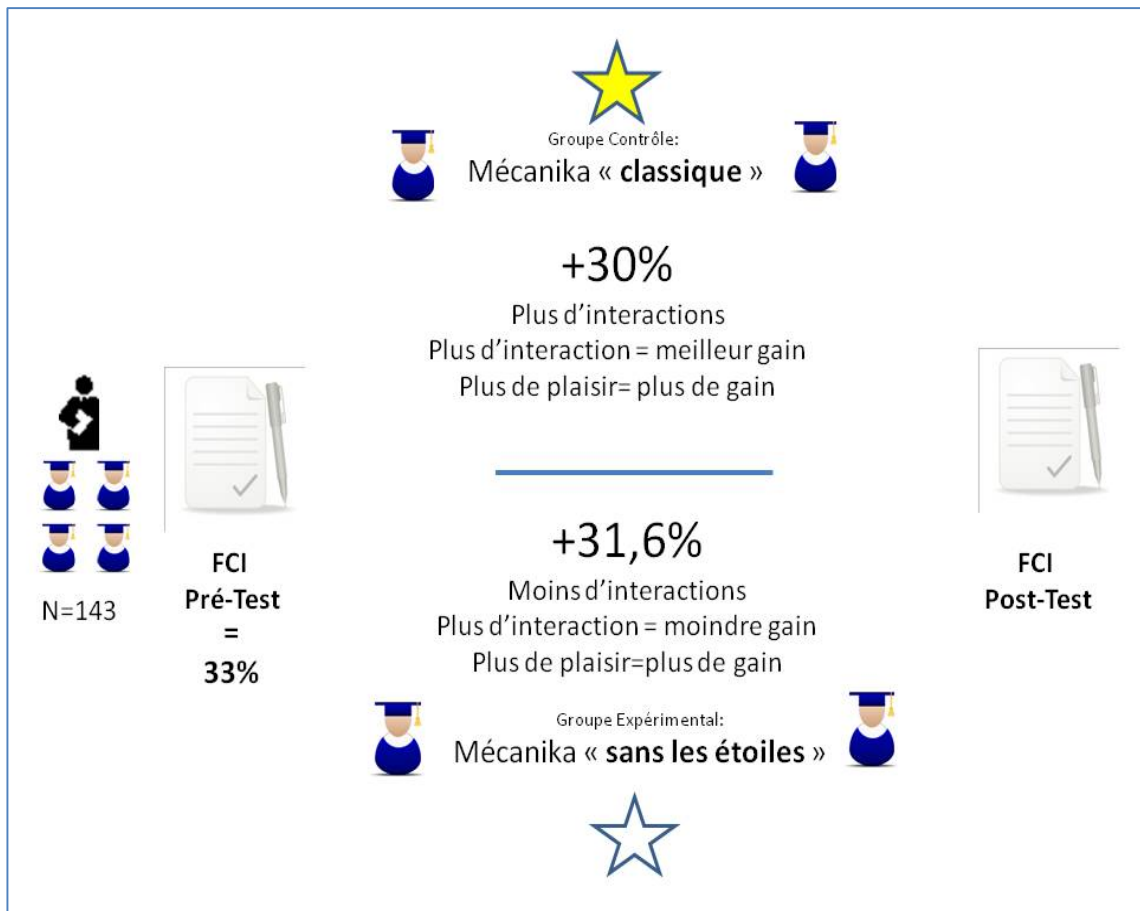


Figure 26 Résultats significatifs de nos données

La liste suivante donne tous les résultats de notre recherche. Les résultats non significatifs seront, pour nous, tout aussi intéressants à interpréter en les rapprochant de notre cadre théorique.

- Aucune relation significative entre l'utilité du jeu ressentie par les élèves et le gain obtenu au FCI ainsi que les groupes.
- Relation significative entre le plaisir pris à jouer au jeu et le gain obtenu au FCI(Plaisir+ ->Gain+). Les deux versions de Mecanika n'ont aucun effet sur cette relation.
- Différence significative importante du nombre d'interactions effectuées avec le jeu en faveur du groupe témoin.
- Aucune différence significative du temps passé sur le jeu entre les deux groupes.
- Résultat au pré-test pour notre échantillon significativement plus élevé que la moyenne de précédentes recherches sur le FCI.
- Gain obtenu lors de cette expérience significativement élevé pour nos deux groupes.
- Aucune différence significative sur le gain moyen obtenu au FCI entre nos deux groupes
- Aucune différence significative sur le gain moyen obtenu entre les groupes en divisant notre échantillon selon leur résultat au pré-test (Inférieur/Supérieur).
- Aucune différence significative sur le gainMéca moyen obtenu entre les groupes en divisant notre échantillon selon leur résultat au pré-test (Inférieur/Supérieur).
- Relation significative entre le niveau au pré-test et le gainMéca. Plus le pré-test est bas et plus le gainMéca risque d'être élevé.
- Aucune différence significative entre les groupes sur le gainMéca.
- Aucune différence significative entre les groupes sur le gain spécifique à chaque série (B,C et D).
- Une seule différence significative entre les groupes pour chaque question du FCI(Question24).
- Relation significative entre le nombre d'interactions effectuées et la version du jeu sur le gain obtenu au FCI. Cette relation prédit un meilleur gain pour la version originale à mesure que le joueur interagit avec le jeu.

5.1.2. Comparaison avec des recherches précédentes

5.1.2.1 *Rapprochement avec les résultats de Boucher Genesse*

Le premier constat intéressant à interpréter, est celui de la grande différence de gain obtenu au cours de l'expérience par rapport à celle de Boucher Genesse.

(...) le gain observé pour ceux qui ont vraiment joué à *Mecanika* 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 *Mecanika*. Un test t indépendant révèle que la différence entre le groupe expérimental et celui de contrôle, $h=0.10$, est significative ($t=3.80$, $p<0.001$). (Boucher Genesse, 2012, p.67)

Cette différence remarquable avec son groupe expérimental ($h=0,18$), comme avec son groupe contrôle qui n'a pas du tout joué à *Mecanika* ($h=0,28$), est considérable par rapport à nos résultats. Nous pouvons interpréter ce résultat de deux manières.

La première raison est le niveau élevé de notre échantillon au pré-test qui peut-être une des explications de cette différence. Nos élèves ayant visiblement une forte capacité en mécanique, auraient donc de bonnes raisons d'avoir un gain fort au FCI après un semestre complet sur le sujet et ce sur les deux versions de *Mecanika*.

La seconde serait celle justement du temps passé sur l'expérience et sur les concepts de mécanique. En effet, l'expérience de Boucher Genesse a duré à peine plus de cinq semaines, là où notre échantillon complet a subi l'expérience pendant plus de douze semaines. De plus, 90% de notre échantillon est passé entièrement à travers le jeu. Ce qui n'était absolument pas le cas dans la précédente expérience. Pour corroborer cette explication, les élèves de notre second professeur, lors de sa propre expérience ayant duré le même temps que notre échantillon principal, a obtenu un gain moyen de 0,28. Nous pouvons ajouter à cela le fait que, pour le second professeur, l'avancée des élèves dans le jeu a été

beaucoup plus hétérogène. La variable du temps passé sur ces concepts serait donc la meilleure explication de cette différence sur notre échantillon.

5.1.2.2. Comparaison avec le Modeling Instruction Project

Il reste en outre pertinent de comparer ces résultats avec les expériences du Modeling Instruction Project dirigé par Hestenes (2006) qui observe dans son groupe utilisant son outil expérimental, un gain moyen de 0,26 à confronter à son groupe témoin ($h=0,16$). Cette comparaison fait de notre expérience une franche réussite pour nos deux groupes qui surclassent ces résultats. L'utilisation d'une des deux versions du logiciel (et/ou le professeur) et/ou le niveau élevé au pré-test de notre échantillon semblent être une ou des explications de ce succès.

5.1.3 Analyse transversale des résultats

Il convient tout d'abord de souligner la surprise des résultats observés lors de notre expérience. Nous rappelons ici nos hypothèses de départ :

- Les élèves du groupe témoin utilisant la version classique du jeu vont obtenir un gain plus fort que les élèves du groupe expérimental, selon le test standardisé du FCI, ce qui rendra compte du travail effectué en partie par le jeu sur les conceptions initiales des élèves.
- Les élèves utilisant la version sans scénario pédagogique du jeu Mekanica vont percevoir le jeu comme moins divertissant et moins utile que les élèves utilisant la version originale. Nous pensons aussi que la version expérimentale va réduire l'implication des apprenants par rapport à la version classique.
- L'effet sur le gain sur les questions identifiées par le référentiel de Boucher Genesse sera positif. Nous pourrions ainsi rendre compte de la qualité d'un ou plusieurs tableaux et possiblement justifier la bonne intégration du modèle didactique lors de la conception du scénario pédagogique du jeu sérieux.

- La version originale et son scénario pédagogique obligeant les joueurs à suivre une trajectoire idéale ou un comportement modèle, vont permettre de mieux maîtriser l'effet positif prévu sur le gain.

Si l'on prend les résultats bruts, il s'avère qu'aucune de ces hypothèses n'a été vérifiée de manière évidente grâce à notre recherche. Il convient donc de faire une analyse transversale de ces résultats pour tenter de faire émerger des pistes de discussions ou de futures recherches.

5.1.3.1 Lien entre utilisation du logiciel et gain

De manière significative, les élèves du groupe témoin ont plus interagi avec leur version de Mekanika que le groupe expérimental pour un gain pourtant similaire. Contrairement à nos prévisions, il convient donc de faire remarquer que le scénario pédagogique, basé sur la réalisation d'un objectif, amène à plus d'interactions avec le logiciel, pour un effet similaire à une expérience avec une consigne plus vague et basée sur une expérimentation personnelle, sur l'apprentissage au FCI. Nous pensons que la dynamique d'essai/erreur est plus importante dans la version de Mekanika classique. Elle révélerait, à priori, autant de potentiel qu'un acte réfléchi d'expérimentation où le comportement modèle attendu semblerait moins dirigé.

En outre, le niveau au pré-test ne révélant pas de différence entre nos groupes, nous ne pouvons pas rendre compte de l'intérêt d'un scénario pédagogique plus cadré amené par les étoiles, d'une dynamique d'essai/erreur, et de la provocation d'un conflit cognitif pour les élèves ayant moins de capacité. En passant le même temps et en interagissant moins, les élèves de niveau inférieur du groupe expérimental obtiennent le même résultat au FCI. Nous pensons pourtant, que ces élèves de niveau inférieur du groupe témoin seraient aidés par la présence des étoiles et par la transparence d'un objectif clair. Notre analyse dément cette hypothèse.

Cependant, nos résultats démontrent une relation significative entre la version du jeu et le nombre d'interactions sur le gain. Cette relation prédit un meilleur gain

pour la version originale à mesure que le joueur interagit avec le jeu. Cette prédiction est difficile à interpréter, mais elle reste intéressante dans le sens où elle indique un intérêt dans la réalisation d'un scénario. Nous pensons que la trajectoire idéale dessinée par les étoiles valide les nouvelles conceptions du joueur, en cas de réalisation du tableau. La version SAO ne donnant pas de retour sur l'objectif demandé, nous pensons que l'expérimentation non guidée de notre version expérimentale n'a pas un effet positif sur les conceptions des élèves, à partir du moment où ils s'attardent trop sur un tableau. L'idée de validation d'une nouvelle conception par un pair semblerait donc pertinente. Dans les modèles de changement conceptuel identifiés, nous n'avons pas repéré une telle caractéristique. Le scénario pédagogique de Mecanika apporte ce critère spécifique du jeu vidéo que nous ne retrouvons pas dans les simulations. Cette caractéristique souligne aussi l'apport du jeu sérieux, dans l'évaluation d'un élève par lui-même dans notre recherche, et possiblement pour l'enseignant dans d'autres cas.

5.1.3.2. Lien entre perception du logiciel et gain

En partant toujours du même constat d'effet similaire sur l'apprentissage entre nos deux groupes, nous pouvons souligner la relation significative entre plaisir à jouer au jeu et gain au FCI. Cette relation vient souligner un peu plus l'effet du jeu sur le gain au FCI. En effet, les élèves n'ayant pas trouvé le jeu divertissant obtiennent des scores moins élevés que les autres. L'importance d'apprécier l'expérience du jeu influence donc indirectement le gain. Le jeu est ici le vecteur de cette influence.

Cependant, nos deux groupes ne se différencient pas sur le plaisir pris à jouer au jeu, avec ou sans les étoiles. Ce résultat est remarquable car il est selon nous une deuxième hypothèse forte que nous pensions faire jaillir de cette expérience. Que l'expérience soit plus orientée vers une SAO ou un jeu sérieux, le plaisir pris à jouer avec le jeu est le même. Et la perception de l'utilité du jeu est semblable. Il nous semble important de supposer que le niveau élevé de cet échantillon au pré-test est un facteur important de ce constat de perception. Nous pensons qu'il conviendrait de faire la même recherche, avec des échantillons au niveau de pré-

test inférieur à la moyenne d'Hestenes, pour espérer faire apparaître une différence entre les deux versions.

Il convient aussi de remettre Mecanika dans le cadre de son potentiel ludique. Le jeu a été développé par une seule personne, dans le cadre d'une maîtrise de recherche et est encore actuellement en cours d'optimisation. Nous pensons que Mecanika aurait donc tout à gagner à encore approfondir sa conception ludique, en améliorant la narration du jeu, le système de récompenses ou encore les appellations des différents acteurs du jeu. La dimension ludique s'en trouverait peut-être grandie et permettrait de supposer une différence de perception du jeu, avec ou sans les étoiles.

Ceci étant dit, notre échantillon révèle un constat remarquable : la version orientée SAO et la version orientée jeu sérieux sont autant appréciées et utiles selon la perception des élèves. Leur gain obtenu soutient ce constat.

5.1.3.3. Alchimie mitigée : entre effet prévu et effet réel

Un autre point intrigant dans ces résultats est la différence entre l'effet prévu et l'effet réel observée. En tant que concepteur pédagogique de jeu vidéo, cette différence nous interpelle fortement.

En effet, Boucher Genesse justifie toute sa recherche développement sur l'intégration du modèle de changement conceptuel dans un jeu vidéo. Il concentre tous ses efforts de conception de niveaux dans le placement, entre autres, des étoiles pour provoquer un conflit cognitif. En s'inspirant de certaines questions du FCI, il prévoit même d'y avoir un effet significatif. Toutes ces intentions semblent plausibles.

Nous étions donc en droit de s'attendre que la suppression des étoiles, élément principal de l'intégration du modèle didactique, est un effet négatif sur les questions du FCI associées. Or, nos résultats ne montrent aucune différence significative entre les deux groupes.

De plus, l'analyse de l'effet réel sur chaque question ne révèle qu'une différence significative. Seule la question 24 du FCI correspond à un seul des effets prévus par le concepteur. Elle ne nous permet donc pas d'être positivement confiants dans la relation entre effet prévu et effet réel.

Ce constat souligne la difficulté du travail de conception pédagogique. Le concepteur de notre expérience n'a pas maîtrisé sa conception pédagogique et l'effet sur l'apprentissage et ce, malgré un cadre de conception scientifique solide. Il souligne d'ailleurs cette difficulté lors de l'interprétation de ses résultats :

(...) plusieurs niveaux de *Mecanika* 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 *Mecanika*, et non pas sur des données empiriques. (Boucher Genesse, 2012, p.72)

Il souligne ainsi l'importance du contexte de départ. Dans la conception d'un jeu, des données reflétant le niveau de conceptions erronées du public cible, aideront considérablement le concepteur à maîtriser l'effet de son scénario pédagogique et de l'intégration de son modèle didactique. Cette affirmation n'est pas sans rappeler l'importance de la considération des conceptions erronées d'un élève avant de tenter toute forme de changement conceptuel par un conflit cognitif.

Cependant, le jeu a eu un effet positif en général, au-delà d'autres recherches. D'une certaine manière, il répond donc aux objectifs pédagogiques de sa conception. Nous pensons d'ailleurs détenir une explication intéressante pour expliquer ce succès mitigé.

5.2 Rapprochement avec le cadre théorique

5.2.1. Une explication à l'égalité des gains, la particularité du modèle de diSessa

Dans le cadre théorique, nous avons brièvement analysé cinq modèles de changement conceptuel. Dans la partie faisant état des divergences entre les modèles, nous faisons état d'une particularité propre au modèle de diSessa : provoquer un conflit cognitif n'est pas un élément primordial du changement conceptuel.

Notre recherche semble donner raison à cette particularité propre uniquement à diSessa. Toute la conception de Mecanika tourne autour de la mise en scène d'un conflit cognitif par le placement des étoiles. Sans les étoiles, le conflit cognitif n'est plus provoqué. Cependant, l'expérimentation personnelle de chaque élève rend tout de même possible le conflit cognitif, dans le cas où l'élève prévoit un effet sur les robots avant de lancer la distribution. Mais ce conflit n'est plus maîtrisé par le jeu lui-même. Pourtant, les résultats de notre recherche entre les deux versions sont similaires. La provocation régulière d'un conflit cognitif dans Mecanika n'aurait donc aucun effet sur le changement conceptuel des élèves de notre échantillon.

Les quatre critères de Posner (intelligibilité, insatisfaction, plausibilité, fécondité) ouvrent encore un peu plus la réflexion sur l'importance ou non d'un conflit cognitif et les caractéristiques de sa mise en scène. L'insatisfaction étant le critère qui éveille le plus notre curiosité. Il a été, en effet, celui qui a été le plus mis à mal dans notre recherche.

5.2.2 Une explication au gain élevé, les convergences entre les cinq modèles de changement conceptuel

Avec ou sans les étoiles, les versions de Mecanika ont rendu l'élève à la fois actif et au centre de l'apprentissage, critère convergent important entre les cinq modèles. Une SAO ou un jeu sérieux ont cet atout en commun. Le jeu, pourtant, lors de notre recherche, avait été donné en devoir à la maison. Nos deux versions proposent donc un outil d'expérimentation idéal pour le changement conceptuel et

les résultats de notre recherche en sont une nouvelle preuve. Les résultats concernant la relation entre plaisir pris à jouer et gain viennent encore un peu plus corroborer cette idée.

De plus, nos cinq modèles indiquaient uniformément que le changement conceptuel demandait du temps. La comparaison entre nos résultats et ceux de Boucher Genesse est une preuve pertinente de cette caractéristique. Cependant, le temps passé sur les deux versions étant similaire, nous ne pouvons rendre compte d'une relation pertinente entre les versions de Mecanika et le gain obtenu au FCI de notre recherche. Les deux versions demandaient donc le même temps pour être parcourues et n'ont donc pas influencé une différence entre les deux groupes.

Autre convergence importante entre les différents modèles : la répétition graduelle de modélisation d'une conception se trouve être respectée entre les deux versions de Mecanika. En effet la suppression des étoiles a laissé intacte la chronologie par tableau de difficulté croissante. La répétition graduelle de modélisation d'une conception est donc parfaitement conservée. Cet élément peut être aussi une explication du gain élevé de notre échantillon dans les deux versions.

Ces trois convergences, (pédagogie active, importance du temps consacré et la répétition graduelle) n'ayant pas été isolées dans le cadre de notre recherche, seraient donc d'excellentes pistes de recherches pour juger de l'importance de l'une d'entre elles dans le cadre d'un changement conceptuel. Cependant, ces trois convergences semblent avoir été importantes dans le changement conceptuel des élèves de notre échantillon. Les résultats du groupe témoin de Boucher Genesse laissent donc à penser que les atouts mentionnés précédemment de Mecanika semblent avoir eu un effet positif sur le changement conceptuel. La longueur de notre étude vient d'autant plus souligner l'influence de ces convergences entre les modèles.

5.2.3. Retour sur le modèle MDA de Mecanika

Il est aussi intéressant d'interpréter ces résultats à travers le modèle MDA de Mecanika. Nous avons supprimé, dans la Figure 27, tous les éléments du modèle absent dans la version sans les étoiles, rendant compte ainsi de l'effet de la suppression des étoiles sur les relations suggérées dans ce modèle.

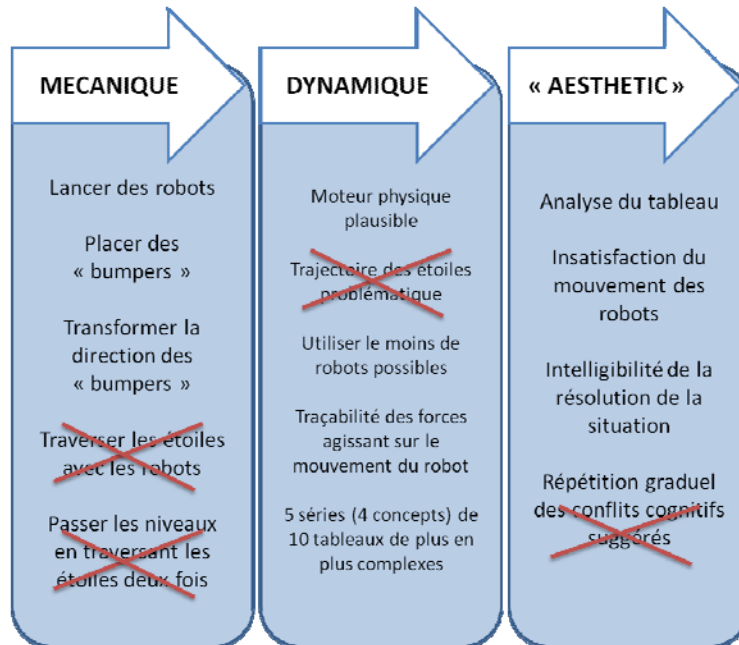


Figure 27 MDA "sans les étoiles"

En supprimant la mécanique de traversée des étoiles et l'objectif suggéré par la trajectoire à effectuer, le jeu perd sa dynamique de trajectoire problématique recherchée. L'« aesthetic » de conflit cognitif (exceptée la répétition graduelle) devient inexistant, ou en tout cas, non maîtrisé par le jeu.

Cependant, nous pouvons nous rendre compte que beaucoup d'autres éléments restent intacts dans ce modèle, et l'« aesthetic » reste très pertinente du point de vue des modèles de changement conceptuel étudiés dans cette recherche. Nous pensons cependant que ces « aesthetic » ne sont plus autant maîtrisées qu'avec les étoiles. L'idée d'insatisfaction ou d'intelligibilité devient, par exemple, personnelle à chaque élève.

En effet, malgré la présence de consignes d'expérimentation dans la version sans les étoiles, nous perdons l'idée de joueur modèle, et par conséquent, d'élève modèle censé avoir de meilleurs résultats au FCI. Les résultats restant très positifs, il convient donc de poser le problème sur cette version SAO, synonyme d'exploration scientifique personnelle. Le jeu se suffit lorsqu'il est un outil d'expérimentation. Nous pensons d'ailleurs, grâce à cette expérience, que la manipulation d'une SAO permet des conflits cognitifs personnels propres à chaque élève, possiblement plus proches et plus adaptés aux conceptions initiales de chaque élève. L'idée de trajectoire idéale dans Mekanika a donc les mêmes vertus qu'une version orientée simulation assistée par ordinateur par la suppression des étoiles dans son modèle MDA pour notre échantillon. Le processus didactique provoqué est pourtant sensiblement différent.

5.3 Limites de la recherche

5.3.1. L'absence de véritable groupe témoin

Confrontée à des résultats particulièrement élevés, notre méthodologie ne nous permet malheureusement pas de mesurer l'impact du professeur seul sur le gain obtenu. Pourtant, ces excellents résultats nous obligent à prendre avec précaution la part de l'effet du jeu. Bien que le Ministère de L'Éducation, du Loisir et du Sport au Québec ne préconise pas l'utilisation du changement conceptuel comme méthode d'enseignement en sciences, il convient de ne pas omettre la pratique du professeur avec ou sans le jeu. Notre méthodologie ne rendant pas compte de la méthode d'enseignement utilisée par ce professeur, nous nous devons de ne pas négliger la possibilité qu'il ait lui-même utilisé la méthode du changement conceptuel pour la réalisation de ses cours.

Une classe seulement, ne jouant à aucune des deux versions, nous aurait permis de limiter ce biais de recherche, en isolant l'influence du travail du professeur sur le gain obtenu au FCI.

5.3.2. Un seul professeur

Les conclusions de l'expérience sont limitées par le fait qu'un enseignant seulement y a participé (excluant le deuxième professeur qui n'a finalement pas utilisé la version expérimentale). Ainsi, les résultats ne permettent pas de généraliser à tous les enseignants, puisque l'unique enseignant retenu ne peut pas être considéré représentatif de cette population.

Les résultats ne permettent donc pas d'estimer le gain qu'un autre enseignant pourrait obtenir en intégrant le jeu en classe. La qualité du professeur, 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 qu'un exemple d'intégration. Il est donc permis de supposer que d'autres enseignants, utilisant des techniques d'intégration distinctes obtiendraient un gain différent, possiblement moins important. Un écart significatif de gain entre les deux versions pourrait être sans doute mis en évidence.

5.3.3. Groupes non aléatoires

Le professeur, qui a participé à l'étude l'a faite 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. Cependant, cela était difficilement réalisable dans le contexte de cette recherche menant à un grade de deuxième cycle. Les classes de notre enseignant ont 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.

5.3.4. Un élément dans une intégration d'un modèle dans un jeu sérieux

La suppression des étoiles dans le jeu Mécanika génère un trop grand nombre de cas particuliers pour que notre recherche puisse être généralisable à notre population, ou à tout autre cas d'intégration d'un modèle didactique dans un jeu sérieux. Chacune des relations ou des différences significatives dans cette recherche pourrait, selon nous, être entièrement remise en question dans l'analyse d'une toute autre intégration.

Les résultats restent cependant intéressants, dans la mesure où ils mettent à l'épreuve les caractéristiques du modèle de changement conceptuel. Ils mettent aussi en lumière la difficulté du concepteur à maîtriser l'effet de ses intentions de conceptions sur l'apprentissage des objectifs pédagogiques. Enfin, de manière indirecte, nos résultats montrent que l'utilisation d'un outil interactif, où l'élève se trouve au centre de l'apprentissage, semble avoir un effet positif sur l'apprentissage des concepts de mécanique.

CONCLUSION

Dans un premier temps, notre expérimentation a permis d'observer des gains significatifs plus importants que ceux observés par Boucher Genesse. Ils étaient en effet déjà supérieurs à ceux habituellement cités dans les recherches impliquant le FCI. Les résultats au pré-test (33%) sont une autre caractéristique de notre échantillon qui forme d'une certaine manière un ensemble marginal.

Nos résultats ont par ailleurs montré une relation significative entre le plaisir pris à jouer au jeu et le gain obtenu au FCI (Plaisir+ ->Gain+). Cependant, les deux versions de Mecanika n'ont aucun effet sur cette relation. En considérant la relation entre le nombre d'interactions et le groupe sur le gain, nous pensons pouvoir confirmer que le jeu produit un effet qui s'ajoute à celui du professeur.

De plus, la présence d'étoile dans la version originale a suscité plus d'actions des élèves, que leur absence, dans la version orientée simulation, ce qui semble indiquer que l'utilisation d'un jeu sérieux, comme nous le définissons, favorise l'implication des élèves.

Cependant, la scénarisation à l'aide d'étoiles n'est peut-être pas la principale responsable des apprentissages observés dans le jeu Mecanika. Le choix des autres éléments présents dans chaque tableau doit aussi être considéré pour expliquer les apprentissages.

En outre, le MDA de la version sans les étoiles semble donner raison à la divergence du modèle de diSessa, puisque l'absence de conflit cognitif suggéré dans la version simulation n'a aucun effet sur le gain. Cependant, il convient de s'interroger sur une autre manière d'interpréter ces résultats. Et si les élèves étaient attirés naturellement vers l'expérimentation d'un conflit cognitif ? Cette idée pourrait ainsi expliquer la similitude des gains entre nos groupes.

Finalement, nous voudrions suggérer les principales pistes pour des recherches subséquentes qui permettraient d'éviter les problèmes rencontrés. L'idée d'un

groupe témoin qui ne joue pas permettrait de mesurer l'influence du professeur par rapport aux deux versions du jeu. Une autre piste intéressante serait de s'assurer que certains élèves aient des gains moins importants en sélectionnant des écoles de différents niveaux. L'abandon de notre deuxième professeur a considérablement manqué à notre échantillon. Dans la même perspective, comparer plusieurs professeurs permettrait de mettre en valeur la facilité d'intégration de l'une ou l'autre des versions du jeu. Nous pourrions aussi mesurer l'autonomie du jeu original pour suggérer exclusivement un scénario d'apprentissage, en faisant jouer les élèves avant l'intervention du professeur sur les deux versions du jeu.

Enfin, notre recherche semble traduire une bonne manière de mesurer l'effet de certaines caractéristiques de modèles de changement conceptuel. En transformant de nouveau le jeu, nous pensons que nous pourrions isoler d'autres caractéristiques afin d'en mesurer leurs effets sur l'apprentissage. Finalement, il convient de considérer fortement l'effet du support technologique sur l'apprentissage, et non le logiciel en lui-même. Nous pensons justement que Mecanika possède de bonnes caractéristiques pour mesurer cet effet sur l'apprentissage des élèves.

BIBLIOGRAPHIE

Alvarez, J. (2007). *Du jeu vidéo au serious game : approches culturelle, pragmatique et formelle* (Thèse de doctorat, Université de Toulouse II et de Toulouse III). Repéré à http://www.jeux-serieux.fr/wp-content/uploads/THESE_SG.pdf

Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique, *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(3), 281-308.

Astolfi, J.P. (2008). *La saveur des savoirs*, Paris : ESF Editeurs.

Auneau, L. (2011). *Le manifeste du jeu sérieux 2011*, Nantes : Succubus Interactive.

Bêty, M.N. (2010). Pont théorique entre les principaux modèles de changement conceptuel et l'enseignement des sciences au primaire, *Revue canadienne des jeunes chercheuses et chercheurs en éducation*, Volume 3, Issue 1.

Blanchard, E., Frasson, C. (2007). *Un système tutoriel intelligent inspiré des jeux vidéo pour améliorer la motivation de l'apprenant*, Laboratoire HERON, Département d'Informatique et Recherche Opérationnelle, Université de Montréal. Sticef. Volume 14.

Boucher Genesse, F. (2013). *Etude de différentes utilisations d'un jeu vidéo éducatif conçu spécifiquement pour intervenir sur certaines conceptions en physique mécanique : Mecanika* (Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal).

Caillois, R. (1991). *Les jeux et les hommes*, Gallimard.

Charlier, B., Henri, F. (2007). *Le design participatif pour des solutions adaptées à l'activité des communautés de pratique*, Communication présentée au Congrès international AREF 2007 Symposium « Processus de socialisation et apprentissages en ligne ».

Charsky, D. (2010). From Edutainment to Serious Games : A Change in the Use of Game Characteristics, *Games and culture 2010*; 5;177-198.

Csikszentmihalyi, M., Abuhambed, S., Nakamura, J., (2005). *Flow*, In Elliot, A. J., Dweck, C. S., Handbook of competence and motivation, The Guilford press, New-york, London, 598-608.

Demarle, M. (2006). Nonlinear Game Narrative. Dans Chris Bateman(dir.), *Game Writing Narrative Skills for Videogames* (p. 77-78), Boston : Charles River Media.

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

Fenouillet, F., Kaplan, J., Yennek, N. (2009). *Serious games et motivation*. CREF, Equipe d'accueil 1589, équipe « Apprenance et formation des adultes, Université Paris Ouest Nanterre La Défense, Actes du Colloque EIAH Strasbourg, 41-52.

Frasca G., (2003). Simulation versus Narrative : Introduction to Ludology. *The Video Game Theory Reader*, Routledge.

Gee, J.P. (2003). *What video games have to teach us about education and literacy?*. New York : Palgrave Macmillian.

George, S., Sanchez, E. (2009). *Introduction*. Université de Lyon, LIESP, INSA Lyon, Actes du Colloque EIAH Strasbourg, 5-6.

Giordan, A. (1994). *Le modèle allostérique et les théories contemporaines sur l'apprentissage*. Conceptions et connaissances, Bern : P.Lang.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs Traditional Methods in Mechanics Instruction. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.

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

Huizinga, J., (1938 (1951)). *Homo Ludens. Essai sur la fonction sociale du jeu*. Paris : Gallimard, Coll. Tel.

Hunicke, R., Leblanc, M., Zubeck, R., (2004). *MDA : A formal approach to game design and game research*. Communication présentée à The Challenges in GAMES AI Workshop, Nineteenth National Conference of Artificial Intelligence, San José, California.

Juul, J. (2005). *Half Real, Video Games between Real Rules and Fictional Worlds*. Boston : The MIT Press.

Kergomard, P.R., (1895). *L'éducation maternelle dans l'école*. Hachette et cie.

Malone, T. W., Lepper, M. R. (1987). Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. Dans R. E. Snow & M. J. Farr (dir.), *Aptitude, learning and instruction : III. Conative and affective process analyses*(p. 223-253). Hillsdale, NJ : Erlbaum.

Mandart, E. (2010). *Serious Game: l'action et l'émotion comme facteur d'acquisition des connaissances* (Mémoire de MASTER I, Université de Rouen).

- Mandart, E. (2011). *Le Serious Game sur le campus de l'Université de Montréal : analyse, utilisation et perspective*. Communication présentée à la Journée MATI Montréal 2011, Laboratoire MATI Montréal.
- TED (2010, Mars). *Reality is Broken, Why Games Make Us Better and How They Can Change the World [Vidéo en ligne]*. Repéré à http://www.ted.com/talks/jane_mcgonigal_gaming_can_make_a_better_world.html.
- Michel, G., Jobert, M. (2008). La prise en compte des émotions : une solution pour les logiciels éducatifs pour enfants déficients intellectuels. *ETIC*, Université Paul Verlaine, Metz. Sticef. Volume 15.
- Newman, J. (2002). The myth of the ergodic videogames. Some thoughts of player-character relationship in video games. *Gamesstudies.org*, Vol. 2, n.1.
- Perrenoud, P. (1997). *La pédagogie différenciée : des intentions à l'action*. ESF, Paris.
- Piaget, J. (1951). *La formation du symbole chez l'enfant*. Delachaux & Niestlé.
- Posner, G. Strike, K. Hewson, P. & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a Scientific Conception : Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), John Wiley & Sons, Inc., 211-227.
- Potvin, P., Riopel, M., Charland, P., Ayotte, A., & Boucher Genesse, F. (2010). *Enhancing performance in the « Force Concept Inventory » test using homework gameplay while involving physics teachers in the level design process*. SpaceFart. Communication présenté à Meaningfulplay 2010, East Lansing, MI.
- Sanchez, E., Ney, M., Labat, J.M. (2011). Jeux sérieux et pédagogie universitaire : de la conception à l'évaluation des apprentissages. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire / International Journal of Technologies in Higher Education*, 8(1-2), 48-57.
- Tobias, S. (2012). Reflections on "a review of Trends in Serious Gamings". *Review of Educational Research*. 82(2), 233-237.
- Tobias, S., Fletcher, J.D., Dai, D.Y, & Wind, A.P. (2011). *Review of research on computer games*. Charlotte, NC : Information Age, 127-222.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69,
- Villiot Leclercq, E. (2007). Genèse, réception, orientation et explicitation des scénarios pédagogiques. Vers un modèle de conception des scénarios par contraintes. *Distances et savoirs 2007/4*, 54, 507-526.
- Winicott, D.W.(1975). *Jeu et réalité : l'espace potentiel*. Folio essais.

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

Young, M.F, Slota, S., Cutter, A.B., Jalette, G., Mullen, G., Lai, B. ...Yukhymenko, M. (2012). Our princess is in another castle : A review of trends in serious gaming. *Review of Educational Research*, 82, p.61-89.

Zyda, M. (2005). *From Visual Simulation to Virtual Reality to Game*. IEEE Computer Society.

BIBLIOGRAPHIE SECONDAIRE

Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble, LaPensée Sauvage.

Daele, A., Brasard C., Esnault, L., Donoghue, M., Uytterbrouke, E., Zeiliger, R. (2002). Conception, mise en œuvre, analyse et évaluation des scénarios pédagogiques recourant à l'usage des TIC. *Rapport du projet Recre@sup-WP2*, FUNDP.

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

Fenouiller, F., (2009). Vers une approche intégrative des théories de la motivation. Dans P., Carré & F., Fenouillet (dir.), *Traité de psychologie de la motivation* (p. 305-338), Paris : Dunod.

Hays, R. T., (2005). The effectiveness of instructional games : a literature review and discussion. *Technical Report 2005–2004 for the Naval Air Center Training System, Division*, Orlando, FL.

Randel, J. M., Morris, B. A., Wetzel, C. D., Whitehill, B. V. (1992). The effectiveness of games for educational purposes : A review of recent research. *Simulation and Gaming*, 23, 261–276.

Vallerand, R.J., Carbonneau, N., Lafreniere, M.A.K. (2009). La Théorie de l'Autodétermination et le Modèle Hiérarchique de la Motivation Intrinsèque et Extrinsèque : Perspectives Intégratives. Dans P. Carré, & F. Fenouillet (dir.), *Traité de psychologie de la motivation* (p. 47-66), Dunod, Paris.

Vogel, J. J., Greenwood-Eriksen, A., Cannon Bowers, J., Bowers, C. A. (2006). Using Virtual Reality with and without Gaming Attributes for Academic Achievement. *Journal of Research on Technology in Education*, 39, 105-118.

SITOGRAPHIE

Alvarez, J., Djaouti, D., Jessel, J.P., Methel, G. & Molinier, P. (2007), *Morphologie des jeux vidéo* Colloque H2PTM07, Tunisie. Repéré le 13/04/2010 à <http://serious.gameclassification.com/FR/about/article.html>

Georges, F. (2003). La représentation de soi comme dynamique d'apprentissage dans le logiciel ludo-éducatif en ligne Adi 5ème français-mathématiques. *Jeux, Médias et Savoir, Multimédia et Information* n°18, Paris, L'Harmattan. Repéré le 13/04/2010 à <http://www.omnsh.org/spip.php?article12>

Rieber, L., & Noah D. (1997). *Effect of Gaming and Visual Metaphors on Reflective Cognition Within Computer-Based Simulations*. Communication présentée à AERA conference, Chicago, IL. Repéré à <http://it.coe.uga.edu/~lrieber/gaming-simulation/>

Clark, D., Nelson, B. C., D'Angelo, C., Slack, K., & Martinez-Garza, M. (2010). *SURGE : an NSF Project on Physics*. Repéré le 14 juin 2010, de <http://surgeuniverse.com/research.html>

Natkin, S. (2008). *Du Ludo-éducatifs aux jeux-vidéos éducatifs*. Repéré le 13/05/2010 à <http://www.cndp.fr/archivage/valid/139674/139674-18402-23850.pdf>

McGONIGAL(b), J. (2010). Gaming can make a better world. TED Conférence, Repéré le 03/06/2012 à http://www.ted.com/talks/lang/eng/jane_mcgonigal_gaming_can_make_a_better_world.html

DIVERS

Site de référence du FCI :

<http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>

Blog de référence et vivier de Serious Game :

<http://yasminejoue.wordpress.com/>, www.seriousgame.be

Adresse de jeu associés à ce mémoire:

Food Force : <http://www.wfp.org/how-to-help/individuals/food-force>

Mecanika : <http://www.mecanika.ca>

Technocity : <http://pedagogie.ac-toulouse.fr/technocity/Technocity.swf>

ANNEXE

ANNEXE 1

ENONCE PAR TABLEAU DE LA VERSION « SANS LES ETOILES »

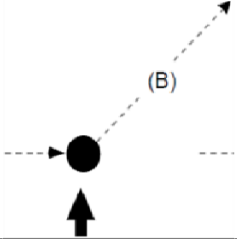
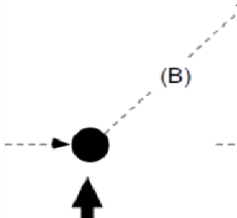
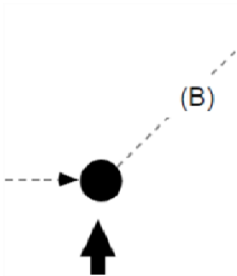
Instructions version « sans les étoiles »


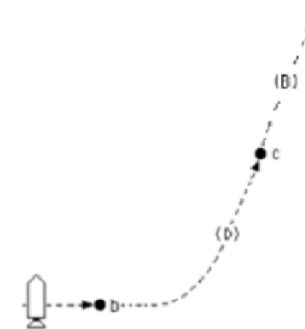
- A2 - “Expérimente l’effet du vent-o-matic sur les éclaireurs”
- A3 - “Expérimente l’effet de l’orientation des vent-o-matics sur les éclaireurs”
- A4 - “Expérimente la combinaison de l’effet des vent-o-matics et de la gravité”
- A5 - “Expérimente l’effet du vent-o-matic et du gravit-o-matic sur les éclaireurs”
- B1 - “Expérimente l’effet du punch-o-matic sur les éclaireurs”
- B2 - “Expérimente l’effet de l’orientation des punch-o-matics sur les éclaireurs”
- B3 - “Expérimente la courbure de la trajectoire des éclaireurs”
- B4 - “Expérimente les plus petites déviations de la trajectoire des éclaireurs”
- B5 - “Expérimente la combinaison de deux punch-o-matics au même endroit”
- B6 - “Expérimente tous les effets étudiés dans les tableaux précédents”
- B7 - “Expérimente l’action du tir-o-matic”
- B8 - “Expérimente l’action de deux tir-o-matics”
- B9 - “Expérimente de plus longues trajectoires des éclaireurs”
- B10 - “Expérimente les trajectoires angulaires près des tir-o-matics”
- B11 - “Expérimente les trajectoires angulaires plus rapides près des tir-o-matics”
- C1 - “Expérimente la courbure de la trajectoire des éclaireurs”
- C2 - “Expérimente la trajectoire des éclaireurs avant, pendant et après l’effet d’un vent-o-matic”
- C3 - “Expérimente pour annuler l’effet d’un premier vent-o-matic”
- C4 - “Expérimente pour annuler l’effet d’un premier vent-o-matic le plus rapidement possible”
- C5 - “Expérimente l’effet du cord-o-matic”
- C6 - “Expérimente l’effet des cord-o-matics”
- C7 - “Expérimente la combinaison des vent-o-matics et des zones fixes de vent”
- C8 - “Expérimente la trajectoire des éclaireurs avant, pendant et après l’effet d’un cord-o-matic”

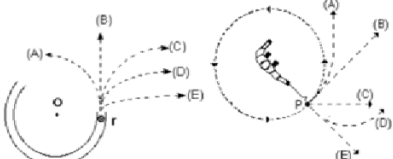
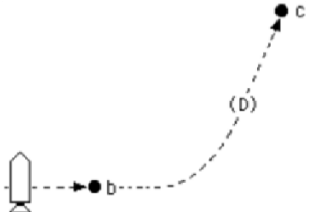
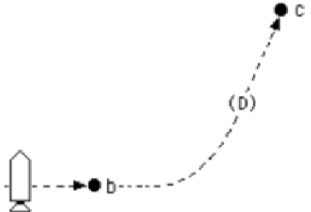
- C9 - “Expérimente les effets étudiés dans les tableaux précédents”
- C10 - “Expérimente l’action du tir-o-matic”
- C11 - “Expérimente l’action de trois tir-o-matics”
- C12 - “Expérimente le changement de vitesse des éclaireurs”
- D1 - “Expérimente la courbure de la trajectoire avec ou sans gravité”
- D2 - “Expérimente la trajectoire des éclaireurs avant, pendant et après l’effet d’un cord-o-matic”
- D3 - Expérimente l’effet du mouvement de l’aspir-o-matic sur les éclaireurs
- D4 - Expérimente les changements de vitesse des éclaireurs avec ou sans gravité
- D5 - Expérimente la combinaison l’effet des ventomatics sur la gravité
- D6 - Expérimente de plus longues trajectoires
- D7 - Expérimente le mouvement des éclaireurs de masses différentes
- D8 - Expérimente le mouvement des éclaireurs de masses différentes
- D9 - “Expérimente l’effet du mouvement de l’aspir-o-matic sur ces éclaireurs de masses différentes”
- D10 - “Expérimente l’effet de différentes hauteurs de chute”

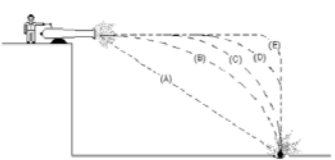
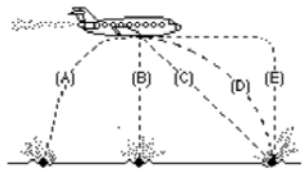
ANNEXE 2

REFERENTIEL DES CONCEPTIONS INITIALES ABORDEES DU FCI PAR
TABLEAU DU JEU MECANIKA (BOUCHER GENESSE, 2013)

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>	C8
	<p>I5 - il y a une force circulaire qui continue à agir sur la roche en sortant (7 A, D)</p>	C8
	<p>CF - Une force centrifuge pousse la pierre vers l'extérieur du cercle (6 C, D, E, 7 C, E)</p>	C8
<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>	C10
	<p>AF6 - Une force cause une accélération jusqu'à une vitesse terminale, et ce assez rapidement. (A)</p>	C12
	<p>AF7 - Une force active se fatigue avec le temps et diminuera son influence (C, E)</p>	C12
<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>	C11
	<p>La vitesse augmente après (B,D)</p>	C11

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

ANNEXE 3

QUESTIONNAIRE DU FCI UTILISE EN PRE ET POST-TEST

1. Deux balles métalliques ont les mêmes dimensions, mais une balle est deux fois plus lourde que l'autre. Au même instant, on laisse tomber les deux balles du sommet du premier étage d'un immeuble. Le temps pris par les balles pour atteindre le sol est :

- 1. environ la moitié pour la balle la plus lourde que pour la plus légère.
- 2. environ la moitié pour la balle la plus légère que pour la plus lourde.
- 3. environ pareil pour les deux balles.
- 4. beaucoup inférieur pour la balle la plus lourde mais pas nécessairement la moitié.
- 5. beaucoup inférieur pour la balle la plus légère mais pas nécessairement la moitié.

2. Les deux balles de la question précédente roulent sur une table horizontale. Arrivées au bout, les deux balles quittent la table avec la même vitesse. Dans cette situation:

- 1. les deux balles arrivent au sol environ à la même distance horizontale de la base de la table.
- 2. la balle la plus lourde arrive au sol environ à la moitié de la distance horizontale parcourue par la balle la plus légère.
- 3. la balle la plus légère arrive au sol environ à la moitié de la distance horizontale parcourue par la balle la plus lourde.
- 4. la balle la plus lourde arrive au sol beaucoup plus près de la base de la table que la balle la plus légère, mais pas nécessairement à la moitié de la distance.
- 5. la balle la plus légère arrive au sol beaucoup plus près de la base de la table que la balle la plus lourde, mais pas nécessairement à la moitié de la distance.

3. Une pierre qu'on laisse tomber du toit d'un édifice à un étage vers la surface de la Terre

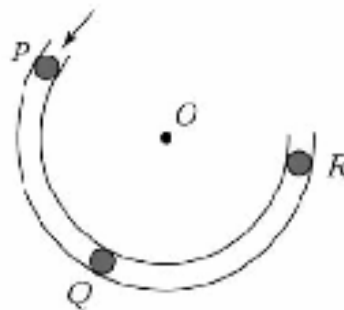
- 1. atteint une vitesse maximale peu après avoir été lâchée puis tombe à vitesse constante par la suite.
- 2. prend de la vitesse à mesure qu'elle tombe car l'attraction gravitationnelle augmente considérablement lorsque la pierre se rapproche de la Terre.
- 3. augmente de vitesse à cause d'une force gravitationnelle presque constante qui agit sur elle.
- 4. tombe à cause de la tendance naturelle qu'ont les objets à être immobile à la surface de la Terre.
- 5. tombe à cause des effets combinés de la force de gravité qui la pousse vers le bas et de la force de l'air qui la pousse vers le bas.

4. Un gros camion entre en collision avec une petite voiture compacte. Pendant la collision,

- 1. le camion exerce une force plus la grande sur la voiture que la voiture sur le camion.
- 2. la voiture exerce une force plus la grande sui le camion que le camion sur la voiture.
- 3. aucun des deux n'exerce de force sur l'autre. La voiture se fait frapper simplement parce qu'elle est devant le camion.
- 4. le camion exerce une force sur la voiture mais la voiture n'exerce pas de force sur le camion.
- 5. le camion exerce une force aussi grande sur la voiture que la voiture sur le camion.

Utilisez l'affirmation et la figure ci-dessous pour répondre aux deux questions suivantes (5 et 6).

La figure ci-dessous illustre un tube sans friction ayant la forme d'un arc de centre O . Le tube est fixé à une table horizontale sans friction. La figure est une vue de haut de la table. Les forces exercées par l'air sont négligeables. Une balle est tirée à grande vitesse dans le tube en P et en sort en R .



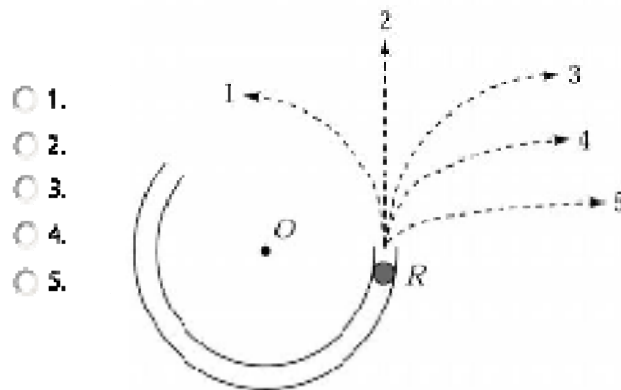
5. Considérez les forces distinctes suivantes :

- A. une force de gravité vers le bas
- B. une force exercée par le tube pointant de Q vers O .
- C. une force en direction du mouvement.
- D. une force pointant de O vers Q .

Laquelle (ou lesquelles) des forces ci-dessus agissent sur la balle quand elle se trouve dans le tube au point Q ?

- 1. A seulement.
- 2. A et B.
- 3. A et C.
- 4. A, B et C.
- 5. A, C et D.

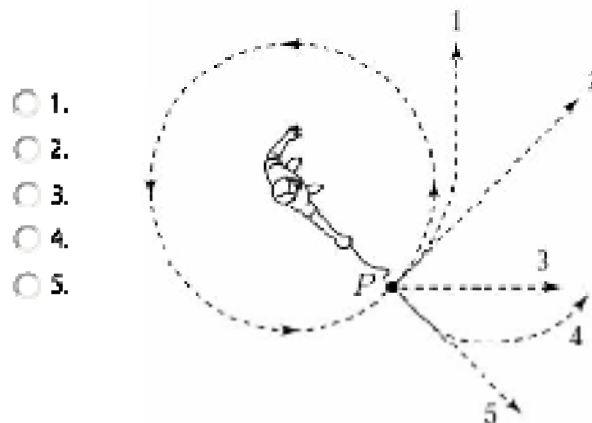
6. Laquelle des 5 trajectoires ci dessous la balle suivra : elle après sa sortie en R si la table est sans frottement ?



7. On attache une balle d'acier à un câble puis on la fait tourner suivant une trajectoire circulaire horizontale tel qu'illustré dans la figure ci dessous.

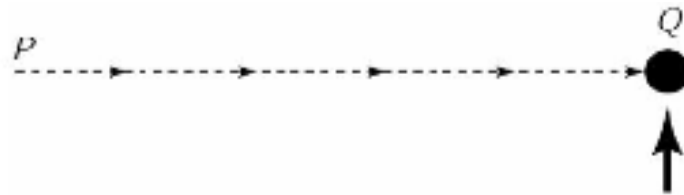
Au point P , le câble se casse soudainement: près de la balle.

Si on observe ces événements d'un point situé directement au dessus, laquelle des 5 trajectoires ci dessous suivra la balle après que le câble se soit cassé?

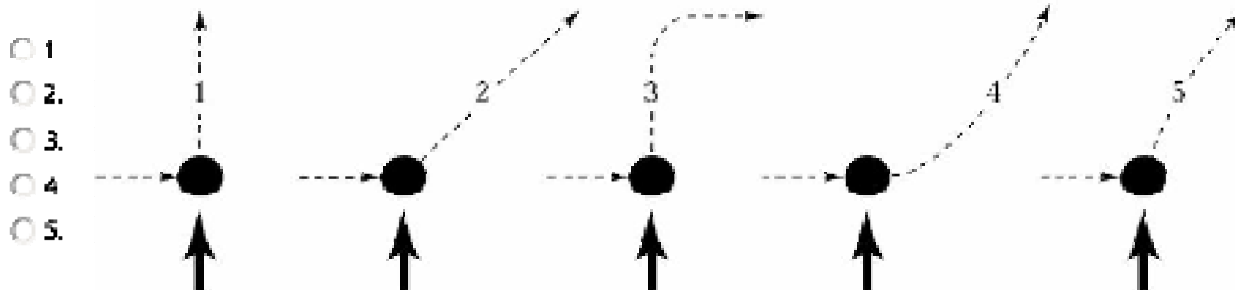


Utilisez l'énoncé et la figure ci-dessous pour répondre aux quatre prochaines questions (8-11).

La figure illustre une rondelle de hockey vue du dessus qui glisse à vitesse constante v_1 , en ligne droite du point P au point Q, sur une surface horizontale sans friction. Les forces exercées par l'air sont négligeables. Quand la rondelle atteint le point Q, elle reçoit un rapide coup horizontal orienté dans la direction de la flèche en gras. Si la rondelle avait été au repos au point P, le coup lui aurait donné une vitesse horizontale v_2 dans la direction du coup.



8. Laquelle des 5 trajectoires ci-dessous la rondelle suivra-t-elle après avoir reçu le coup?



9. La vitesse de la rondelle juste après qu'elle ait reçu le coup est

1. égale à la vitesse v_1 qu'elle avait avant de recevoir le coup.
 2. égale à la vitesse v_2 provenant du coup et indépendante de la vitesse v_1 .
 3. égale à la somme arithmétique des vitesses v_1 et v_2 .
 4. inférieure à la fois à v_1 et à v_2 .
 5. supérieure à la fois à v_1 et à v_2 , mais inférieure à la somme arithmétique de ces vitesses.

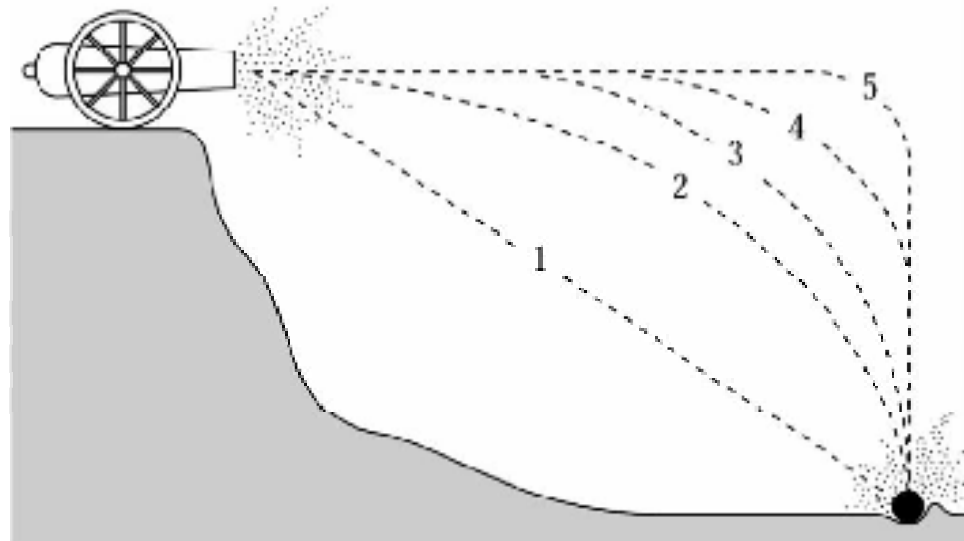
10. Le long de la trajectoire sans friction que vous avez choisie à la question 8, la vitesse de la rondelle après qu'elle ait reçu le coup

1. est constante.
 2. augmente continuellement.
 3. diminue continuellement.
 4. augmente pour un certain temps, puis diminue ensuite.
 5. est constante pour un certain temps, puis diminue ensuite.

11. Le long de la trajectoire sans friction choisie à la question 8, la (les) principale(s) force(s) agissant sur la rondelle après qu'elle ait reçu le coup est (sont)

- 1. une force gravitationnelle dirigée vers le bas.
- 2. une force gravitationnelle dirigée vers le bas et une force horizontale dans la direction du mouvement.
- 3. une force gravitationnelle dirigée vers le bas, une force exercée par la surface dirigée vers le haut et une force horizontale dans la direction du mouvement.
- 4. une force gravitationnelle dirigée vers le bas et une force exercée par la surface dirigée vers le haut.
- 5. aucune force n'est appliquée sur la rondelle.

12. Un boulet de canon est tiré du haut d'une falaise, tel qu'illustré ci-dessous. Laquelle des trajectoires 1-5 décrit le mieux la trajectoire du boulet de canon ?

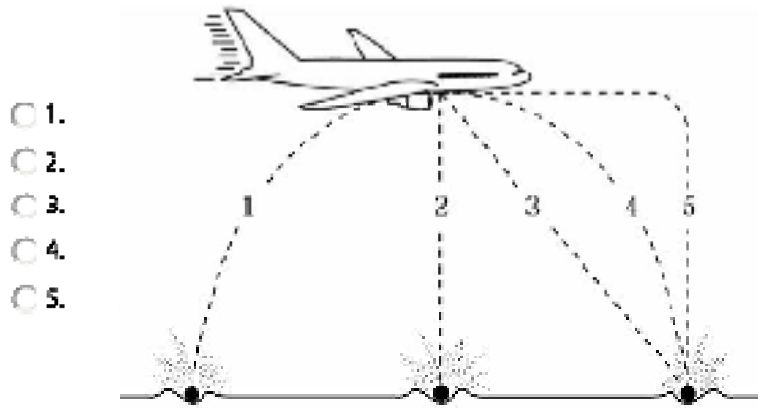


- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

13. Un garçon lance une balle d'acier directement vers le haut. Ne considérez que le mouvement de la balle après qu'elle ait quitté la main du garçon et avant qu'elle ne retombe au sol. Prenez également pour acquis que l'air exerce une force négligeable sur la balle. Dans ces conditions, la (les) force(s) exercée(s) sur la balle est (sont)

- 1. une force gravitationnelle dirigée vers le bas et une force dirigée vers le haut qui diminue progressivement.
- 2. une force dirigée vers le haut qui diminue progressivement du moment où la balle quitte la main du garçon jusqu'au point le plus haut sa trajectoire ; en descendant, la balle ressent une force gravitationnelle dirigée vers bas qui augmente progressivement.
- 3. une force gravitationnelle presque constante dirigée vers le bas et une force dirigée vers le haut qui diminue progressivement jusqu'à ce que la balle atteigne le point le plus haut sa trajectoire ; en descendant, la balle ressent une force gravitationnelle presque constante dirigée vers le bas.
- 4. seulement une force gravitationnelle presque constante dirigée vers le bas.
- 5. aucune de ces réponses. La balle retombe au sol parce que son état naturel est celui d'être au repos sur la surface de la Terre.

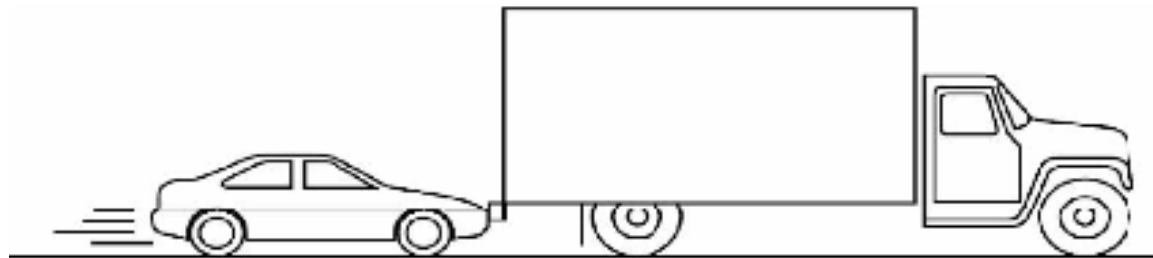
14. Une boule de quilles tombe accidentellement de la soute à bagages d'un avion volant horizontalement. D'après une personne au sol regardant l'avion, laquelle des trajectoires 1 à 5 représente le mieux la trajectoire de la boule de quilles après qu'elle ait quitté l'avion?



- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

Utilisez l'énoncé et la figure ci-dessous pour répondre aux deux questions suivantes (15 et 16).

Un gros camion tombe en panne sur une route. Pour retourner à la ville, il se fait pousser par une voiture compacte, tel qu'illustré dans la figure suivante.



15. Pendant que la voiture, poussant toujours le camion, augmente sa vitesse jusqu'à sa vitesse de croisière,

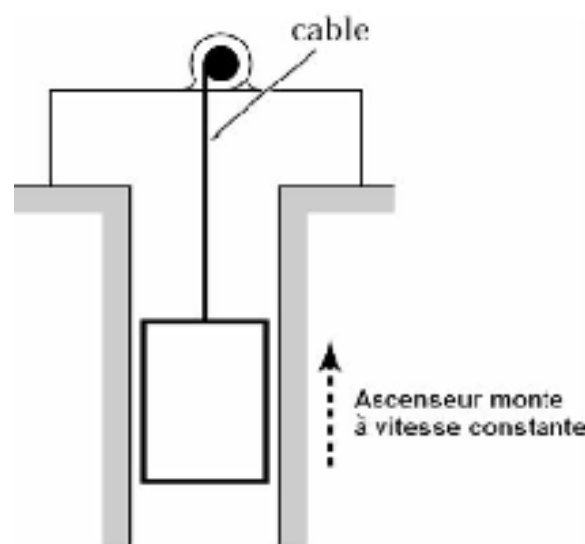
- 1. la force avec laquelle la voiture pousse le camion est aussi grande que la force du camion sur la voiture.
- 2. la force avec laquelle la voiture pousse le camion est plus petite que la force du camion sur la voiture.
- 3. la force avec laquelle la voiture pousse le camion est plus grande que la force du camion sur la voiture.
- 4. le moteur de la voiture est en marche, alors la voiture pousse le camion, par contre, le moteur du camion est à l'arrêt, alors le camion ne peut pas exercer une force sur la voiture. Le camion n'est poussé vers l'avant que parce qu'il est dans le chemin de la voiture.
- 5. ni la voiture ni le camion n'exercent de forces l'un sur l'autre. Le camion n'est poussé vers l'avant que parce qu'il est dans le chemin de la voiture.

16. Une fois que le conducteur de la voiture atteint la vitesse de croisière désirée pour pousser le camion,

- 1. la force avec laquelle la voiture pousse le camion est égale à la force du camion sur la voiture.
- 2. la force avec laquelle la voiture pousse le camion est inférieure à la force du camion sur la voiture.
- 3. la force avec laquelle la voiture pousse le camion est supérieure à la force du camion sur la voiture.
- 4. le moteur de la voiture est en marche, alors la voiture pousse le camion, par contre, le moteur du camion est à l'arrêt, alors le camion ne peut pas exercer une force sur la voiture. Le camion n'est poussé vers l'avant que parce qu'il est dans le chemin de la voiture.
- 5. ni la voiture ni le camion n'exercent de forces l'un sur l'autre. Le camion n'est poussé vers l'avant que parce qu'il est dans le chemin de la voiture.

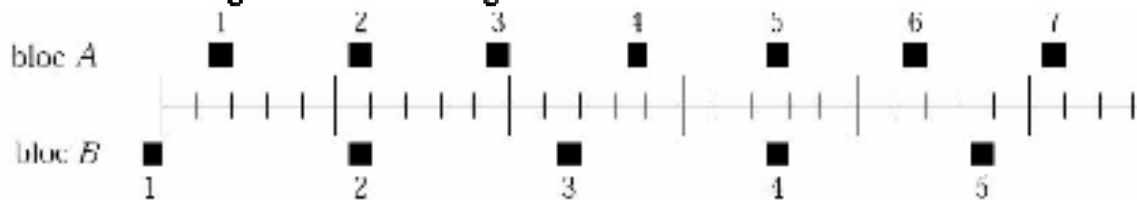
17. Un câble d'acier tire un ascenseur pour qu'il monte à vitesse constante, tel qu'illustré dans la figure suivante. Tous effets de frottements sont négligeables. Dans cette situation, les forces appliquées sur l'ascenseur sont telles que

- 1. la force du câble dirigée vers le haut est plus grande que la force de gravité dirigée vers le bas.
- 2. la force du câble dirigée vers le haut est égale à la force de gravité dirigée vers le bas.
- 3. la force du câble dirigée vers le haut est plus petite que la force de gravité dirigée vers le bas.
- 4. la force du câble dirigée vers le haut est plus grande que la somme de la force de gravité dirigée vers le bas et de la force dirigée vers le bas causée par l'air.
- 5. aucune de ces réponses. L'ascenseur monte car le câble raccourci et non à cause d'une force vers le haut exercée par le câble sur l'ascenseur.



20. Les carrés numérotés de la figure suivante représentent la position de deux blocs à des intervalles de 0,20 s. Les blocs commencent à se déplacer à partir de leur position initiale respective à des accélérations constantes. Les accélérations de ces deux blocs sont les suivantes :

A. une force gravitationnelle dirigée vers le bas



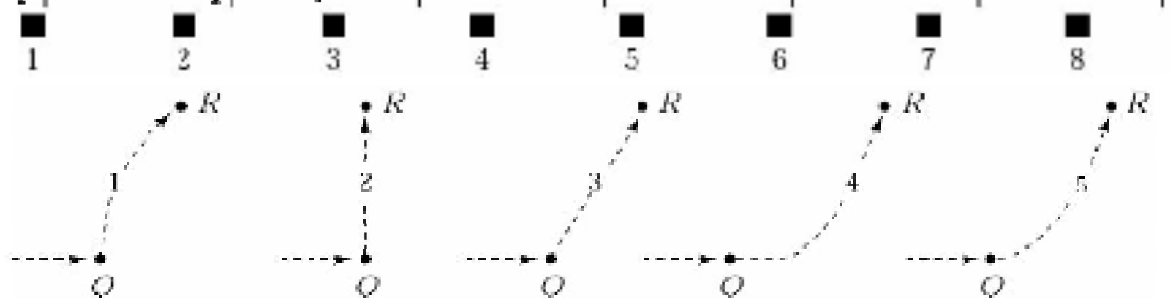
- 1. A seulement.
- 2. L'accélération de A est plus grande que l'accélération de B.
- 3. L'accélération de A est égale à l'accélération de B. Ces deux accélérations sont plus grande que zéro.
- 4. L'accélération de B est plus grande que l'accélération de A.
- 5. L'accélération de A est égale à l'accélération de B. Ces deux accélérations sont nulles.
- 6. Les informations fournies ne sont pas suffisantes pour répondre à la question.

L'énoncé et la figure ci-dessous s'appliquent aux quatre questions suivantes (21 à 24).

Un vaisseau spatial dérive de côté dans l'espace du point P au point Q tel qu'illustré. Le vaisseau n'est soumis à aucune force extérieure. À partir du point Q, le moteur du vaisseau démarre et produit une poussée constante (force sur le vaisseau) à angle droit par rapport à la droite PQ. Cette poussée constante est maintenue jusqu'à ce que le vaisseau spatial atteigne un point R dans l'espace.



21. Laquelle des trajectoires 1 à 5 ci-dessous représente le mieux la trajectoire du vaisseau spatial entre les points Q et R ?



- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6. Oui, aux instants 2 et 3.
- 7. Oui, à un certain temps dans l'intervalle entre les instants 3 et 4.

22. Pendant son mouvement du point Q au point R, la vitesse du vaisseau spatial

- 1. est constante.
- 2. augmente continuellement.
- 3. diminue continuellement.
- 4. augmente pendant un certain temps puis devient constante.
- 5. est constante pendant un certain temps puis diminue par la suite.

23. Au point R, le moteur du vaisseau spatial est arrêté et la poussée devient immédiatement nulle. Laquelle des trajectoires 1-5 suivantes le vaisseau suivra-t-il après le point R?

- 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.
 - 5.
-

24. Au delà du point S, la vitesse du vaisseau spatial

- 1. est constante.
- 2. augmente continuellement.
- 3. diminue continuellement.
- 4. augmente pendant un certain temps puis devient constante.
- 5. est constante pendant un certain temps puis diminue par la suite.

25. Une femme exerce une force horizontale constante sur une grande boîte. Elle cause ainsi un déplacement de la boîte à vitesse constante v_0 sur un plancher horizontal. La force horizontale constante exercée par la femme

- 1. a la même grandeur que le poids de la boîte.
- 2. est plus grande que le poids de la boîte.
- 3. a la même grandeur que la force sur la boîte qui s'oppose au mouvement.
- 4. est plus grande que la force résultante sur la boîte qui s'oppose au mouvement.
- 5. est plus grande que le poids de la boîte ou que la force sur la boîte qui s'oppose au mouvement.

26. En supposant que la femme de la question précédente exerce une force horizontale constante deux fois plus grande en poussant la boîte sur le même plancher horizontal, alors la boîte se déplace

- 1. à une vitesse constante qui est le double de v_0 de la question précédente.
- 2. à une vitesse constante plus grande que v_0 de la question précédente, mais pas nécessairement le double.
- 3. à vitesse constante plus grande que v_0 de la question précédente pendant un moment, puis avec une vitesse qui augmente par la suite.
- 4. à une vitesse qui augmente un moment, puis à vitesse constante par la suite.
- 5. avec une vitesse qui augmente continuellement.

27. Si la femme de la question 25 arrête soudainement de pousser sur la boîte, alors la boîte

- 1. s'immobilise immédiatement.
- 2. se déplace à vitesse constante pendant un moment, puis s'arrête graduellement.
- 3. commence immédiatement à ralentir jusqu'à ce qu'elle s'arrête.
- 4. continue à vitesse constante.
- 5. augmente sa vitesse pendant un moment, puis ralentit jusqu'à ce qu'elle s'arrête.

28. Dans la figure ci-dessous, l'élève A a une masse de 75 kg et l'élève B a une masse de 57 kg. Ils sont assis face à face sur des chaises identiques. L'élève A place ses pieds nus sur les genoux de l'élève B, tel qu'illustré. Puis, l'élève A pousse soudainement sur les genoux de l'élève B, provoquant le mouvement des deux chaises.



Durant la poussée alors que les deux élèves sont toujours en contact,

- 1. aucun des élèves n'exerce une force sur l'autre.
- 2. l'élève A exerce une force sur l'élève B, mais l'élève B n'exerce pas de force sur A.
- 3. chaque élève exerce une force sur l'autre, mais l'élève B exerce une force plus grande.
- 4. chaque élève exerce une force sur l'autre, mais l'élève A exerce une force plus grande.
- 5. chaque élève exerce autant de force l'un sur l'autre.

29. Une chaise à roulette vide est immobile sur un plancher. Considérez les forces suivantes :

- A. la force de gravité vers le bas.
- B. la force exercée par le plancher vers le haut.
- C. la force nette exercée vers le bas par l'air.

Quelle(s) force(s) agit(agissent) sur la chaise ?

- 1. A seulement.
- 2. A et B
- 3. B et C
- 4. A, B et C
- 5. Aucune des forces. (Comme la chaise est immobile, il n'y pas de forces qui agissent sur elle.)

30. Malgré un vent très fort, une joueuse de tennis arrive à frapper la balle avec sa raquette pour que la balle passe par dessus le filet jusque sur le terrain de son adversaire. Considérez les forces suivantes :

- A. la force de gravité vers le bas.
- B. la force exercée par la frappe.
- C. la force exercée par l'air.

Laquelle (lesquelles) de ces forces agit (agissent) sur la balle de tennis alors qu'elle n'est plus en contact avec la raquette et qu'elle n'a pas encore touché le sol ?

- 1. A seulement
- 2. A et B
- 3. A et C
- 4. B et C
- 5. A, B et C

**Vous avez répondu à toutes les questions?
Cliquez une fois sur le bouton "Envoyer"**

ANNEXE 4

QUESTIONNAIRE PERCEPTUEL PRECEDANT LE POST TEST

*

J'ai apprécié l'utilisation du jeu Mécanika dans le cadre de mon cours.

Tout à fait d'accord D'accord Pas d'accord Pas du tout d'accord

L'utilisation de Mécanika m'a aidé dans ma compréhension en physique.

Tout à fait d'accord D'accord Pas d'accord Pas du tout d'accord

Est-ce que vous avez eu des problèmes techniques majeurs avec le jeu lors de cette expérience (jeu très lent, jeu qui se déconnecte souvent, problèmes récurrents d'accès à votre compte, blocage à un niveau)?

Oui Non

Avez-vous déjà joué à Mécanika sur le site de Science-en-Jeu?

Oui Non

Si oui, avez-vous préféré la version sur ce site?

Oui Non