

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

EFFETS DE L'UTILISATION DU JEU VIDÉO ÉDUCATIF « LA REMORQUEUSE DE  
L'ESPACE » CONÇU SPÉCIFIQUEMENT POUR INTERVENIR SUR CERTAINES  
CONCEPTIONS EN PHYSIQUE MÉCANIQUE

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN ÉDUCATION

PAR

FARHANG FORGHANI FAR

MARS 2026

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.12-2023). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
RÉSUMÉ.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 PROBLÉMATIQUE.....	3
1.1 Contexte social.....	3
1.1.1 L'ordinateur au service de l'élève ou l'élève au service de l'ordinateur.....	3
1.1.2 Le contenu peu intéressant des formations scientifiques.....	5
1.1.3 Pauvreté de la culture scientifique.....	7
1.2 Contexte scientifique.....	10
1.2.1 Les conceptions initiales des élèves en physique-mécanique.....	11
1.2.2 Les conceptions initiales des élèves en informatique.....	15
1.2.3 Le manque de recherche suffisante.....	17
1.3 L'objectif de recherche et les questions appréhendées.....	18
1.4 La question de recherche.....	19
CHAPITRE 2 CADRE THÉORIQUE.....	20
2.1 Changement conceptuel.....	20
2.1.1 La conception et le paradigme constructiviste.....	20
2.1.2 Les conceptions initiales.....	22
2.1.3 Le processus du changement conceptuel.....	24
2.1.4 Des modèles de changement conceptuel.....	26
2.1.4.1 Le modèle de Posner <i>et al.</i> (1982).....	26
2.1.4.2 Le modèle de diSessa (1993).....	29
2.1.4.3 Le modèle de Vosniadou (1994).....	31
2.1.4.4 Modèle de la prévalence conceptuelle de Potvin (2017).....	32
2.1.4.4.1 La coexistence des conceptions.....	33
2.1.4.4.2 L'approche pragmatiste.....	34
2.1.4.5 Discussion sur les implications éducatives des modèles présentés.....	37
2.2 Les conceptions initiales en physique mécanique.....	41
2.2.1 Le diagnostic des conceptions initiales en physique.....	41
2.2.2 Outils d'évaluation des conceptions initiales en physique.....	42
2.2.2.1 Le Force Concept Inventory (FCI).....	43
2.2.2.2 Le kinematics concept test (KCT).....	49

2.2.2.3	Le <i>Force and Motion Conceptual Evaluation</i> (FMCE).....	51
2.2.2.4	Le test FVA (Force, Velocity, Acceleration) .....	52
2.2.3	Taxonomie des conceptions initiale en cinématique .....	53
2.2.3.1	La vitesse comme un taux .....	54
2.2.3.2	La vitesse comme vecteur unidimensionnel.....	54
2.2.3.3	Addition des vitesses en deux dimensions .....	55
2.2.3.4	L'accélération comme un taux .....	56
2.2.3.5	L'accélération comme vecteur unidimensionnel.....	56
2.2.3.6	Confusion entre déplacement et distance parcourue .....	57
2.2.3.7	Gravité.....	58
2.3	Les jeux vidéo sérieux éducatifs et les simulations .....	61
2.3.1	La simulation .....	63
2.3.1.1	Positionnement didactique de la simulation.....	63
2.3.1.2	La structure de la simulation .....	65
2.3.2	Les jeux vidéo sérieux éducatifs.....	66
2.3.2.1	La distinction entre les jeux vidéo sérieux et la simulation .....	67
2.3.2.2	La distinction entre les jeux vidéo ludiques et les jeux vidéo sérieux .....	69
2.3.2.3	Le positionnement didactique des jeux vidéo sérieux.....	69
2.3.2.4	Les jeux vidéo sérieux et enseignement de la physique-mécanique .....	72
2.4	Hypothèses de recherche .....	75
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE .....		77
3.1	Type de recherche.....	77
3.2	Population et échantillonnage.....	78
3.3	Outils de recherche .....	79
3.3.1	Le jeu vidéo « La remorqueuse de l'espace » .....	79
3.3.1.1	Mode privilégié pour le projet d'intervention .....	79
3.3.1.2	Déroulement du jeu .....	80
3.3.2	Le test .....	83
3.3.3	Guide informatif pour l'enseignant .....	85
3.3.4	Cahier du participant .....	85
3.4	Déroulement.....	86
3.5	Méthode d'analyse.....	88
3.6	Limites potentielles de la recherche.....	89
3.7	Considérations éthiques .....	90
3.7.1	Respect de la confidentialité et de l'anonymat .....	90
3.7.2	Obtention d'un consentement éclairé .....	90
CHAPITRE 4 RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS.....		91
4.1	Statistiques descriptives.....	91
4.2	Aperçu des résultats généraux .....	92

4.3	Discussion.....	97
4.3.1	Réponse à la question spécifique de recherche 1 .....	98
4.3.2	Réponse à la question spécifique de recherche 2 .....	99
4.4	Les limites de l'étude réalisée.....	120
4.4.1	Limitation liée à l'échantillon d'enseignants.....	120
4.4.2	Faible taux de participation des élèves .....	121
4.4.3	L'intégration du jeu .....	121
CONCLUSION .....		122
ANNEXE A POST-TEST SUR LA CINÉMATIQUE.....		126
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....		133

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Taux d'équipement (%) en écrans interactifs dans le logement principal des jeunes de 17 ans en 2017 .....	3
Figure 1.2	Temps d'utilisation d'appareil avec écran par les jeunes de 17 ans, en moyenne quotidienne au cours de la semaine précédant l'enquête, selon qu'ils disposent ou non de l'appareil dans leur chambre (%).....	4
Figure 1.3	Pourcentage d'étudiants diplômés postsecondaires selon le domaine d'études .....	6
Figure 2.1	Les données provenant du <i>Modeling Instruction Project</i> entre 1995 et 1998.....	47
Figure 2.2	Distribution des profils d'étudiants parmi les gains FCI.....	49
Figure 2.3	Un histogramme des publications liées à l'utilisation des jeux sérieux en éducation de 2009 à 2018 .....	62
Figure 2.4	La relation entre les simulations, les jeux vidéo et les jeux vidéo sérieux éducatifs.....	63
Figure 2.5	La simulation entre monde matériel et théorie .....	64
Figure 2.6	Une structure feuilletée pour les environnements de simulation.....	65
Figure 3.1	Capture d'écran de l'échelon de difficulté indiqué par des couleurs différentes .....	80
Figure 3.2	Capture d'écran du jeu démontrant le moment de l'accident avec la lune et la propagation des batteries sur la surface de la lune .....	81
Figure 3.3	Capture d'écran de l'emplacement des batteries sur l'écran noir à carreaux avec les coordonnées cartésiennes et le tableau de contrôle à gauche .....	82
Figure 3.4	Procédés du déroulement pour les groupes 1 et 2 .....	87
Figure 4.1	Gain en pourcentage pour les deux groupes témoin et expérimental .....	93
Figure 4.2	Les gains observés en pourcentage dans les deux groupes en fonction de la classification conceptuelle du test .....	94
Figure 4.3	Pourcentage de réponses correctes et incorrectes dépassant la limite autorisée.....	96
Figure 4.4	Comparaison du pourcentage de choix erronés dans le prétest avec celui observé dans le post-test pour les mêmes options .....	97

Figure 4.5	Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 1 entre les groupes expérimental et témoin.....	100
Figure 4.6	Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 2 entre les groupes expérimental et témoin.....	101
Figure 4.7	Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 3 entre les groupes expérimental et témoin.....	103
Figure 4.8	Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 4 entre les groupes expérimental et témoin.....	104
Figure 4.9	Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 5 entre les groupes expérimental et témoin.....	105
Figure 4.10	Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 6 entre les groupes expérimental et témoin.....	107
Figure 4.11	Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 7 entre les groupes expérimental et témoin.....	108
Figure 4.12	Comparaison du choix de la mauvaise réponse (1) à la question 8 entre les groupes expérimental et témoin.....	110
Figure 4.13	Comparaison du choix de la mauvaise réponse (2) à la question 8 entre les groupes expérimental et témoin.....	111
Figure 4.14	Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 9 entre les groupes expérimental et témoin.....	112
Figure 4.15	Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 10 entre les groupes expérimental et témoin.....	113
Figure 4.16	Comparaison du choix de la mauvaise réponse (1) à la question 11 entre les groupes expérimental et témoin.....	114
Figure 4.17	Comparaison du choix de la mauvaise réponse (2) à la question 11 entre les groupes expérimental et témoin.....	115
Figure 4.18	Comparaison du choix de la mauvaise réponse (2) à la question 12 entre les groupes expérimental et témoin.....	116
Figure 4.19	Comparaison du choix de la mauvaise réponse (1) à la question 13 entre les groupes expérimental et témoin.....	117
Figure 4.20	Comparaison du choix de la mauvaise réponse (2) à la question 13 entre les groupes expérimental et témoin.....	118

Figure 4.21 Comparaison du choix de la mauvaise option pour la question 14 entre les groupes expérimentaux et témoin..... 119

Figure 4.22 Comparaison du choix de la mauvaise option pour la question 15 entre les groupes expérimentaux et témoin..... 120

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Les Conceptions newtoniens dans FCI (Hestenes <i>et al.</i> , 1992).....	44
Tableau 2.2	La taxonomie des conceptions initiales dans le test FCI (Hestenes <i>et al.</i> , 1992).....	45
Tableau 2.3	Relation du KCT entre conceptions et représentations (notées par « X ») et numéros des items qui sont utilisés et adaptés du FCI et du TUG-K (Test of Understanding Graphs in Kinematics) .....	51
Tableau 2.4	Groupes d'éléments, principe physique testé et idées fausses courantes commises par les étudiants .....	52
Tableau 2.5	La taxonomie des conceptions initiales dans FCI et FCME sur la gravité.....	58
Tableau 2.6	La taxonomie des conceptions initiales et des conceptions erronées .....	61
Tableau 2.7	Définition des jeux vidéo.....	67
Tableau 3.1	Description des étapes du jeu .....	81
Tableau 3.2	La taxonomie des conceptions erronées .....	84
Tableau 3.3	Correspondance des étapes du jeu avec les questions du test.....	85
Tableau 4.1	La catégorie conceptuelle .....	94

## RÉSUMÉ

Ce mémoire s'appuie sur le paradigme constructiviste et sur la théorie du changement conceptuel, selon lesquels les conceptions initiales des apprenants, bien qu'erronnées d'un point de vue scientifique, jouent un rôle central dans la construction de nouvelles connaissances. L'objectif principal de cette recherche est d'examiner si l'utilisation d'un jeu vidéo éducatif spécifiquement conçu pour la mécanique newtonienne, *La Remorqueuse de l'Espace*, favorise une meilleure compréhension des concepts cinématiques et contribue à la correction des conceptions erronnées fréquemment observées chez les élèves. À cette fin, un test conceptuel de quinze questions a été élaboré à partir de quatre instruments validés : le *Force Concept Inventory* (FCI), le *Kinematics Concept Test* (KCT), le *Force and Motion Conceptual Evaluation* (FMCE) et le *Force, Velocity, Acceleration Test* (FVA). La méthodologie adoptée repose sur une approche empirique quantitative impliquant deux groupes d'élèves de cinquième secondaire. Les résultats obtenus indiquent un léger gain conceptuel en faveur du groupe expérimental, bien que la différence observée ne soit pas statistiquement significative ( $p > 0,05$ ,  $N = 103$ ). Cependant, l'analyse détaillée des données révèle que l'utilisation du jeu a contribué à une meilleure compréhension de la distinction entre les concepts de position et de vitesse ( $p = 0,02$ ,  $N = 103$ ). Ce travail met en lumière le potentiel des environnements ludiques numériques, plus particulièrement du jeu vidéo éducatif *La Remorqueuse de l'Espace*, pour soutenir l'apprentissage des sciences physiques, tout en soulignant leurs limites actuelles et les pistes de recherche futures nécessaires à une intégration pédagogique plus efficace.

**Mots-clés :** jeu vidéo sérieux ; mécanique newtonienne ; cinématique ; conceptions initiales ; conceptions erronnées ; changement conceptuel

## ABSTRACT

This master's thesis is grounded in the constructivist paradigm and the theory of conceptual change, which posit that learners' initial conceptions, although scientifically inaccurate, play a central role in the construction of new knowledge. The main objective of this research is to examine whether the use of an educational video game specifically designed for Newtonian mechanics, *Space Tow Truck*, supports a better understanding of kinematic concepts and contributes to addressing the misconceptions frequently observed among students. To this end, a fifteen-item conceptual test was developed based on four validated instruments: the Force Concept Inventory (FCI), the Kinematics Concept Test (KCT), the Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE), and the Force, Velocity, Acceleration Test (FVA). The study employed a quantitative empirical approach involving two groups of Grade 11 students. Results indicate a slight conceptual gain in favor of the experimental group, although the difference was not statistically significant ( $p > 0.05$ ,  $N = 103$ ). However, a more detailed analysis revealed that the use of the game contributed to a better understanding of the distinction between the concepts of position and velocity ( $p = 0.02$ ,  $N=103$ ). This work highlights the potential of digital game-based learning environments, particularly the educational video game *Space Tow Truck*, to support learning in physics education, while also underscoring their current limitations and the need for further investigation to optimize their pedagogical integration.

**Keywords:** serious game; Newtonian mechanics; kinematics; initial conceptions; misconceptions; conceptual change

## INTRODUCTION

Aujourd'hui, les ordinateurs sont entrés dans notre vie quotidienne, de sorte que chaque personne les utilise d'une manière ou d'une autre. Le grand public considère qu'il est naturel d'avoir un ordinateur individuel, particulièrement dans les sociétés plus modernes et avancées. Bien que dans le passé l'idée que tous les étudiants aient accès à un ordinateur pouvait apparaître surréelle, presque tous les étudiants et les élèves y ont accès de nos jours.

Actuellement, l'informatique s'est intégrée à notre quotidien, au point que chacun l'utilise d'une manière ou d'une autre. Il paraît désormais évident, pour la majorité des gens, de posséder un ordinateur personnel, surtout dans les sociétés où les technologies occupent une place centrale. Alors qu'autrefois, l'idée que chaque étudiant puisse disposer d'un ordinateur pouvait apparaître surréelle, ils y ont aujourd'hui presque tous accès.

Il a toujours été question de savoir ce que le public, la société et le monde de l'éducation pourraient faire de cette accessibilité aux ordinateurs. Malgré les influences sociales qui sont fortement associées à la politique et au commerce, nous pouvons envisager l'ordinateur comme une machine pour l'enseignement qui peut enrichir notre pensée et modifier nos procédés d'acquisition des connaissances. Pendant la crise pandémique (2019-2020), l'utilisation de ces appareils a démontré son importance et a été sérieusement mise à l'épreuve.

L'utilisation des technologies informatiques est aujourd'hui marquée par l'introduction de la simulation. Les logiciels éducatifs comme les jeux vidéo et d'autres simulations informatiques occupent de plus en plus de place dans notre société et dans notre culture. Aux États-Unis, 97 % des adolescents jouent sur l'ordinateur, sur Internet, sur des appareils portatifs ou des consoles (Lenhart *et al.*, 2008).

À l'égard de l'utilisation des technologies informatiques en éducation, des logiciels et des jeux éducatifs peuvent produire une atmosphère éducative riche, pouvant rendre les activités en classe plus attrayantes pour les étudiants. Par ailleurs, les cours de sciences aujourd'hui, malgré les réformes pédagogiques, sont souvent dirigés sous forme magistrale et n'ont parfois d'autre but que de transmettre des concepts scientifiques établis et de faire maîtriser à l'étudiant la résolution de

problèmes par des méthodes répétitives et persuasives. Pourtant, les simulations et les jeux éducatifs sont très variés et les recherches empiriques sur leur efficacité sont vagues, remplies d'ambiguïtés et contiennent des problèmes au niveau de leur méthodologies. En fournissant des matériaux suffisants et appropriés, un contexte constructif pour les étudiants peut être élaboré et basé sur l'intuition scientifique des élèves afin que ceux-ci soient capables de structurer leurs propres démarches intellectuelles.

Malgré le fait que plusieurs des meilleures théories scientifiques actuelles en éducation soient utilisées pour guider la conception des logiciels et des jeux qui connaissent un certain succès commercial, les jeux éducatifs et les autres simulations qui sont principalement conçus à des fins académiques sont rarement amusants et ne transposent pas nécessairement les théories de l'éducation dans un format adapté au média du jeu vidéo.

La problématique de recherche de ce travail se situe dans un contexte d'utilisation d'une plateforme informatique destinée à favoriser l'enseignement et les apprentissages des sciences, plus particulièrement de la physique-mécanique, au niveau de la cinquième secondaire et possiblement au niveau collégial.

# CHAPITRE 1

## PROBLÉMATIQUE

### 1.1 Contexte social

#### 1.1.1 L'ordinateur au service de l'élève ou l'élève au service de l'ordinateur

L'arrivée des ordinateurs personnels a permis de construire plusieurs environnements idéaux pour offrir des situations interactives qui développent et qui soutiennent l'intuition scientifique des élèves, surtout par les jeux vidéo, étant donné leur popularité chez les jeunes.

L'importance sociale de ce thème devient plus prononcée lorsque nous acceptons le fait que presque toutes les familles avec des enfants sont au moins équipées d'une télévision, d'un ordinateur ou de cellulaires munis d'une connexion Internet, et passent beaucoup de temps devant les écrans.

Philippon et Spilka (2019), dans leur recherche basée sur leur enquête ESCAPAD en 2017, montrent le taux d'équipement des personnes âgées de plus de dix-sept ans en appareils électroniques avec écrans (Figure 1.1). Leurs résultats nous dévoilent que la très grande majorité d'entre eux sont équipés de tels appareils.

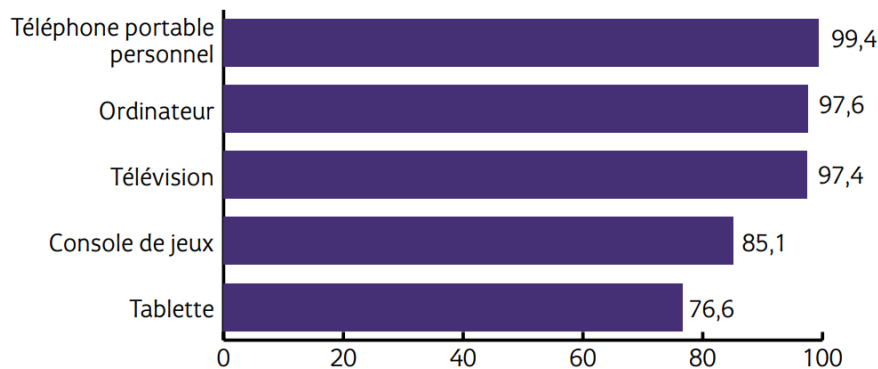


Figure 1.1 Taux d'équipement (%) en écrans interactifs dans le logement principal des jeunes de 17 ans en 2017

Aussi, basés sur la même enquête, les résultats en lien avec le temps passé par ces personnes devant les écrans sont présentés ici-bas (Figure 1.2). Ces résultats démontrent la présence importante des

technologies numériques dans les maisons, dans les écoles et ainsi dans l'environnement social qui les entoure en général.

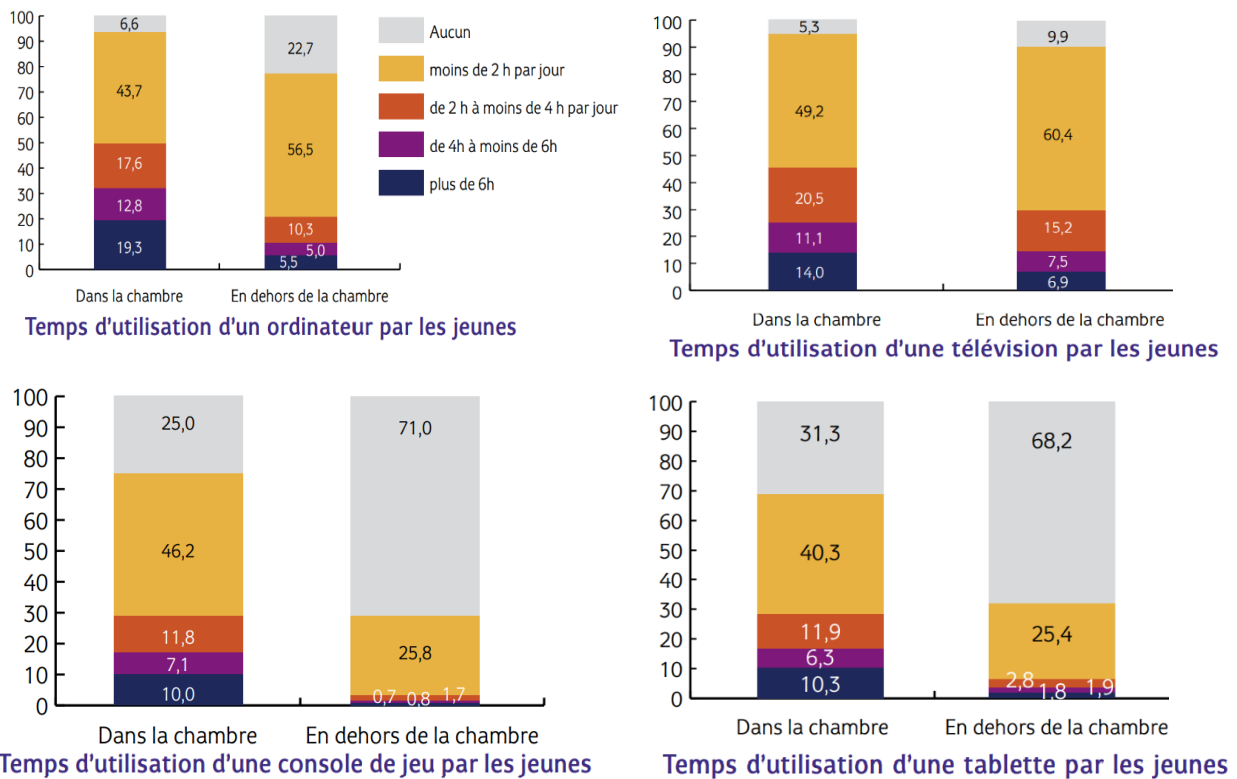


Figure 1.2 Temps d'utilisation d'appareil avec écran par les jeunes de 17 ans, en moyenne quotidienne au cours de la semaine précédant l'enquête, selon qu'ils disposent ou non de l'appareil dans leur chambre (%)

Les résultats publiés au sujet du temps passé sur les écrans par les jeunes de 17 ans, en distinguant les différents types d'écrans possibles, nous montrent que ceux-ci se sont maintenant imposés dans notre quotidien et permettent aux jeunes d'avoir accès à d'innombrables contenus. Ces nouvelles technologies en tant que dispositif sociotechnique faisant partie intégrante d'une nouvelle donne sociale, indépendamment de toute référence à la psychopathologie (Philippon et Spilka, 2019). Une réflexion à ce sujet nous amène à comprendre que ces changements et la manière dont ces dispositifs évoluent entraînent des répercussions sur les phénomènes sociaux.

De plus, notons que si les TIC (technologies de l'information et des communications) jouent un rôle majeur dans le processus de socialisation, elles tiennent une place non négligeable dans les processus de construction identitaire (Philippon et Spilka, 2019). Dans ce processus ininterrompu, les forces sociales génèrent le changement et la construction d'identité qui sont complètement

influencés par les implications politiques et économiques du marché. Cela suscite souvent des inquiétudes qui peuvent paraître légitimes parmi les parents et les éducateurs qui observent leurs enfants passer des heures devant les écrans.

Parmi les conséquences négatives et les comportements problématiques générés notamment par les jeux vidéo et généralement relatif aux usages problématiques des TIC, on peut nommer les suivants : réduction du temps de sommeil (Léger *et al.*, 2012), entraînement de comportements problématiques voire de nouvelles formes d'addiction (Lenihan, 2007), problèmes de violence (Funk *et al.*, 2004), prévalence des passions obsessives (Davis, 2001) et aussi les inquiétudes qui existent en raison du lavage de cerveau et de la modification cognitive de l'utilisateur.

Bien que l'enseignement assisté par des ordinateurs chargés de logiciels éducatifs et de simulateurs puisse signifier que l'ordinateur est programmé pour enseigner aux enfants, nous pouvons choisir l'idée que ce sont les enfants qui programment l'ordinateur.

Dans ma vision, l'enfant programme l'ordinateur et, ce faisant, acquiert la maîtrise de l'un des éléments de la technologie la plus moderne et la plus puissante, tout en établissant un contact intime avec certaines des notions les plus profondes de la science, des mathématiques, et de l'art de la construction des modèles intellectuels. (Papert, 2020, p. 4 [Notre traduction])

L'utilisation d'une plateforme informatique destinée à favoriser l'enseignement et les apprentissages des sciences peut enrichir la situation d'apprentissage-enseignement et permettre de traiter efficacement ces situations.

### **1.1.2 Le contenu peu intéressant des formations scientifiques**

Le site Web de Statistique Canada (2021, *voir note*<sup>1</sup>) répertorie le nombre d'étudiants dans diverses disciplines au niveau collégial et universitaire au Québec ainsi que le nombre total d'étudiants, jusqu'à l'année 2018. Selon les statistiques canadiennes, on peut calculer le pourcentage d'étudiants dans chaque domaine au niveau collégial et universitaire puis on peut les comparer.

Sur la base de données de Statistique Canada, les résultats obtenus sur le pourcentage d'étudiants dans différents domaines d'études au niveau collégial et universitaire sont présentés dans la figure

ci-dessous (Figure 1.3<sup>1</sup>) afin de comparer la tendance à poursuivre des études universitaires après les études collégiales.

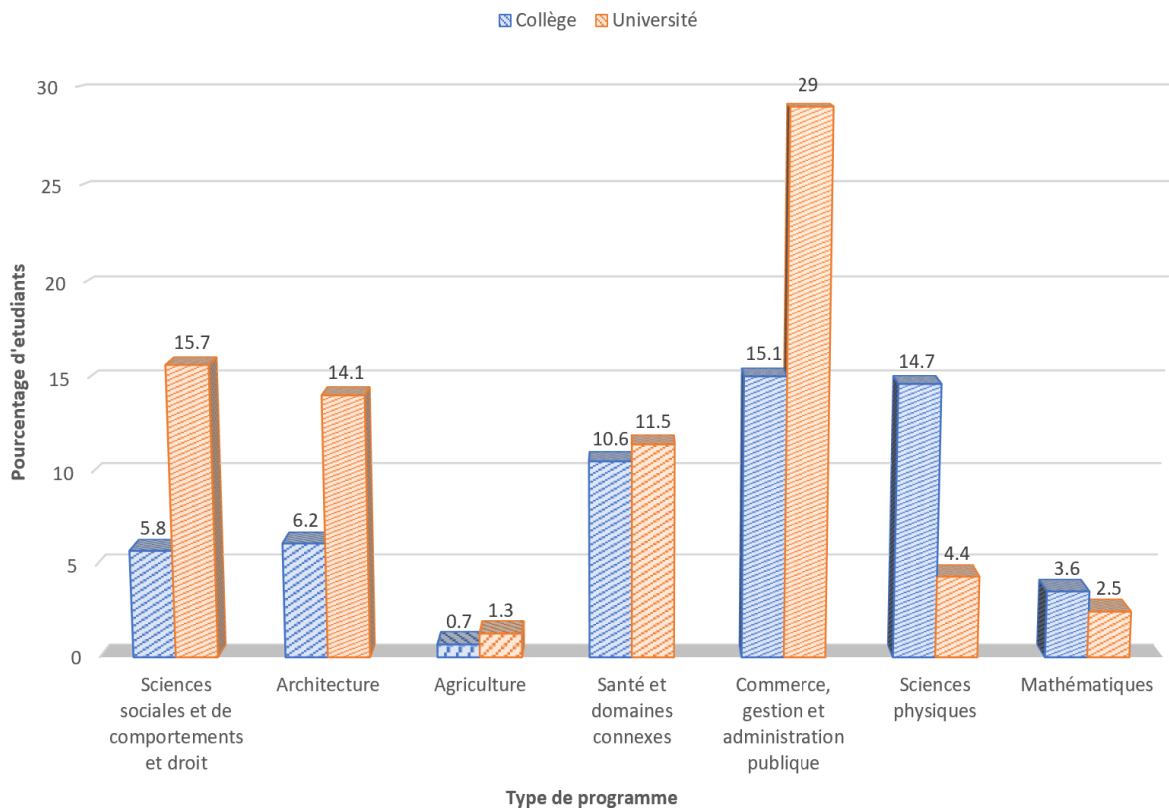


Figure 1.3 Pourcentage d'étudiants diplômés postsecondaires selon le domaine d'études

Si l'on compare le pourcentage d'étudiants québécois aux deux niveaux soit collégial et universitaire dans différentes disciplines, il s'avère que les étudiants dans les domaines des sciences physiques et mathématiques au Québec étaient moins enclins à poursuivre leurs études universitaires après l'obtention de leur diplôme collégial. En contrepartie, l'augmentation du pourcentage d'étudiants dans d'autres domaines indique leur plus grand intérêt à poursuivre leurs études au niveau universitaire et à accroître leurs connaissances académiques.

Bien qu'on puisse croire que la diminution du nombre d'étudiants à l'université résulte d'un marché du travail peu favorable, certaines données révèlent au contraire que ces domaines offrent de

<sup>1</sup> Tiré du site web <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3710001201>, consulté en date du 16 décembre 2021.

bonnes perspectives. Selon les statistiques du site d'emploi du Québec (2021), il y a présentement un équilibre entre le nombre de candidats à l'emploi au titre de physicien/physicienne et les besoins du marché. En plus de cet équilibre entre l'offre et la demande, les statistiques montrent que le taux de retraite est d'environ 67 % de toutes les ouvertures d'emploi, soit une proportion supérieure à la moyenne de l'ensemble des professions qui est d'environ 59 % des ouvertures. Ceci indique une augmentation des postes vacants et de la demande dans le marché du travail pour les candidats souhaitant entrer dans ce domaine. Donc, il existe un marché de l'emploi important pour ce domaine d'études, ce qui n'explique pas nécessairement la diminution du désir des étudiants de poursuivre leurs études et d'accroître leurs connaissances académiques. De plus, selon un rapport de l'Université de Sherbrooke (2016), l'Américain Institute of Physics aux États-Unis a mené une recherche au sujet des salaires offerts aux récents bacheliers sur les campus par les recruteurs, selon diverses disciplines. La physique se classait au troisième rang, derrière l'informatique et le génie aérospatial. La physique devançait les autres domaines scientifiques tels que les sciences humaines et l'éducation.

En conséquence, malgré le manque d'employés qualifiés dans le domaine des sciences et technologies par rapport aux offres d'emplois, surtout en physique-mathématique, le nombre d'étudiants enregistrés dans ce domaine diminue progressivement. Le nombre d'emplois qui exigent une formation dans les domaines de la science et de l'ingénierie augmente pourtant, alors que la disponibilité des personnes qui possèdent cette formation à l'étranger diminue (National Science Board, 2004). En plus de cette échelle au Québec, selon le rapport de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE), ce problème est surtout observé dans 19 pays. L'OCDE (2008) note aussi que la baisse des effectifs est souvent attribuée au contenu peu intéressant et difficile des formations scientifiques.

Plusieurs recherches en didactique des sciences ont tenté d'expliquer la baisse d'attractivité des filières scientifiques. Les études montrent que cette situation ne s'explique pas uniquement par des facteurs économiques ou professionnels, mais également par des éléments liés aux contenus enseignés et aux approches pédagogiques utilisées dans l'enseignement des sciences.

Selon Osborne *et al.* (2003), les élèves perçoivent souvent les sciences, et en particulier la physique, comme des disciplines abstraites, difficiles et déconnectées de leurs intérêts. Les auteurs montrent

également que l'intérêt des élèves pour les sciences tend à diminuer au cours de la scolarité secondaire, notamment lorsque l'enseignement repose principalement sur la transmission de connaissances formelles et sur la résolution d'exercices standardisés.

Lyons (2006) a montré que plusieurs élèves abandonnent l'idée de poursuivre des études scientifiques non pas en raison d'un manque de capacités, mais parce qu'ils jugent les cours de sciences peu stimulants, trop théoriques et insuffisamment reliés à des situations réelles.

D'autres recherches mettent également en évidence que l'enseignement traditionnel des sciences est souvent centré sur la mémorisation de concepts et de formules, laissant peu de place à l'exploration, à la modélisation ou à la résolution de problèmes ouverts (Hake, 1998 ; Prince, 2004). Dans ces conditions, les élèves peuvent avoir des difficultés à développer une compréhension conceptuelle approfondie et à percevoir la pertinence des sciences dans leur vie quotidienne.

Freeman *et al.* (2014) montrent également que les approches pédagogiques plus actives peuvent améliorer l'engagement et la performance des élèves. Ces auteurs soulignent que le développement d'approches pédagogiques plus actives, interactives et contextualisées permet aux élèves d'explorer les phénomènes scientifiques et de construire leurs connaissances de manière plus engagée.

Dans cette perspective, l'intégration d'environnements numériques interactifs, comme les simulations ou les jeux éducatifs, constitue une piste intéressante pour renouveler les pratiques d'enseignement des sciences et favoriser l'engagement des élèves dans l'apprentissage des concepts scientifiques.

### **1.1.3 Pauvreté de la culture scientifique**

L'enseignement des sciences suppose que les élèves s'approprient progressivement des concepts et un vocabulaire spécialisé. Cette appropriation exige une exposition répétée, un encadrement structuré et un environnement culturel favorable, ce qui place une responsabilité considérable sur les enseignants, particulièrement dans un contexte où la littératie scientifique de la population générale demeure limitée (Brewer et Ley, 2013).

Bien que la société utilise quotidiennement les produits de la science, la maîtrise du langage scientifique reste limitée. Les travaux en didactique ont montré que les élèves, comme les adultes, opèrent une distinction nette entre le « langage commun » et le « langage scientifique », distinction qui constitue un obstacle reconnu à l'apprentissage (Mortimer et Scott, 2003). Lemke (1990) a également souligné que l'entrée dans les sciences requiert l'acquisition d'un véritable « registre scientifique », fondé sur des conventions linguistiques et symboliques spécifiques.

Cette difficulté peut s'expliquer par le fait que, comme l'ont souligné Durkheim (1912/1968) et plus récemment Rizzi (2021), le langage, qu'il soit ordinaire ou scientifique, est une construction sociale transmise d'une génération à l'autre. Rousseau (1964) écrit que « la parole, étant la première institution sociale, ne doit sa forme qu'à des causes naturelles ».

Nous parlons une langue que nous n'avons pas faite ; nous nous servons d'instruments que nous n'avons pas inventés ; nous invoquons des droits que nous n'avons pas institués ; un trésor de connaissances est transmis à chaque génération qu'elle n'a pas elle-même amassé, etc. C'est à la société que nous devons ces biens variés de la civilisation et si nous ne voyons généralement pas de quelle source nous les tenons, nous savons, du moins, qu'ils ne sont pas notre œuvre. (Durkheim, 1912/1968, livre II, p. 208)

D'autre part, l'école ne compense pas ce manque d'éléments, ce qui crée les conditions favorables pour rejeter et refuser les sciences.

Cette distance entre culture commune et culture scientifique contribue à ce que Papert (2020), s'appuyant sur les travaux de Piaget, décrit comme des « toxines culturelles ». Il met en évidence la présence d'une peur « toxique » des gens face aux mathématiques dans la culture populaire qui affecte leur capacité d'apprentissage. Selon lui, « les enfants interagissent avec d'autres toxines culturelles endémiques. Par exemple, avec les théories sur les aptitudes qui viennent contaminer l'image que se font les personnes sur leurs capacités à apprendre » (Papert, 2020, p. 6 [Notre traduction]). Des croyances sociales négatives sur les aptitudes scientifiques, qui contaminent leur image d'eux-mêmes, limitent leur engagement dans les apprentissages. Ces représentations se transmettent dans les familles et peuvent perpétuer un cercle vicieux :

Ainsi naît un cercle vicieux. Ces enfants, un jour, deviendront des parents qui non seulement ne réussiront pas à transmettre des germes mathématiques, mais, presque certainement, contamineront leurs enfants des germes opposés et intellectuellement destructeurs de la *mathophobia*. (Papert, 2020, p. 9 [Notre traduction])

L'analyse issue des apports de la sociologie de l'éducation montre que l'adhésion des élèves aux savoirs scolaires ne dépend pas uniquement de leurs capacités cognitives ou de leurs motivations individuelles, mais également du rapport qu'ils entretiennent avec les savoirs enseignés. Cette perspective est notamment développée dans les travaux de Bernard Charlot. Selon Charlot (1997), apprendre implique toujours une relation de sens. Ainsi, les élèves s'engagent dans les apprentissages lorsqu'ils perçoivent l'utilité, la signification ou l'intérêt des savoirs qui leur sont proposés.

Dans cette perspective, Bourdieu *et al.* (1970) démontrent que l'école valorise certaines formes de culture et certains rapports aux savoirs plus familiers à certains élèves qu'à d'autres. Les inégalités scolaires peuvent en partie s'expliquer par la proximité ou l'éloignement entre les dispositions culturelles acquises dans la socialisation familiale et celles qui sont valorisées par l'établissement scolaire. Les élèves ne se rapportent donc pas tous de la même manière aux savoirs scolaires, ce qui peut influencer leur engagement dans certaines disciplines.

Dans le prolongement de ces travaux, Lahire (2005) souligne que les dispositions scolaires des élèves résultent de socialisations multiples et parfois hétérogènes. Les individus sont porteurs de dispositions diverses issues de leurs différentes expériences sociales, ce qui peut conduire à des rapports différenciés aux apprentissages scolaires. Le rapport aux disciplines enseignées, y compris aux sciences, se construit ainsi progressivement à l'intersection des expériences familiales, scolaires et sociales. Ces approches sociologiques permettent d'éclairer plus finement les processus d'engagement ou de désengagement des élèves face aux contenus scolaires. L'intérêt ou le désintérêt pour certaines disciplines ne peut être interprété uniquement comme une question de motivation individuelle, mais doit également être compris comme le résultat d'un rapport au savoir construit au fil des expériences scolaires et sociales des élèves.

L'enseignement des sciences suppose ainsi que les élèves s'approprient progressivement des concepts et un vocabulaire spécialisé. Selon Brewer *et al.* (2013), cette appropriation exige une

exposition répétée, un encadrement structuré et un environnement culturel favorable, ce qui place une responsabilité importante sur les enseignants, particulièrement dans un contexte où la littératie scientifique de la population générale demeure limitée.

Dans cette perspective, certaines pratiques pédagogiques intégrant des simulations et des environnements numériques peuvent soutenir la compréhension conceptuelle. Toutefois, ce ne sont pas les logiciels en tant que tels qui produisent les apprentissages, mais les usages pédagogiques qui en sont faits. Les approches favorisant la modélisation, l'exploration ou la résolution de problèmes contribuent à enrichir les représentations des élèves et à soutenir l'apprentissage scientifique (Clark *et al.*, 2009).

## **1.2 Contexte scientifique**

### **1.2.1 Les conceptions initiales des élèves en physique-mécanique**

L'une des problématiques fondamentales en éducation scientifique concerne l'existence de conceptions initiales non scientifiques et d'intuitions naïves chez les apprenants, lesquelles peuvent complexifier l'enseignement ou en réduire l'efficacité. Selon les théories constructivistes, les élèves construisent leurs connaissances nouvelles à partir de leurs conceptions antérieures (Driver et Easley, 1978 ; Piaget, 1957).

Avant d'arriver en classe, les élèves possèdent des connaissances plus ou moins exactes sur les phénomènes naturels. Ainsi, dès le début de l'enseignement, un conflit survient parfois entre ces concepts initiaux et ceux qui doivent être enseignés aux élèves, car non seulement les concepts initiaux des élèves sont remis en question, mais ils sont aussi amenés à évoluer pour changer. Ce changement est pénible à exécuter et émotionnellement ardu. Par conséquent, l'axe principal de cette problématique concerne la forme et la manière dont ces changements s'effectuent chez les apprenants. Le champ du changement conceptuel s'efforce de développer des modèles et des outils susceptibles de favoriser ce changement, qui s'avère parfois très difficile (Treagust et Duit, 2009).

Cette question est particulièrement importante dans le cas de l'enseignement de la physique mécanique au secondaire, car ce domaine comporte un grand nombre de termes tels que la force, le mouvement, l'énergie, la friction, la vitesse, etc., qui sont largement utilisés dans la vie

quotidienne dans un sens non scientifique. Les élèves arrivent donc souvent avec des conceptions robustes, consolidées par leur expérience intuitive du monde.

Les élèves s'engagent davantage dans leurs études lorsqu'ils tirent des conclusions de leurs découvertes et lorsqu'ils appliquent leurs connaissances existantes ainsi que leur expérience du monde réel (Bransford *et al.*, 2000 ; Hake, 1998). Donc, les élèves portent parfois un plus grand fardeau de conceptions initiales à ce sujet, notamment des conceptions issues de leurs interactions avec le monde qui les entoure et qui sont limitées par leur localité et en étant restreintes à leurs conditions de vie particulière. Ils entretiennent ces conceptions initiales très robustes et non scientifiques liées à la physique-mécanique malgré le fait qu'elles soient généralement incompatibles avec les théories newtoniennes. Selon McCloskey (1983, cité dans Dreyfus *et al.*, 1990), « les fausses conceptions des étudiants semblent être fondées sur une théorie intuitive systématique qui est incompatible avec les principes fondamentaux de la science telle qu'elle est connue et enseignée de nos jours » (p. 564 [Notre traduction]). Par exemple, en physique-mécanique, certaines conceptions fréquentes incluent : l'idée qu'un objet en mouvement cesse nécessairement de se déplacer si aucune force n'agit encore sur lui ; la croyance que la présence de l'air constitue toujours une résistance déterminante ou encore l'idée que la gravité agit davantage sur les objets lourds. Ces conceptions, bien répertoriées dans la littérature (Halloun et Hestenes, 1998), sont incompatibles avec la première loi de Newton, qui indique que tout corps conservera son état si aucune force n'est appliquée sur ce corps.

La question se pose alors de savoir comment établir un conflit significatif pour créer un changement conceptuel constructif dans lequel l'étudiant joue lui-même le rôle principal de ce processus de construction? Selon le modèle classique qui sera présenté dans le prochain chapitre, il y a quatre conditions essentielles à tout changement conceptuel : 1- une insatisfaction ressentie quant aux conceptions initiales et une nouvelle conception qui apparaît, 2- intelligible, 3-plausible et 4-fertile (Posner, 1980). Pourtant, ces conditions ne sont pas facilement réunies et il existe de nombreux obstacles à leur réalisation. Dans les confrontations entre des connaissances bien établies liées à l'expérience et des connaissances formelles, les connaissances formelles manquent souvent de crédibilité et la réalité des connaissances de bon sens. Selon Dreyfus *et al.* (1990), ce n'est pas que de nombreux élèves « croient » ou « ne croient pas » aux connaissances scolaires, c'est qu'ils n'y sont pas engagés. Selon leur étude, les élèves ne rejetaient pas vraiment les nouvelles connaissances

scolaires, ils préféreraient simplement utiliser leurs conceptions initiales, qu'ils trouvaient plus « confortables » (p. 565 [Notre traduction]).

Pour que l'efficacité des conflits augmente, les concepts scolaires doivent être compris comme tout à fait recevables par rapport aux connaissances quotidiennes. Pourtant, les fausses idées relèvent du bon sens et elles ne sont pas facilement mises en conflit. Elles sont plus proches des conceptions personnelles de l'élève et donc, pour les ébranler et les conduire à un conflit, nous avons besoin de méthodes convaincantes en plus d'outils visuels appropriés pour rendre le concept scientifique plus réel. En pratique, ceci n'est facile à réaliser.

Par exemple, pour l'enseignement du courant électrique (un phénomène invisible), la plupart des méthodes et des situations d'apprentissage et d'évaluation (SAÉ) utilisent le courant hydraulique comme métaphore pour expliquer la différence de potentiel par analogie la différence de hauteur. Selon mon expérience personnelle en enseignement au secondaire, malgré le succès et l'efficacité de cette simulation pour visualiser et rendre réaliste le courant électrique, lorsque l'enseignant aborde ce sujet dans la classe que les lumières s'allument instantanément en branchant l'interrupteur d'alimentation, les élèves comparent ce phénomène à l'ouverture du robinet et de l'eau qui coule dans des tuyaux vides sur la base de cette analogie. Puis, normalement les élèves concluent que l'allumage instantané des lumières est dû à la grande vitesse des électrons dans les fils conducteurs, que ceci est un résultat non scientifique, parce que la vitesse de mouvement d'ensemble des électrons lors du courant dans le fil est inférieure à un millimètre par seconde. Bien que les élèves puissent imaginer des conduits d'eau vides, il est impossible d'imaginer scientifiquement des fils conducteurs sans électrons.

Ainsi, l'exemple ci-dessus démontre que même en créant un conflit significatif dans lequel les connaissances des élèves sont liées à leur expérience, les élèves peuvent aller au-delà de l'intention de l'enseignant et du contenu présenté en construisant indépendamment de nouvelles conceptions, qui ne sont peut-être pas scientifiquement acceptables. Même en suscitant un conflit cognitif pertinent, rien ne garantit que l'élève adopte la conception scientifique attendue. Comme le soulignent (Dreyfus *et al.*, 1990), « même les conflits significatifs ne garantissent pas toujours un succès, dans le sens où ils n'assurent pas toujours la construction des connaissances requises et/ou seulement des connaissances souhaitées » (p. 567 [Notre traduction]).

De plus, ces conceptions « alternatives », qui se reposent sur le « sens commun », apparaissent comme des barrières et la capacité de l'élève à atteindre un état de conflit significatif doit faire l'objet de notre attention Dreyfus *et al.* (1990). Les obstacles au conflit cognitif peuvent être d'ordres variés : difficultés de raisonnement formel avec des concepts abstraits (Lawson, 1985), compréhension insuffisante des concepts requis (Stewart, 1985), ou encore méconnaissance par l'enseignant des conceptions préalables de ses élèves (Dreyfus *et al.*, 1990). À cela peuvent s'ajouter des dimensions psychologiques ou sociologiques, telles que l'anxiété, le manque de confiance ou une perception négative de soi en sciences.

Par ailleurs, les cours de physique sont souvent dispensés sous forme magistrale, où l'enseignant adopte le rôle de transmetteur d'informations et l'élève celui de récepteur passif (Halloun, 2008). Cette forme d'enseignement laisse peu de place à l'exploration des conceptions initiales de l'élève, considérées comme des obstacles plutôt que comme des points d'appui pour l'apprentissage. Or, comme le souligne Potvin (2012), l'apprentissage scientifique devrait être conçu comme un processus d'adaptation, comme le suggère le constructivisme.

En fournissant des conditions et en concevant des activités sous forme de jeux vidéo ou de simulateurs informatiques au sujet de la physique-mécanique, on peut créer la possibilité des rétroactions instantanées chez les élèves et la possibilité qu'ils vivent alors des conflits cognitifs significatifs. Ainsi, on est en mesure d'intervenir sur les conceptions en physique pour que les élèves puissent construire eux-mêmes leurs propres structures intellectuelles. En créant un espace informatif qui fournit les matériaux nécessaires à l'élève, l'apprentissage constructif est possible sans instruction directe et sans enseignement imposé, de sorte que l'enseignement ne soit pas simplement un transfert de connaissances préapprouvées. À l'opposé, dans un enseignement répondant au paradigme transmissif, où l'enseignant expose et révèle et où l'élève reçoit et acquiert, les outils cognitifs que l'élève utilise pour construire ses connaissances, que ces dernières soient scientifiques ou non, risquent fort de passer complètement inaperçus. Or, pour désamorcer un piège, il faut d'abord en connaître l'existence (Potvin et Riopel, 2006). Dans ce contexte, l'usage de méthodes interactives, simulations, jeux sérieux, environnements informatiques, peut offrir des rétroactions instantanées et des expériences conceptuelles susceptibles de susciter des conflits cognitifs significatifs. En fournissant aux élèves un environnement riche en rétroactions, il devient

possible d'agir sur leurs conceptions intuitives et de les amener à construire progressivement des structures conceptuelles plus scientifiques (Potvin et Riopel, 2006).

Enfin, bien qu'il n'existe pas de modèle unique et complet du changement conceptuel (diSessa, 1993), la présente recherche explorera l'efficacité de pratiques pédagogiques interactives, comparées à un enseignement magistral traditionnel, dans la transformation des conceptions initiales en physique mécanique.

### **1.2.2 Les conceptions initiales des élèves en informatique**

L'arrivée des ordinateurs personnels a permis le développement d'environnements interactifs favorisant l'exploration et l'intuition scientifique, notamment à travers les jeux vidéo, particulièrement populaires chez les jeunes. L'intégration des technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement (TICE) dans les sciences physiques s'est profondément transformée avec l'introduction des outils de simulation. Ceux-ci sont aujourd'hui considérés comme des instruments pertinents pour soutenir l'étude de modèles scientifiques au secondaire et au supérieur (Beaufils et Richoux, 2003).

L'intérêt d'aborder les conceptions initiales en informatique tient au fait que les élèves interagissent avec les outils numériques selon des croyances, habitudes et représentations préexistantes, qui influencent directement leur manière d'apprendre et d'utiliser les simulateurs. Plusieurs travaux ont en effet montré que les élèves possèdent des conceptions initiales sur le fonctionnement des ordinateurs et des logiciels, souvent utilitaires, instrumentales ou centrées sur l'obtention rapide d'une réponse, qui orientent leur rapport aux tâches numériques (diSessa, 2000 ; Koehler et Mishra, 2009).

De manière similaire, et conformément aux observations de Beney et Séré (2001), les élèves utilisent parfois les simulateurs comme ils utiliseraient des machines simples, des outils qui permettent de « faire fonctionner quelque chose » plutôt que des environnements d'exploration scientifique. Leur objectif n'est alors pas de vérifier une loi ou d'examiner une relation scientifique, mais d'exécuter correctement les manipulations attendues. Cette attitude par défaut des étudiants est également celle qui prévaut lors d'activités expérimentales où ceux-ci, contrairement à ce qui

est parfois annoncé comme objectif, ne vérifient pas telle ou telle loi mais vérifient tout au plus qu'ils arrivent à faire correctement la manipulation requise (Beney et Séré, 2001).

Les résultats de recherches de Beaufils et Richoux (2003) sur plusieurs logiciels dont *Interactive Physics* nous démontrent premièrement que les élèves pensent majoritairement que la solution à la question qui leur est posée est déjà programmée, et deuxièmement que l'activité est d'abord perçue à l'image des activités de résolution d'exercices classiques. Finalement, les auteurs obtiennent le résultat que les élèves ne savent pas distinguer ce qui peut provenir d'un résultat logique du logiciel à la suite d'une option mal choisie ou d'une fausse manipulation quand ils rencontrent une difficulté ou un résultat imprévu.

Les étudiants ont une tendance forte de « solution » et l'obtention d'une fonction explicite, et la présentation d'une méthode itérative sur des différences finies est considérée comme un « bricolage » non scientifique. Ces éléments invitent très clairement à un travail spécifique sur ce que l'on pourrait dénommer les « conceptions initiales des étudiants sur les logiciels et leurs usages. (Beaufils et Richoux, 2003, p. 28)

Ces constats permettent de parler de conceptions initiales en informatique, c'est-à-dire des représentations que les élèves se font de ce qu'est un logiciel, de ce qu'est une simulation et du rôle que joue l'ordinateur dans l'activité scientifique.

Par conséquent, l'usage des logiciels éducatifs pour soutenir un apprentissage conceptuel en sciences se heurte à une difficulté fondamentale, bien que les simulateurs soient conçus comme des intermédiaires entre le monde réel et le monde des théories, plusieurs élèves les utilisent principalement pour manipuler des représentations sémiotiques (icônes, curseurs, animations) afin d'obtenir rapidement une solution ou de maximiser leurs performances dans le jeu ou la simulation (Smetana et Bell, 2012).

Dans cette perspective, le lien entre l'expérience vécue dans la simulation et la compréhension conceptuelle peut se rompre. L'élève peut privilégier des stratégies procédurales, parfois répétitives ou heuristiques, similaires à celles observées dans les approches traditionnelles axées sur la mémorisation de recettes. Ce type d'usage limite les occasions de réfléchir aux modèles

scientifiques, d'identifier les variables pertinentes ou de confronter ses conceptions initiales à de nouvelles explications.

### **1.2.3 Le manque de recherche suffisante**

La problématique de recherche tient au fait qu'il n'existe pas de théorie complète et universellement acceptée concernant l'utilisation des plateformes informatiques éducatives, et plus particulièrement des jeux vidéo. Plusieurs auteurs soulignent que les recherches empiriques sur l'efficacité des jeux vidéo éducatifs demeurent fragmentées, hétérogènes et entachées de limites méthodologiques importantes (Connolly *et al.*, 2012 ; Hays, 2005 ; Mayer, 2014).

Dans la littérature consacrée aux jeux vidéo sérieux et aux simulations, certaines études, qui seront présentées plus loin dans le cadre théorique, mettent en évidence des effets positifs de l'usage de jeux vidéo et des simulateurs éducatifs, confirmant ainsi leur potentiel pour soutenir l'apprentissage scientifique. Toutefois, comme l'a relevé Hays (2005), la qualité méthodologique insuffisante de plusieurs travaux empêche d'en tirer des conclusions robustes, particulièrement dans un domaine conceptuellement exigeant comme la physique-mécanique.

Parmi ces limites, on retrouve notamment la taille souvent restreinte des échantillons, qui ne permet pas de généraliser les résultats (Clark *et al.*, 2009), ainsi que les difficultés récurrentes à mesurer les gains conceptuels (Smetana et Bell, 2012). De même, l'absence d'un groupe de contrôle convenablement défini et les limites inhérentes aux simulations utilisées dans plusieurs études contribuent à rendre difficile l'affirmation selon laquelle l'enseignement avec des logiciels éducatifs serait plus efficace qu'un enseignement traditionnel. Ces constats sont largement documentés dans la littérature portant sur les environnements numériques d'apprentissage (Riopel *et al.*, 2019).

D'autre part, les logiciels éducatifs disponibles prennent des formes très variées comme des jeux sérieux, simulateurs exploratoires, environnements ludiques, mondes virtuels, ce qui rend la généralisation des résultats particulièrement délicate. Comme le soulignent Connolly *et al.* (2012), les effets des jeux vidéo dépendent fortement de la nature du logiciel, du contexte d'enseignement et du type d'apprentissage visé.

Un problème fondamental demeure également qu'il n'existe pas, à ce jour, une gamme suffisamment variée de jeux spécifiquement optimisés pour étudier le changement conceptuel en physique-mécanique. Même lorsque des environnements numériques sont conçus pour soutenir l'apprentissage conceptuel, il manque souvent des instruments rigoureux permettant de mesurer les effets sur les conceptions initiales des élèves. Plusieurs chercheurs notent en effet l'absence d'outils standardisés et validés pour évaluer le changement conceptuel dans des contextes faisant appel à des jeux vidéo (Potvin, 2017).

### **1.3 L'objectif de recherche et les questions appréhendées**

L'objectif de cette recherche est d'examiner l'utilisation un jeu vidéo éducatif, conçu spécifiquement pour intervenir sur les conceptions en physique-mécanique, afin de rendre les élèves plus actifs en classe grâce à des activités offrant des rétroactions instantanées. Il s'agit de déterminer dans quelle mesure ce type d'environnement numérique peut soutenir le changement conceptuel et favoriser une meilleure compréhension des lois du mouvement.

Ainsi, plutôt que de s'intéresser uniquement à l'effet global du jeu vidéo éducatif, la recherche vise à établir si son utilisation est plus efficace qu'un enseignement de type « traditionnel ». En d'autres termes, elle cherche à savoir si l'intégration du jeu dans un contexte scolaire produit un gain de performance supérieur à celui obtenu par des approches magistrales plus classiques.

En relation avec le rôle de l'enseignement on peut ajouter des questions sur la façon dont un jeu est intégré en classe lorsqu'il est dans un contexte d'enseignement scolaire. Par exemple, est-ce qu'une intégration d'un jeu en classe produit un meilleur rendement qu'une utilisation détachée ou simplement d'un jeu donné en devoir? Finalement, quel est le rôle de l'enseignant afin de bénéficier pleinement du potentiel des jeux dans le processus pédagogique?

Des questions apparaîtront également en tenant compte de la performance de l'élève et de la façon dont il gère le jeu pour évaluer la performance des élèves-joueurs comme le nombre d'essai, la méthode et le chronométrage.

Enfin, nous serons confrontés à des questions sur l'obtention d'un test ou d'un instrument de recherche pour évaluer les conceptions des élèves, surtout les conceptions initiales les plus

fréquentes en physique-mécanique. Ce test devra permettre une analyse pouvant mesurer précisément la compréhension des concepts Newtoniens. De plus, le résultat du test pourrait-il nous montrer une différence dans la note au test chez un élève ayant subi un changement conceptuel en physique-mécanique ?

#### **1.4 La question de recherche**

Dans cette recherche, un jeu vidéo éducatif conçu pour intervenir sur certaines conceptions en physique mécanique est utilisé comme outil qui favorise l'apprentissage. En le mettant à l'épreuve dans un contexte d'enseignement, il devient possible d'examiner dans quelle mesure un tel environnement numérique peut soutenir un changement conceptuel chez les élèves.

La question générale de recherche devient alors : Un jeu vidéo éducatif spécialement conçu pour agir sur les conceptions en physique mécanique peut-il favoriser l'apprentissage des concepts de la mécanique newtonienne ?

## **CHAPITRE 2**

### **CADRE THÉORIQUE**

Le projet de recherche se concentre sur les changements conceptuels en physique mécanique, associés à l'utilisation des logiciels éducatifs comme les simulations éducatives. L'objectif de ce chapitre est de fournir les principaux concepts sous-jacents. Pour ce faire, on peut diviser les considérations théoriques en trois parties. Dans la première partie, les concepts théoriques au sujet du changement conceptuel sont étudiés. Ensuite, nous nous concentrons sur les conceptions initiales en physique mécanique et sur la façon de les diagnostiquer et de les évaluer. Enfin, les études existantes sur les simulations éducatives en physique mécanique seront présentées.

#### **2.1 Changement conceptuel**

##### **2.1.1 La conception et le paradigme constructiviste**

Le paradigme auquel s'inscrit cette recherche est le paradigme constructiviste qui prend racine des travaux de Piaget (1952, 1957) au sujet des explications que les enfants donnent à propos de leur environnement physique. Pour Piaget, ces explications sont fortement dépendantes des structures de la pensée de l'enfant. Driver et Easley (1978) expliquent ainsi cette vision de Piaget :

Le développement de l'explication causale des individus reflète une dialectique entre les structures logico-mathématiques en développement du connaissant, qui structurent les observations et les événements d'une certaine manière, et les expériences qui sont assimilées. [...] L'humanité en est venue à acquérir une connaissance de l'environnement physique en raison de la « résonance » entre les structures de l'esprit et les aspects du monde physique. (Driver et Easley, 1978, p. 72 [Notre traduction])

Par conséquent, on peut considérer les conceptions comme les représentations mentales que chaque individu crée ou entretient à propos de ce que les choses sont ou de ce qu'elles font, pour une compréhension du monde basé sur les relations causales que les individus vivent dans la vie quotidienne. Bien que ces conceptions ressemblent beaucoup aux concepts scientifiques en ce qu'elles tentent de rendre compte de la structure du monde, elles ont dans certains cas des différences considérables avec les concepts scientifiques. « Impossible, donc, pour ces conceptions, de pouvoir capitaliser sur l'instrumentation, les durées historiques de réflexion, la base

expérientielle nécessaire et la somme des contributions faites au sein des communautés scientifiques. » (Potvin, 2018, p. 241)

Donc, une sorte de division pour les conceptions est considérée. À cet égard, bien que dans la tradition piagétienne, la structure de la pensée des enfants est révélée à l'aide de leurs explications et qu'elle ne dépend pas du domaine d'application, de nombreuses recherches depuis les années 1970 ont supporté l'hypothèse contraire. Selon ces recherches, les structures de la pensée de l'individu seraient relatives au domaine considéré « *domain-specific* » (Bélangier, 2008).

Depuis la fin des années 70, alors qu'une branche de la recherche en didactique des sciences continuait dans la tradition piagétienne (en s'efforçant d'identifier des structures générales de la pensée des élèves), une autre a préféré opter pour l'étude des connaissances des élèves spécifiques à des contenus particuliers. (Driver et Erickson, 1983, p. 39 [Notre traduction])

Quel que soit le domaine dans lequel les concepts apparaissent, selon le paradigme constructiviste, l'apprentissage est une activité de traitement de l'information et les élèves apprennent en associant de nouvelles informations à ce qu'ils savent déjà. « Piaget a établi l'idée centrale du constructivisme : des nouvelles idées émergent toujours des anciennes. » (diSessa, 1993, p. 4 [Notre traduction])

L'idée centrale du constructivisme est que l'apprentissage humain est construit et que les apprenants construisent de nouvelles connaissances sur la base de l'apprentissage précédent. Cette vision de l'apprentissage contraste fortement avec celle dans laquelle l'apprentissage est la transmission passive d'informations d'un individu à un autre, une vision dans laquelle la réception, et non la construction, est la clé (Phillips, 1995).

Bada et Olusegun (2015) expliquent :

Il n'y a pas de *tabula rasa* sur laquelle de nouvelles connaissances sont gravées. Au contraire, les apprenants arrivent à des situations d'apprentissage avec des connaissances acquises à partir d'expériences antérieures, et ces connaissances antérieures influencent les connaissances nouvelles ou modifiées qu'ils construiront à partir de nouvelles expériences d'apprentissage. (p. 67 [Notre traduction])

D'après Driscoll (2000), la théorie de l'apprentissage constructiviste est une philosophie qui améliore la croissance logique et conceptuelle des élèves. Le concept sous-jacent au sein de la théorie de l'apprentissage constructiviste est le rôle que jouent les expériences - ou les liens avec l'atmosphère attenante - dans l'éducation des élèves. La théorie de l'apprentissage constructiviste soutient que les gens produisent des connaissances et forment un sens en fonction de leurs expériences.

Reuter (2007) définit la notion de concept dans la perspective constructiviste comme étant « une construction rendant compte de caractéristiques communes à un ensemble d'objets, de faits ou de phénomènes. Dans le même ordre d'idée, Astolfi (2002) présente un concept non pas comme un fait brut que nous devons simplement mémoriser, mais comme un système complexe reliant différentes connaissances. Ainsi, un concept se relie à un réseau de connaissances ayant du sens pour l'apprenant. L'importance de comprendre ce réseau de connaissances réside dans le fait qu'il est impossible de rendre chaque concept indépendant des autres et que chaque fois qu'un concept est envisagé, sa relation avec d'autres concepts dans différents domaines doit être prise en compte.

### **2.1.2 Les conceptions initiales**

À partir du milieu des années 1970, un vaste ensemble de travaux, souvent désigné sous le terme de « *misconceptions* » a renouvelé l'étude du changement conceptuel en éducation ainsi qu'en psychologie développementale et expérimentale (Bélanger, 2008).

Il y a presque un consensus parmi les chercheurs dans le domaine de la didactique des sciences sur le fait que les élèves ont une connaissance initiale des concepts scientifiques lorsqu'ils entrent en classe. Ausubel (1968) a affirmé que s'il devait réduire toute la psychologie de l'éducation à un seul principe, il dirait « découvrez ce que l'apprenant sait déjà et apprenez-lui en conséquence. » (Ausubel, 1968, p. 337 [Notre traduction])

Ces conceptions initiales que les élèves entretiennent relativement au fonctionnement du monde, bien ancrées chez les élèves, sont élaborées de manière automatique et inconsciente à partir de leurs observations et de leurs connaissances antérieures et expliquent souvent de manière relativement satisfaisante les phénomènes qui les entourent. Harrison et Treagust (2001) ont démontré que même les étudiants de niveau universitaire en physique possèdent des préconceptions scientifiques.

Toutefois, ces conceptions initiales s'avèrent souvent incorrectes ou non-compatibles avec les conceptions scientifiques.

En raison des caractéristiques communes de ces concepts, comme le fait que les enseignants rencontrent toujours ces préconceptions en classe chez les élèves et le fait que ces concepts ne sont généralement pas compatibles ou interfèrent avec les concepts scientifiques à enseigner, les chercheurs ont été conduits à leur donner des noms différents. Ces conceptions sont aussi appelées fausses conceptions ou « *misconceptions* », conceptions erronées, conception inattendue, conceptions fréquentes ou encore conceptions initiales (Brault Foisy, 2013).

D'après Potvin (2018), on peut retracer l'origine des conceptions non scientifiques des élèves à deux sources principales, les interactions physiques ordinaires et directes (muscles, sens) accompagné des contraintes physiques et interprétatives avec l'environnement qui entourent les apprenants et les interactions sociales. Ces derniers peuvent avoir des sources telles que l'école, l'éducation parentale, les médias comme des messages médiatiques maladroits ou les œuvres de fiction. Donc, on peut conclure que les conceptions découlent des observations superficielles et facilement accessibles aux sens qui n'ont jamais été sérieusement expérimentées ou systématiquement analysées. « Dans certains cas, les conceptions initiales en diffèrent considérablement parce que contrairement aux connaissances scientifiques, leur construction se fait à l'échelle individuelle et locale. » (Potvin, 2018, p. 241)

Un autre point qui montre l'importance de considérer les conceptions initiales dans l'enseignement des sciences est la résistance que ces concepts montrent aux réponses qui les contredisent. Généralement, les concepts scientifiques ne sont pas nécessairement faciles à croire, alors qu'avec l'aide de conceptions fréquentes, les apprenants peuvent fournir des réponses simples et rapides à comprendre. Cette efficacité et fonctionnalité, surtout avant que l'apprenant ne soit confronté à des questions scientifiques plus sérieuses, renforcent cette résistance. « En effet, ces conceptions s'avèrent être des systèmes d'explication fonctionnels et efficaces dans plusieurs contextes et c'est vraisemblablement cette pertinence partielle qui explique, du moins en partie, pourquoi les élèves s'y accrochent avec autant de ténacité. » (Brault Foisy, 2013, p. 22)

Les élèves sont confrontés à de nouvelles idées dans le contexte d'idées anciennes afin d'apporter des réponses plus justes et précises. Ainsi, l'apprentissage ne sera pas qu'une simple accumulation de faits scientifiques. Cette situation représente un des défis majeurs de l'enseignement des sciences. (Swafford et Bryan, 2000)

### **2.1.3 Le processus du changement conceptuel**

Les premiers modèles de changement conceptuel s'inspirent des travaux de Piaget (1952) et de Kuhn (1962). Piaget (1952), considère le développement intellectuel comme un processus d'adaptation (ajustement) au monde qui se produit par l'assimilation, l'accommodation et l'équilibration. Il définit l'assimilation comme le processus cognitif consistant à intégrer de nouvelles informations dans des schémas cognitifs, des perceptions et une compréhension existante. Il définit l'accommodation, quant à elle, comme le processus cognitif de révision des schémas cognitifs, des perceptions et de la compréhension existante afin que de nouvelles informations puissent être incorporées. Enfin, selon Piaget (1952), l'équilibration est basée sur la croyance que toute pensée humaine recherche l'ordre et que l'équilibre se produit lorsque l'enfant est incapable d'intégrer de nouvelles informations issues de l'assimilation et de l'accommodation dans son schéma cognitif existant. L'inconfort que l'enfant ressent en raison de ce déséquilibre agit comme la force pour activer le processus d'apprentissage afin de retrouver l'équilibre.

Kuhn (1962, 1997) dans son livre *The Structure of Scientific Révolutions*, a rejeté l'idée que le progrès scientifique est considéré comme un "développement par accumulation" de faits et de théories acceptés. Son modèle envisage plutôt des progrès successifs par remplacement.

Kuhn a cependant proposé une réflexion non pas principalement basée sur l'apprenant, mais sur la communauté de recherche scientifique et ce qui s'y produit lorsqu'elle vit un changement de paradigme scientifique, comme par exemple, lors de la révolution copernicienne, la mécanique newtonienne. (Potvin, 2012, p. 75)

« Kuhn a affirmé que les périodes scientifiques ordinaires de “puzzle solving”, appelées science normale, sont ponctuées de révolutions, des périodes de changement radical qui fonctionnent de manière complètement différente de la science normale » (diSessa, 2014, p. 4 [Notre traduction]).

En effet, dans ce modèle épisodique, des progrès cumulatifs de « science normale » étaient interrompus par des périodes de science révolutionnaire.

Selon Kuhn (1962), ce qui cause la *révolution scientifique* et le changement d'un paradigme pour en adopter un autre est la *crise* qui survient à la suite des *anomalies*. Ces anomalies réfèrent à des cas particuliers que la science normale n'arrive pas à expliquer. Il faut également noter que, d'après Kuhn (1962), abandonner un ancien paradigme signifie d'adopter un nouveau paradigme convaincant. « Décider de rejeter un paradigme est toujours simultanément décider d'en accepter un autre, et le jugement qui aboutit à cette décision implique une comparaison des deux paradigmes par rapport à la nature et aussi l'un par rapport à l'autre » (Kuhn, 1962, p. 115). « Rejeter un paradigme sans lui en substituer simultanément un autre, c'est rejeter la science elle-même » (Kuhn, 1962, p. 117).

L'acceptation d'un nouveau paradigme par les scientifiques ne signifie pas qu'ils ont rejeté l'ancien paradigme. Ils résistent toujours à l'acceptation du nouveau paradigme et fondamentalement, le nouveau paradigme est mieux accueilli lorsqu'il inclut l'ancien paradigme. « Une théorie dépassée peut toujours être considérée comme un cas particulier de la théorie moderne qui lui a succédé » (Kuhn, 1962, p. 147).

Selon les théories de Piaget (1952) et de Kuhn (1962), pionniers dans le sujet de changement conceptuel, stimuler les conflits cognitifs et créer une insatisfaction face à l'état statique existant qui conduit à des déséquilibres dans la structure cognitive de l'apprenant, tels que des anomalies menant à des crises et à des révolutions scientifiques, sont indispensables à tout changement dans le processus d'apprentissage. De plus, ils sont également indispensables afin d'ajuster les informations déjà acquises par l'apprenant pour faire de la place à ces nouvelles informations. « L'apprentissage dans ce contexte peut être défini comme un processus d'abandon des structures cognitives qui ont été déséquilibrées par les interactions de l'apprenant avec son milieu au profit de nouvelles structures souhaitées par l'éducateur » (Potvin, 2018, p. 275).

En conclusion, jusqu'à présent, le changement conceptuel peut être considéré comme un processus qui consiste à reconstruire de nouvelles idées en présence de leurs conceptions initiales. Cette

construction est créée par l'interaction et le conflit entre les conceptions initiales d'un apprenant et les nouvelles conceptions.

Dans ce qui suit, afin de mieux comprendre et d'avoir une théorie plus complète du changement conceptuel, certains modèles importants concernant ce sujet seront présentés.

#### **2.1.4 Des modèles de changement conceptuel**

Dans cette section, quatre modèles de changement conceptuel sont considérés. Le choix de ces quatre modèles repose d'une part sur l'attention particulière qu'ils portent à la didactique des sciences et d'une autre part sur la couverture historique appropriée du champ de recherche dans ce domaine. Le modèle de Posner *et al.* (1982) est reconnu comme un modèle macroscopique (Bélanger, 2008) ainsi que comme un modèle de remplacement des conceptions (Potvin, 2018). Les modèles de DiSessa (1993) et Vosniadou (1994) sont considérés comme des modèles microscopiques (Bélanger, 2008) et comme des modèles de transformation des conceptions (Potvin, 2018). Enfin, le modèle de prévalence de Potvin (2017) et Ohlsson (2009) s'appuie sur les résultats issus de la neuroéducation et il est basé sur l'idée de la coexistence des conceptions.

##### **2.1.4.1 Le modèle de Posner *et al.* (1982)**

Le modèle de Posner *et al.* (1982) est l'une des principales sources de changement conceptuel et s'inscrit en quelque sorte dans la continuité des travaux de Khun au sein du domaine des changements conceptuels en didactique des sciences. Le modèle a servi de référence tant pour ceux qui ont tenté de le détailler ou de l'appliquer que pour ceux qui ont identifié ses insuffisances et qui ont proposé des alternatives (Bélanger, 2008). Dans ce modèle, l'apprentissage est considéré comme une activité rationnelle qui est le résultat de l'interaction entre les idées ou les concepts actuels des élèves et ce qu'on enseigne à l'élève.

Nous pensons que l'apprentissage, comme la recherche, est mieux considéré comme un processus de changement conceptuel. La question fondamentale concerne la façon dont les conceptions des étudiants changent sous l'impact de nouvelles idées et de nouvelles preuves. (Posner *et al.*, 1982, p. 212 [Notre traduction])

Selon ce modèle, les conceptions sont des unités entières ou des entités atomiques dans le processus de changement conceptuel, sans porter attention à leur structures internes. Ces conceptions conduisent à l'activation du processus d'apprentissage en deux phases : 1) l'assimilation, où les nouveaux phénomènes s'incorporent avec les conceptions existantes des apprenants sans révision conceptuelle et 2) l'accommodation, où l'apprenant a besoin de changements conceptuels face à un nouveau phénomène.

Parfois, les élèves utilisent des concepts existants pour traiter de nouveaux phénomènes. Cette variante de la première phase du changement conceptuel est appelée assimilation. Cependant, les concepts actuels des élèves sont souvent insuffisants pour leur permettre d'appréhender avec succès un phénomène nouveau. Ensuite, l'élève doit remplacer ou réorganiser ses concepts centraux. Cette forme plus radicale de changement conceptuel est ce que nous appelons accommodation. (Posner *et al.*, 1982, p. 213 [Notre traduction])

Ce modèle s'intéresse particulièrement aux cas d'apprentissage par accommodation. D'après Posner *et al.* (1982), l'accommodation est une forme plus radicale de changement conceptuel qui se produit lorsque les conceptions actuelles de l'apprenant sont insuffisantes pour lui permettre d'appréhender avec succès un phénomène nouveau et que l'apprenant doit remplacer ou réorganiser ses concepts centraux.

Pour les apprenants, l'accommodation peut être un processus consistant à faire un premier pas vers une nouvelle conception en acceptant certaines de ses revendications, puis en modifiant graduellement d'autres idées, à mesure qu'ils réalisent plus pleinement le sens et l'implication de ces nouveaux engagements. (Posner *et al.*, 1982, p. 223 [Notre traduction])

Cependant, ce remplacement n'est pas un processus qui peut facilement se produire de manière raisonnable. De plus, ce processus est une lutte rationnelle entre les deux conceptions au sein de l'écologie conceptuelle de l'élève qui implique beaucoup de tâtonnements, de faux départs, d'erreurs et de changements de direction fréquents. Posner *et al.* (1982) ont suggéré que quatre conditions doivent être remplies afin que l'accommodation puisse se produire et pour permettre de la favoriser :

1. Insatisfaction vis-à-vis des conceptions existantes de telle sorte que l'apprenant doit avoir accumulé un ensemble d'anomalies non résolues et avoir perdu confiance en la capacité de ses concepts actuels à résoudre des problèmes. S'il éprouve une anomalie à chaque fois qu'il tente d'assimiler une nouvelle conception dans son réseau existant de conceptions, il devra disposer d'une alternative afin d'éliminer le conflit.
2. Une nouvelle conception doit être intelligible. L'intelligibilité est dans le sens que l'apprenant soit capable de saisir comment la nouvelle conception peut être structurée suffisamment pour construire ou identifier une représentation cohérente de ce qu'elle veut dire.
3. Une nouvelle conception doit apparaître initialement plausible. La plausibilité est considérée comme la capacité de résoudre les problèmes générés par ses prédécesseurs, le résultat de la cohérence des concepts avec d'autres connaissances et également le degré anticipé d'ajustement d'une nouvelle conception dans une écologie conceptuelle existante.
4. Un nouveau concept devrait suggérer la possibilité d'un programme de recherche fertile. La fertilité signifie que l'apprenant puisse avoir la possibilité d'accepter et de schématiser un nouveau concept pour ouvrir de nouveaux champs d'investigation.

L'une des critiques courantes de ce modèle est qu'il ne prête pas attention aux aspects affectifs et motivationnels du processus d'apprentissage (Park, 2007). Selon Demastes *et al.* (1995), les données démontrent que le changement conceptuel a des composantes affectives importantes qui sont évaluées par les apprenants et cette évaluation est souvent basée sur des critères psychologiques. En même temps, il faut mentionner que la liste de facteurs affectant le changement conceptuel est longue et que les auteurs du modèle n'ont pas prétendu tous les couvrir (Bélanger, 2008).

Bien sûr, il ne s'ensuit pas que les variables motivationnelles ou affectives soient sans importance pour le processus d'apprentissage. L'affirmation que l'apprentissage est une activité rationnelle vise à attirer l'attention sur ce qu'est l'apprentissage, et non sur ce dont elle dépend. (Posner *et al.*, 1982, p. 212 [Notre traduction])

Une critique plus importante est que la considération des conceptions initiales des apprenants comme objets de traitement didactique et l'objectif de l'enseignement avec accumulation

d'anomalies afin de créer un conflit risquait d'inscrire le projet d'apprentissage dans une dualité vrai/faux trop simpliste comme si rien n'était possible avant et que tout existait après, qui ne correspondait pas nécessairement au caractère construit, évolutif ou contestable des objets scientifiques (Potvin, 2018).

Ces critiques et le manque de structure interne des concepts ne nous permettent pas d'aborder la nature de la compréhension et nous amènent donc à nous pencher sur plus de modèles dans ce domaine.

#### **2.1.4.2 Le modèle de diSessa (1993)**

Après la domination du modèle de Posner *et al.* (1982) durant les années 1980, deux modèles de changement conceptuel très différents de ce modèle dominant sont apparus au milieu des années 1990 (Bélanger, 2008). Les modèles de diSessa (1993, 2014) et de Vosniadou (1994) ont une approche microscopique par leur intérêt pour la structure interne des conceptions et en mettent l'emphase sur la compréhension des conceptions au lieu de simplement se pencher sur le remplacement et l'acceptation des conceptions. Dans cette perspective, un changement conceptuel serait plutôt considéré comme une transformation des structures cognitives ayant été déséquilibrées par les interactions de l'apprenant avec le milieu dans lequel il se trouve qui est parfois aussi appelé restructuration ou reconfiguration (Potvin, 2018). Dans cette le modèle de diSessa (1993) et dans la section suivante, le modèle de Vosniadou (1994) sera présenté en considérant les détails théoriques.

Le modèle de diSessa (1993) inspiré par l'idée de Toulmin (1972), qui s'oppose à l'idée de Kuhn (1970) considérant la science comme un système logique serré et cohérent, considère le côté de la fragmentation par opposition à la cohérence.

Les présomptions de cohérence étaient pernicieuses pour Toulmin. Non seulement il n'y a pas de cadre global pour toutes les sciences (comme le prétend le philosophe Kant), mais l'hypothèse selon laquelle des théories particulières sont fortement cohérentes échoue également. (diSessa, 2014, p. 5 [Notre traduction])

Selon Toulmin (1972), la science peut être envisagée comme un ensemble de concepts et de poches localisées de systématité logique. DiSessa (1993) considère les connaissances morcelées et

fragmentées en plusieurs unités qu'il appelle les « *p-prims* » primitives phénoménologiques. Donc, il parle des savoirs en pièces, comme il appelle « *knowledge in pieces* ». La source de chacune de ces pièces est la relation causale intuitive que l'individu établit entre des quantités et qualités dans la vie quotidienne.

Ils sont phénoménologiques dans le sens où ils trouvent souvent leur origine dans des interprétations presque superficielles de la réalité vécue. Ils sont également phénoménologiques dans le sens où les *p-prims* constituent un vocabulaire riche à travers lequel les gens se souviennent et interprètent leur expérience. Ce sont des schémas par lesquels on voit et on explique le monde. (DiSessa, 1993, p. 112 [Notre traduction])

Pour expliquer le changement conceptuel, il introduit la classe de coordination.

Une classe de coordination est un modèle d'une sorte de concept. Les classes de coordination sont des systèmes complexes qui comprennent de nombreuses parties coordonnées, y compris les *p-prims*. Il y a emboîtement récursif ici : les *p-prims* sont emboîtés dans des classes de coordination (concepts), et les classes de coordination, avec des modèles mentaux et d'autres entités, constituent "l'écologie conceptuelle" des étudiants. (DiSessa, 2014, p. 11 [Notre traduction])

Par conséquent, selon diSessa (1993, 2014), une révision plus radicale du système de connaissances intuitif concerne le changement de fonction des *p-prims*. Cependant, pour une révision des structures de connaissances beaucoup plus complexes, l'évolution des *p-prims* au sein de la classe de coordination est basée sur leur application systématique dans le contexte de la science pertinente.

Afin de réaliser un changement conceptuel en reconnaissance de la diversité et la complexité impliquées, nous devons le gérer simultanément dans plusieurs directions : en ce qui concerne les types de connaissances, nous devons nous diriger vers la multiplicité. En ce qui concerne la "taille" et le nombre d'éléments de l'esprit, nous devons nous diriger vers une taille plus petite et des nombres plus grands. Conjointement à ce passage vers une taille plus petite, nous devons traiter beaucoup plus efficacement la dépendance contextuelle évidente dans la façon dont les élèves pensent. (DiSessa, 2002, p. 58 [Notre traduction])

Pour diSessa (1993, 2002, 2014), le processus du changement conceptuel n'est pas centré sur les conceptions. On peut plutôt dire qu'un changement conceptuel consiste en un agencement des *p-prims* et en une augmentation de leur cohérence interne.

### 2.1.4.3 Le modèle de Vosniadou (1994)

Selon Vosniadou (1994), les conceptions sont intégrées aux théories. Il explique que la perspective du *commonsense* considère que le processus d'acquisition de connaissances commence par la connexion de concepts atomiques et spontanés qui, en raison de leur similitude, conduisent à des structures conceptuelles plus complexes. Cependant, la similarité n'est pas le seul mécanisme qui organise les structures. Il existe souvent des catégories non basées sur la similarité, mais cohérentes et pouvant être considérées comme un cadre «*framework*» complexe ou une théorie explicative des concepts.

On utilise le terme «*framework theory*» en référence au système conceptuel que les jeunes enfants forment pour interpréter leurs observations sur le monde physique, ainsi que leurs interprétations de l'information fournie par la culture. Le terme "théorie" est utilisé de manière relativement libre pour désigner un système explicatif avec une certaine cohérence. Contrairement à Gopnik (1996), on suppose que ce système diffère à bien des égards d'une théorie scientifique. (Vosniadou, 2002, p. 64 [Notre traduction])

Vosniadou (1994, 2002) utilise le modèle mental pour se référer à un type particulier de représentation mentale, une représentation analogique, que les individus génèrent au cours du fonctionnement cognitif et qu'ils peuvent conserver.

Les modèles mentaux que les individus génèrent ou récupèrent au cours du fonctionnement cognitif sont les moments dans lesquels de nouvelles informations sont incorporées dans la base de connaissances. Un modèle mental peut contraindre le processus d'acquisition des connaissances de manière similaire aux croyances et aux présuppositions. (Vosniadou, 1994, p. 48 [Notre traduction])

Les modèles mentaux sont déterminés par des éléments cognitifs plus profonds, les théories cadres «*framework theory*» et les théories spécifiques (Bélanger, 2008). D'après Vosniadou (1994, 2002), les théories cadres sont des présuppositions qui, en imposant des contraintes, guident le processus d'acquisition de connaissances sur le monde physique.

Se référant aux contraintes sur le comportement des objets physiques que les enfants apprécient, il déclare que :

Il a été argumenté que de telles contraintes, ou présuppositions enracinées « *entrenched presupposition* » sont organisées dans une théorie cadre naïve de la physique qui n'est pas disponible pour la prise de conscience ni pour le test d'hypothèses. Cette théorie cadre de la physique contraint le processus d'acquisition de connaissances sur le monde physique d'une manière analogue à celles qu'ont été pensées des programmes de recherche et des paradigmes pour limiter le développement des théories scientifiques. (Vosniadou, 1994, p. 47 [Notre traduction])

À cet égard, Vosniadou introduit une théorie spécifique qui décrit les propriétés et le comportement des objets physiques en observant et en présentant des contraintes de la théorie cadre pour une situation spécifique.

On peut décrire les croyances qui constituent une théorie spécifique comme des contraintes de second ordre qui émergent de la structure des connaissances acquises, parce que cette structure impose sa propre influence unique sur le processus d'acquisition des connaissances. (Vosniadou, 1994, p. 48 [Notre traduction])

Par conséquent, dans le modèle de Vosniadou (1994) le changement conceptuel comporte plusieurs niveaux et se produit à plusieurs endroits. La forme la plus simple de changement conceptuel est l'enrichissement d'une structure conceptuelle existante en ajoutant des nouvelles informations et observations à un cadre théorique existant. Une autre forme est le changement conceptuel par révision au niveau de la théorie cadre ou théorie spécifique lorsque des nouvelles informations sont incompatibles avec des croyances ou des présuppositions existantes, ou avec la structure relationnelle d'une théorie. S'appuyant sur des études qu'il a faites sur des enfants en laboratoire, il argumente que la révision d'une théorie spécifique est plus facile que la révision d'une théorie cadre, « car les présupposés de la théorie cadre représentent des systèmes d'explication relativement cohérents, basés sur l'expérience quotidienne et liés à des années de confirmation. » (Vosniadou, 1994, p. 49 [Notre traduction])

#### **2.1.4.4 Modèle de la prévalence conceptuelle de Potvin (2017)**

Le processus d'apprentissage et le changement conceptuel peuvent être perçus comme étant admis sur la base d'assumer la coexistence des conceptions, au sein d'une approche pragmatiste. Dans ce

contexte et selon Potvin (2018), le changement conceptuel n'est plus un abandon ou une transformation des conceptions, mais devient alors un surpassement de certaines conceptions au détriment d'autres, considérées comme une interférence avec les buts pédagogiques identifiés.

Ce modèle est donc en contradiction avec le remplacement des idées et leur reconsidération face à l'accumulation d'anomalies (Posner *et al.*, 1982), à la réorganisation et recontextualisation des p-primis dans des classes de coordination (diSessa, 1993) et également face à la reconfiguration et au recadrage des cadres théoriques afin qu'ils deviennent coordonnés conformément aux connaissances scientifiques (Vosniadou, 2002). Pour comprendre le modèle de la prévalence, qui conduira certainement à l'adoption de différentes stratégies dans la didactique des sciences, il est nécessaire de considérer plus en détail la coexistence des conceptions et l'approche pragmatiste.

#### **2.1.4.4.1 La coexistence des conceptions**

Dans les dernières années, des efforts de recherche ont démontré que l'abandon ou la modification des conceptions initiales ne se produisent pas nécessairement pendant l'apprentissage conceptuel et que les conceptions initiales des apprenants ne disparaissent pas lors des processus de changements conceptuels.

Plusieurs études basées sur des méthodologies issues des sciences cognitives et des neurosciences appuient l'hypothèse selon laquelle les conceptions initiales des élèves ne disparaissent pas lors des processus de changements conceptuels.

Par exemple, Shtulman (2012), Babai (Babai & Amsterdamer, 2008 ; Babai, Sekal et Stavy, 2010) et Potvin *et al.* (2015) ont montré que les réponses correctes aux questions scientifiques prenaient plus de temps lorsque ces questions contenaient une éventuelle conception initiale erronée. Dans ces cas, même si les questions sont correctement répondues, il y a toujours quelque chose qui interfère avec la production de la réponse et augmente le temps de réponse. Pour ces auteurs, la seule explication possible est que l'interférence enregistrée est causée par des conceptions initiales erronées ou fausses qui ont survécu à l'apprentissage. (Potvin, 2017, p. 57 [Notre traduction])

Selon la recherche de Potvin *et al.* (2020) sur les temps de réponse à l'aide de la chronométrie mentale et de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), les chercheurs concluent que lors de la performance, il y a une interférence de nature conceptuelle, que cette dernière soit

consciente ou intuitive. Cet effet est observable non seulement chez les élèves, mais aussi chez les experts et même chez les enseignants de science.

Une autre étude a été menée sur les conceptions initiales erronées des élèves et même des experts dans le domaine de la physique mécanique par Foisy *et al.* (2015). À l'aide de l'IRMF, l'interférence due à la coexistence des conceptions a été expliquée par le rôle de l'inhibition dans l'apprentissage des sciences. Les résultats de cette recherche démontrent que les experts, significativement plus que les élèves, activent des zones cérébrales associées à l'inhibition, soit le cortex préfrontal ventrolatéral droit et le cortex préfrontal dorsolatéral gauche. Les chercheurs concluent que les conceptions initiales erronées des experts en mécanique n'ont pas été détruites ou transformées au cours de l'apprentissage, mais auraient préféré rester encodées dans leur cerveau et ont ensuite été inhibées pour fournir une réponse correcte.

Les résultats de ces recherches, ainsi que d'autres études telles que la recherche sur la maladie d'Alzheimer (Brault Foisy, 2013), démontrent que les conceptions initiales ont persisté et n'ont donc pas nécessairement été abandonnées ou transformées au cours du processus d'apprentissage. En effet, les chercheurs considèrent que les conceptions initiales des élèves coexistent avec leurs conceptions scientifiques. D'autre part, la fonction d'inhibition lors de la résolution réussie de problèmes éducatifs indique le rôle conscient ou inconscient de cette fonction. De plus, la comparaison des résultats entre les experts et les élèves indique que les experts gèrent mieux leurs conceptions initiales erronées et appliquent des moyens d'inhibition sur ces concepts de manière plus efficace.

#### **2.1.4.4.2 L'approche pragmatiste**

À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle, l'approche pragmatiste a été amorcée par James, Peirce et Dewey. « De plus, il semble clair que le pragmatisme de James et Dewey repose sur un malentendu de Peirce. Ainsi, c'est James qui a fait connaître le pragmatisme en se basant sur l'article de Peirce, *How to Make our Ideas Clear* » (Putnam et Mounce, 1996, p. 280 [Notre traduction]).

Selon Peirce (1878), nos concepts et nos croyances résident dans l'ensemble de nos habitudes et de nos actions et les différentes croyances se distinguent par les différents modes d'action auxquels les croyances mènent.

D'après Ohlsson (2013), il existe un large consensus entre l'approche pragmatiste et les théories psychologiques de la cognition sur l'architecture cognitive. Au centre de l'architecture cognitive, comme une machine de traitement de l'information, existe une mémoire de travail à capacité limitée, connectée à des mémoires à long terme séparées en connaissances déclaratives et pratiques.

Au cours de ce processus, le système fait des choix rapides et sans fin : poursuivre quel objectif (planification) ; se pencher sur quelle partie de l'environnement (attribution de l'attention) ; retenir quelle interprétation de l'input perceptif (perception) ; activer quelle structure de mémoire suivante (récupération) ; effectuer quelle inférence par la suite (raisonnement) ; et, au besoin, apporter quel changement à la base de connaissances du système à tout moment donné (apprentissage). (Ohlsson, 2013, p. 78 [Notre traduction])

Le but du système cognitif, selon l'approche pragmatiste, est de générer une action qui puisse satisfaire l'objectif actuel de la personne. Par conséquent, après avoir reçu les informations et les avoir évaluées, le système cognitif les utilisera ensuite pour décider quoi en faire et comment les traiter. Néanmoins, l'évaluation est possible de différentes manières.

De nombreuses tâches dans la vie quotidienne ont plusieurs solutions, variant en fonction de la satisfaction des objectifs, de l'efficacité et de la gamme d'applicabilité. Évaluer les croyances par rapport à leur utilité cognitive est donc très différent de les évaluer par rapport à leur vérité. (Ohlsson, 2013, p. 80 [Notre traduction])

De plus, Ohlsson (2013) déclare que la position pragmatiste soutient l'hypothèse que la variable guidant les différents choix est l'utilité cognitive qu'on reconnaît aux conceptions dans tel ou tel contexte. Si on suppose que selon la mémoire chaque concept ou croyance soit associé à une valeur numérique mesurant son utilité passée, lorsqu'un choix devra être fait entre eux, le concept ou la croyance ayant la plus grande utilité sera privilégiée et contrôlera le discours et l'action.

On pourrait alors faire l'hypothèse que le statut qu'une personne accorde aux conceptions dont elle dispose pourrait être évalué comme plus élevé lorsque cette personne réussit mieux ou plus souvent les tâches qui s'inscrivent en congruence avec

ces conceptions, et plus faible lorsqu'elle échoue plus fréquemment les tâches qui s'inscrivent en contradiction avec elles. (Potvin, 2018, p. 327)

Ainsi, l'attribution de la valeur d'utilité cognitive dépend de l'expérience de chaque individu dans le monde qui, selon cette approche, est filtrée par l'action et non par la perception.

Dans le modèle de la prévalence conceptuelle, la prévalence se produirait lorsque le statut ou la crédibilité d'une conception, qui est déterminé par son utilité cognitive, surpasseraient suffisamment ceux des autres conceptions rivales pour se révéler dans les réponses. L'utilité cognitive perçue devrait rejoindre l'utilité objective. De cette façon, les idées qui prévalent se rapprochent alors presque forcément de la réalité physique ou du comblement des besoins (Potvin, 2018).

La principale différence entre le modèle de la prévalence et les modèles précédents est la façon dont ils perçoivent les changements conceptuels. Dans les modèles basés sur le remplacement et la transformation des conceptions, le changement conceptuel et la révision des croyances se produisent parce que des concepts et des croyances déjà acquis sont erronés ou à cause d'une certaine insatisfaction à leur égard en recevant de nouvelles informations. Outre, dans ce modèle, l'insatisfaction à l'égard des anciennes croyances n'est pas nécessaire pour la prévalence d'une nouvelle conception (ou d'une parcelle de conception) sur une ou plusieurs autres, ayant pu prévaloir dans le passé. Il suffit de reconnaître que la nouvelle conception est plus utile (Potvin, 2018). D'autre part, la croyance en l'utilité est une question graduelle. Une nouvelle conception pouvant concurrencer les anciennes est en fait le résultat d'une augmentation constante de la croyance en l'utilité dans différentes applications. Selon Ohlsson (2013), dans ce modèle, le changement conceptuel est alors nécessairement un processus graduel.

Nous croyons que l'ensemble de nouvelles et récentes preuves neuro-éducatives nous oblige à voir au-delà des idées de remplacement ou de transformation des connaissances. En 2012, Duit et Treagust ont suggéré qu'il était peut-être temps de remplacer le terme *changement conceptuel* par le terme *reconstruction conceptuelle*. Conformément aux développements récents, nous sommes respectueusement en désaccord et suggérons plutôt que l'idée de *prévalence conceptuelle* pourrait être mieux adaptée, en plus qu'une nouvelle terminologie puisse désormais contraindre le domaine d'une manière plus productive. (Potvin, 2017, p. 63 [Notre traduction])

#### 2.1.4.5 Discussion sur les implications éducatives des modèles présentés

L'enseignement des sciences, comme mentionné dans les modèles présentés des sections précédentes, nécessite une sorte de changement conceptuel. En raison des différences de points de vue sur la nature du changement, leurs implications éducatives changeront également.

Dans le modèle de Posner *et al.* (1982), un changement conceptuel correspondant au remplacement des conceptions est considéré. On a également vu, lors de la présentation de ce modèle, que

des changements conceptuels, appelés l'accommodation, peuvent impliquer des changements dans nos hypothèses fondamentales sur le monde et sur la connaissance. Tels changements peuvent être difficiles et potentiellement menaçants, en particulier lorsque l'individu est fermement engagé à des hypothèses antérieures. (Posner *et al.*, 1982, p. 223 [Notre traduction])

Par cette perspective, il s'avère important de fournir un champ favorable au processus d'accommodation plutôt que de simplement introduire de nouvelles conceptions qui sont prises en compte dans les programmes d'études. De cette façon, la possibilité de cohérence augmente entre les croyances de l'étudiant sur le monde avec les fondements épistémologiques et historiques de la science moderne. Pour atteindre cet objectif, le rôle des anomalies est particulièrement important pour guider ce changement conceptuel, soit « l'accommodation », qui s'opère dans le cadre d'un conflit cognitif. En prenant les anomalies au sérieux, l'écologie conceptuelle de l'apprenant sera davantage prête à accepter de nouvelles conceptions. « Les professeurs de physique doivent s'appuyer sur des "anomalies" pour préparer l'apprenant à l'accommodation » (Posner *et al.*, 1982, p. 224 [Notre traduction]).

Le principal inconvénient de cette perspective, indépendamment de son inapplicabilité dans toutes les matières d'enseignement, est lié au coût dépensé pour déconstruire les conceptions initiales au profit de nouvelles conceptions. Les conceptions initiales sont-elles facilement oubliées après la déconstruction et quel effet psychologique cette déconstruction a-t-elle sur l'élève ? Selon Potvin (2018), « on regrettait aussi, on l'a dit, de possibles atteintes à l'estime de soi, provoquées par de ferventes charges, parfois acharnées, contre certaines croyances fortes » (p. 283).

Dans le modèle de diSessa (1993, 2014) et le modèle de Vosniadou (1994), un changement conceptuel est considéré comme une transformation des structures cognitives déséquilibrées par les interactions de l'apprenant avec le milieu dans lequel il se trouve. Une sorte de restructuration ou reconfiguration totale ou partielle (Potvin, 2018).

La première conséquence didactique de cette approche est d'éviter les attaques sévères sur les conceptions initiales parce qu'il suffit de modifier certains aspects d'un concept initial. Selon diSessa (2014), il n'est pas juste de considérer les conceptions initiales comme une sorte de jugement naïf qui n'a aucun rôle dans la pensée experte. Par exemple, diSessa (2002) démontre que pour opérer un changement conceptuel sur la force en tant que concept et bon candidat pour une classe de coordination, il n'est pas nécessaire de discréditer l'ensemble des croyances des apprenants dans ce domaine. Au contraire, cela peut être effectué en se concentrant sur certains concepts de second niveau, tels que la p-prim « *force as a mover* ».

Une autre conséquence didactique de cette approche est l'importance de la structure conceptuelle et la structure de connaissance dans l'enseignement. Selon diSessa (1993), le résultat le plus négatifs venant du fait d'ignorer les structures de connaissances dans l'enseignement est de créer un mur déraisonnable entre les conceptions initiales et la compréhension scientifique, ce qui mène à l'éloignement des élèves. Si l'apprenant veut comprendre comment fonctionne le monde en apprenant la science, son système intuitif de connaissances et ses conceptions initiales doivent être impliqués et modifiés. Ainsi, le travail de l'enseignant est d'assurer le recadrage de meilleures catégorisations (Potvin, 2018). Comme le souligne Vosniadou (1994), il convient de noter que de déclencher les recadrages nécessaires n'est pas toujours facile. Selon lui,

il est particulièrement difficile de réaliser les types de changement conceptuel qui nécessitent la révision des présuppositions ontologiques et épistémologiques de la théorie cadre, car elles représentent des systèmes d'explications relativement cohérents liés à des années de confirmation. (Vosniadou, 1994, p. 68 [Notre traduction])

Par conséquent, la réalisation d'un processus de changement conceptuel dans la classe n'est pas un bricolage instantané. Au lieu d'exposer successivement des anomalies et de remettre en question les conceptions initiales, l'enseignant peut lentement et progressivement développer des conflits cognitifs en considérant les structures contenant les conceptions.

L'inconvénient de cette approche est de ne pas savoir sur quelles conceptions ou théories l'apprenant peut s'appuyer pour reconstruire les nouvelles conceptions. D'autre part, « sur quels genres de balises, d'outils, d'objets ou d'habitudes interprétatives les apprenants s'appuient-ils lorsqu'ils construisent, déconstruisent et reconstruisent leur pensée ? » (Potvin, 2018, p. 286).

Selon la perspective de la prévalence, Potvin (2017, 2018) fournit des propositions concrètes de modèle conceptuel d'enseignement de la prévalence dont les principales étapes peuvent être résumées en trois parties, « 1) sécuriser la disponibilité des conceptions désirées dans la course ; 2) installer des réflexes inhibiteurs ; et 3) automatiser l'emploi des conceptions désirées pour une prévalence durable. » (Potvin, 2017, p. 64 [Notre traduction]). Donc, d'après Potvin (2018),

le modèle que nous avons proposé et défendu (Potvin, 2013 ; Potvin, Sauriol et Riopel, 2015) suppose trois conditions à remplir dont les apparitions successives dans l'enseignement doivent idéalement se faire dans un ordre séquentiel, mais pas nécessairement exclusif. On peut en effet envisager que les étapes se chevauchent partiellement. (p. 329)

Dans la première étape, en raison de la coexistence et de la présence simultanée de toutes les conceptions, il semble nécessaire de rendre disponible les conceptions désirées du programme pédagogique pour empêcher le renforcement des conceptions initiales non scientifiques. Les conceptions qui nous rendent service et leurs utilités cognitives ne doivent pas être en retard des conceptions initiales non scientifiques ou réfutées dans le concours de prévalence. Selon Potvin (2018), « puisque le statut des conceptions initiales ne semble pas facilement pouvoir être diminué au moyen de conflits cognitifs, on propose de plutôt tenter de faire entrer le plus rapidement possible les conceptions désirées dans la course » (p. 350).

Sécuriser la disponibilité des conceptions désirées consiste à installer des réflexes inhibiteurs. À cet effet, en considérant le contexte de la séquence pédagogique souhaitée, il est nécessaire d'anticiper les erreurs courantes et les conceptions fréquentes pouvant engendrer des interférences. Ensuite, il faut tenter de rendre les conceptions initiales indésirables et les conceptions personnelles des élèves plus assoiffées pour être moins efficaces ou plus lourdes, faisant en sorte que les conceptions désirées deviennent une solution plus avantageuse. On peut tenter de leur enlever leur carburant et ainsi atténuer leur capacité future de se renforcer elles-mêmes par l'usage (Potvin,

2018). De cette manière, les apprenants auront des doutes et des éléments inhibiteurs lorsqu'ils utiliseront leurs conceptions personnelles dans un contexte où des conceptions plus utiles leur auront déjà été présentées. En fournissant des preuves, on essaye de convaincre les apprenants que certaines de leurs conceptions initiales sont fausses et inexactes pour renverser éventuellement la prévalence de conceptions non scientifiques.

Il faudra non seulement alimenter d'utilité cognitive perçue les conceptions qui sont souhaitées, mais aussi, dans la mesure du possible, tenter d'assoiffer celles qui causent des interférences... Ces réflexes seront déclenchés par l'identification des circonstances particulières lors desquelles certaines conceptions pourraient malheureusement avoir l'occasion de laisser croire qu'elles suffisent. (Potvin, 2018, p. 335)

D'après Potvin (2017, 2018), la troisième étape consiste à automatiser l'emploi des conceptions désirées et à étendre leur utilisation sur le plus grand nombre possible au sein des contextes d'apprentissage souhaité pendant les périodes, jours et semaines qui suivent immédiatement cet apprentissage.

Il faut alors se réjouir, au retour des élèves en classe, de voir les conceptions désirées ainsi que les réflexes inhibiteurs qui viennent avec reprendre rapidement du service lorsqu'on les sollicitera à nouveau.... Ils auront cependant encore besoin d'une bonne quantité d'utilité perçue pour assurer que leur statut soit rehaussé durablement. Cette durabilité, d'abord fragile et relative, pourra être obtenue par l'exposition des apprenants à un programme de renforcement visant l'automatisation. (Potvin, 2018, p. 341)

En conclusion, l'importance des conceptions initiales des apprenants dans le processus d'apprentissage est le point commun de tous les modèles présentés. Bien que les modèles soient différents, les conceptions initiales, même lorsqu'elles sont complètement erronées, jouent un rôle efficace dans le remplacement, la reconstruction structurelle, le recadrage de la théorie cadre et dans la prévalence conceptuelle. Elles participent parfois dans le rôle de l'amorce d'une séquence pédagogique et sont parfois comme des réflexes inhibiteurs dans la reconstruction cognitive. Les conceptions initiales peuvent servir de médiateurs entre les complexités ou les caractéristiques d'une situation et des concepts scientifiques dans des positions appropriées.

En raison de l'importance du contexte pédagogique dans lequel les conceptions initiales sont appliquées et le sujet de cette recherche à l'égard d'une partie spécifique de la physique mécanique, la section suivante se penchera sur l'identification des conceptions initiales dans la physique mécanique.

## **2.2 Les conceptions initiales en physique mécanique**

### **2.2.1 Le diagnostic des conceptions initiales en physique**

Dans le domaine de la physique mécanique, de nombreux termes tels que la force, l'énergie, l'action, la vitesse, la friction, etc. sont largement utilisés de manière non scientifique dans la vie quotidienne. « Les croyances de bon sens ont tendance à être métaphoriques et vagues avec des significations dépendantes de la situation. Cela se reflète dans l'utilisation de la langue. » (Hestenes *et al.*, 1992, p. 141 [Notre traduction]). Les élèves s'engagent davantage dans leurs études lorsqu'ils tirent des conclusions de leurs découvertes et lorsqu'ils appliquent leurs connaissances existantes ainsi que leur expérience du monde réel. Donc, les étudiants portent parfois un plus grand fardeau de conceptions initiales à ce sujet, notamment des conceptions issues de leurs interactions avec le monde qui les entoure et qui sont limitées par leur localité et en étant restreintes à leurs conditions de vie particulière. Ils entretiennent ces conceptions initiales très robustes et non scientifiques liées à la physique mécanique malgré le fait qu'elles soient généralement incompatibles avec les théories newtoniennes.

Par exemple, en physique-mécanique, quelques énoncés de ces fausses idées sont : la conception erronée selon laquelle un objet en mouvement s'arrêtera progressivement si la force qui a causé ce mouvement n'est plus active (Hestenes *et al.*, 1992). Cette fausse conception est incompatible avec la première loi de Newton, qui indique que tout corps conservera son état si aucune force n'est appliquée sur ce corps. Cette *misconception* amène beaucoup d'élèves à croire qu'un mouvement continue seulement si une force est constamment appliquée (Clement, 1982).

D'autres exemples peuvent être mentionnés : l'idée que la masse influe sur la vitesse de chute, lorsqu'on néglige la résistance de l'air (Gönen, 2008), masse et poids sont équivalents (Neidorf *et al.*, 2020), Confusion entre réflexion et réfraction, de nombreux élèves confondent ces deux

phénomènes, pensant que la réfraction est simplement la réflexion ou que les deux ne peuvent pas se produire simultanément (Kaewkhong *et al.*, 2010).

De plus, en tant qu'enseignant de physique, avons souvent été confronté à des conceptions erronées commises par les élèves dans diverses disciplines de la physique. Certains élèves pensent, par exemple, que la vitesse du courant électrique dans un conducteur est très élevée parce que, lorsqu'on actionne un interrupteur, une ampoule s'allume instantanément. Ils supposent également que le comportement ondulatoire du son est comparable à celui de la lumière, et croient à tort qu'une onde sonore peut se propager dans le vide comme la lumière.

Cette recherche se concentre essentiellement sur les conceptions erronées en cinématique. À cette fin, nous analyserons d'abord des instruments diagnostiques permettant d'identifier ces conceptions, puis nous proposerons une classification des principales conceptions erronées observées en cinématique.

### **2.2.2 Outils d'évaluation des conceptions initiales en physique**

Dans le cadre de cette étude, l'outil d'évaluation a été développé en s'appuyant sur quatre tests reconnus pour leur validité : le *Force Concept Inventory* (FCI), le *Kinematics Concept Test* (KCT), le *Force and Motion Conceptual Evaluation* (FMCE) et le *Force, Velocity, Acceleration* (FVA).

Étant donné que le FCI est reconnu comme un outil d'évaluation valide et pionnier dans l'analyse des conceptions en physique, notamment dans le domaine de la mécanique newtonienne, cette section propose d'abord une analyse approfondie de ce test, suivie d'une discussion sur les autres outils utilisés.

Bien que le FCI soit identifié comme l'un des outils les plus fiables dans le domaine, il est important de noter que, malgré l'inclusion de questions liées à la cinématique, il privilégie principalement les concepts de force et de dynamique. Afin de garantir une couverture adéquate des conceptions cinématiques, trois autres tests valides ont été intégrés à cette étude.

### 2.2.2.1 Le Force Concept Inventory (FCI)

Le *Force Concept Inventory* (FCI) est une version évoluée du *Mechanics Diagnostic Test* (MDT) conçu par Hestenes *et al.* (1992) pour évaluer la compréhension des étudiants des conceptions initiales les plus fréquentes. Il peut être utilisé à plusieurs fins différentes, mais la plus importante est d'évaluer l'efficacité de l'enseignement. «Le FCI est probablement l'instrument le plus largement utilisé pour évaluer l'efficacité l'enseignement de la physique aujourd'hui » (Hestenes et Halloun, 1995, p. 1 [Notre traduction]). 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. (Boucher-Genesse, 2012)

Selon Hestenes *et al.* (1992), étant donné que la conception centrale de la mécanique newtonienne est la force, cet instrument est conçu afin de sonder les croyances et les conceptions des étudiants à ce sujet et de les comparer avec six dimensions du concept newtonien. Le Tableau 2.1 présente six dimensions conceptuelles de force newtonienne qui ont chacune une structure supplémentaire. «Nous pensons que cette analyse est assez complète. Au moins, personne n'a suggéré qu'il manquait quelque chose » (Hestenes et Halloun, 1995, p. 2 [Notre traduction]).

Tableau 2.1 Les Conceptions newtoniens dans FCI (Hestenes *et al.*, 1992)

Les Conceptions newtoniens	Item au FCI
<b>0. Cinématique</b>	
Vitesse discriminée de la position	20E
Accélération discriminée de la vitesse	21D
<i>Une accélération constante implique</i>	
> orbite parabolique	> 23D, 24E
> changement de vitesse	> 25B
Addition vectorielle des vitesses	(7E)
<b>1. Première loi de Newton</b>	
Sans aucune force	4B, (6B), 10B
Direction de la vitesse constante	26B
La vitesse constante	8A, 27 A
Avec l'annulation des forces	18B,28C
<b>2. Deuxième loi de Newton</b>	
Force impulsive	(6B), (7E)
La force constante implique l'accélération constante	24E, 25B
<b>3. Troisième loi</b>	
Pour les forces impulsives	2E, 11E
Pour les forces continues	13A, 14A
<b>4. Principe de superposition</b>	
Somme vectorielle	19B
Forces d'annulation	(9D), 18B, 28C
<b>5. Types ou Force</b>	
<i>5S. Contact solide</i>	
> Passif	> (9D), (12 B,D)
> Impulsif	> 15C
> La friction s'oppose au mouvement	> 29C
<i>5F. Contact fluide</i>	
> Résistance à l'air	> 22D
> Flottant (pression atmosphérique)	> 12D
<i>5G. Gravitation</i>	
L'accélération indépendante du poids	1C, 3A
La trajectoire parabolique	16B, 23D

Le Tableau 2.1 décrit des conceptions newtoniennes standards à l'aide desquelles les conceptions des élèves peuvent être comparées et interprétées en détail. Alors que le Tableau 2.1 décrit la conception de force newtonienne, le Tableau 2.2 contient une taxonomie des conceptions initiales les plus fréquentes et les plus importantes de la physique newtonienne sondées par FCI. Pour faciliter la comparaison et pour analyser les conceptions initiales qui influencent les réponses

erronées des apprenants, le Tableau 2.2 est également organisé en six catégories correspondant à celles du Tableau 2.1.

Tableau 2.2 La taxonomie des conceptions initiales dans le test FCI (Hestenes *et al.*, 1992)

Conception initiale	Item au FCI
<b>0. Cinématique</b>	
K1. Position - vitesse non distinguées	208,C,D
K2. Vitesse - accélération non distinguées	20A ; 21B,C
K3. Composition non vectorielle de la vitesse	7C
<b>1. Impetus</b>	
I1. Impetus fournit par un impact	9B,C ; 22B,C,E ; 29D
I2. Perte/recouvrement de l'impetus d'origine	4D ; 6C,E ; 24A ; 26A,D,E
I3. Dissipation de l'impetus	5A,8,C ; 8C ; 16C,D ; 23E ; 27C,E ; 29B
I4. Augmentation graduelle de l'impetus	6D ; 8B,D ; 24D ; 29E
I5. Impetus circulaire	4A,D ; 10A
<b>2. Forces actives</b>	
AF1. Seuls des agents actifs exercent des forces	11B ; 12B ; 13D ; 14D ; 15A,B ; 18D ; 22A
AF2. Un mouvement implique une force active	29A
AF3. Mouvement nul = force nulle	12E
AF4. La vitesse est proportionnelle à la force appliquée	25A ; 28A
AF5. L'accélération implique une force croissante	17B
AF6. Une force cause l'accélération jusqu'à la vitesse maximale	17A ; 25D
AF7. Une force active se dissipe	25C,E
<b>3. Paires action/réaction</b>	
AR1. Plus de masse implique plus de force	2A,D ; 11D ; 13B ; 14B
AR2. L'agent le plus actif produit le plus de force	13C ; 11D ; 14C
<b>4. Concaténation des influences</b>	
CI1. La plus grande force détermine le mouvement	18A,E ; 19A
CI2. Un compromis des forces détermine le mouvement	4C, 10D ; 16A ; 19C,D ; 23C ; 24C
CI3. La dernière force à agir détermine le mouvement	6A ; 7B ; 24B ; 26C

Conception initiale	Item au FCI
<b>5. Autres influences sur le mouvement</b>	
CF. Force centrifuge	4C,D,E ; 10C,D,E
Ob. Des obstacles n'exercent pas de forces	2C ; 9A,B ; 12A ; 13E ; 14E
<b>Résistance</b>	
R. La masse fait s'arrêter les objets	29A,8 ; 23A,B
R2. Mouvement lorsque la force excède la résistance	28B,D
R3. La résistance s'oppose à la force/impetus	28E
<b>Gravité</b>	
G1. L'air assiste la gravité	9A ; 12C ; 17E ; 18E
G2. Gravité intrinsèque à la masse	5E ; 9E ; 17D
G3. Objets plus lourds tombent plus vite	1A ; 3B,D
G4. La gravité augmente avec la chute des objets	5B ; 17B
G5. La gravité agit après la dissipation de l'impetus	5B ; 16D ; 23E

Par exemple, La conception initiale CI3 indique que la dernière force à interagir avec un objet déterminera complètement sa trajectoire ce qui correspond à la *p-prim* « *Force as a mover* » de diSessa(1993).

D'après Hestenes et Halloun (1995), l'interprétation sur la note totale des réponses newtoniennes peut être utilisée comme une mesure du degré auquel l'étudiant a assimilé des concepts newtoniens de force. Pour chaque question sur le FCI, il y a précisément une et une seule réponse newtonienne parmi les cinq alternatives. La réponse à une question donnée est dite un faux négatif si l'étudiant a choisi une réponse non newtonienne. Une réponse est un faux positif si une réponse newtonienne a été choisie pour des raisons non newtoniennes. Un problème majeur dans le développement de tests à choix multiples est de minimiser les faux positifs et négatifs. Mais, la minimisation des faux positifs est difficile et ils ne peuvent pas être éliminés complètement, même les choix aléatoires ont 20 % de chances d'être de faux positifs. Cependant, ces auteurs affirment que pour deux raisons, l'effet négatif des faux négatifs dans le FCI a été réduit et donc le FCI a réussi. Premièrement, le FCI sonde la dimension conceptuelle des questions dans différents contextes et perspectives. Par conséquent, un faux positif sur l'une des questions peut alors être partiellement compensé par un choix non newtonien sur une autre. Deuxièmement, le FCI introduit de puissants distracteurs sur chaque question, des alternatives non newtoniennes qui semblent extrêmement

raisonnables aux étudiants, car elles ont été sélectionnées à partir d'entretiens approfondis avec des étudiants.

Selon la base de données obtenue à partir de la recherche menée sur le FCI, Hestenes *et al.* (1992 ; Hestenes, 2006) affirment qu'une note moyenne au FCI de 85 % peut être interprétée comme le seuil de maîtrise newtonienne et les étudiants ayant des notes supérieures à ce seuil peuvent être envisagés comme des penseurs newtoniens confirmés. Une note de 60 % est le seuil minimal pour comprendre la physique newtonienne. Les auteurs proposent deux raisons de faire confiance au FCI pour l'évaluation de l'enseignement.

Premièrement, une grande base de données facilitera la comparaison de différents cours et méthodes d'enseignement. Deuxièmement, comme déjà expliqué, le score FCI total est l'indice unique le plus crédible de la compréhension des étudiants, car il mesure la cohérence dans toutes les dimensions du concept de force newtonienne. (Hestenes et Halloun, 1995, p. 7 [Notre traduction])

Par exemple, Hestenes (2006), dans la Figure 2.1, résume les données d'un échantillon national de 7500 élèves du secondaire en physique impliqués dans le projet d'enseignement de la modélisation avec la technique du *Modeling Instruction* au cours des années 1995–98.

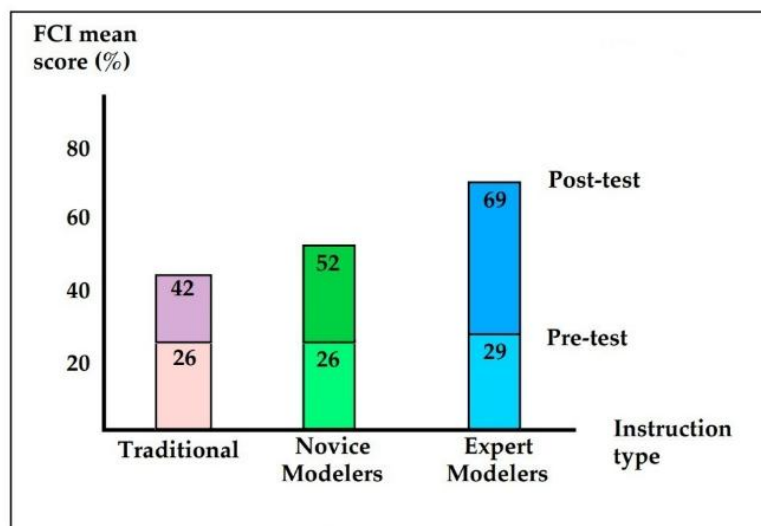


Figure 2.1 Les données provenant du *Modeling Instruction Project* entre 1995 et 1998

La note moyenne du prétest FCI est d'environ 26 %, légèrement au-dessus du niveau de devinette aléatoire de 20 %, et bien en dessous de la note de 60 % comme un seuil minimal pour comprendre la physique newtonienne.

La Figure 2.1 démontre que l'enseignement traditionnel (cours magistral avec des activités de laboratoire standard) au niveau secondaire a peu d'impact sur les conceptions des élèves, avec une note moyenne au post-test FCI de 42 %, toujours bien en dessous du seuil newtonien. Alors que les enseignants qui ont été entraînés et ont utilisé le *Modeling Instruction*, une technique d'enseignement qui tient compte des conceptions initiales des élèves, obtiennent une note environ 10 % plus élevée. Les enseignants plus experts et particulièrement familiers avec la technique du *Modeling Instruction* obtiennent de bien meilleurs résultats.

Pour comparer les résultats individuels et montrer des différences dans les effets des méthodes d'enseignement sur les étudiants « plus faibles » par rapport aux étudiants « plus forts », 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 post-test et pré-test de FCI.

$$g = \frac{\%post - \%pre}{100 - \%pre}$$

Cette formule, proposée par Hestenes et Halloun (1995), est le ratio entre le gain moyen sur le gain maximum possible. 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.

Par exemple, Halloun (1997) divise d'abord les étudiants en quatre groupes en utilisant *Views About Sciences Survey* (VASS) qui est un test pour caractériser les points de vue des élèves sur la connaissance et l'apprentissage des sciences. Les quatre profils distincts des opinions des étudiants peuvent être regroupés comme suit : expert (EP), transition haute (http), transition basse (LTP) et folk (FP). Les élèves ayant un profil expert sont principalement des réalistes scientifiques et des apprenants critiques. Les élèves avec un profil folklorique sont principalement des réalistes naïfs et des apprenants passifs. Les élèves avec des profils transitionnels ont des mélanges de ces points

de vue. Ensuite, à l'aide du FCI, Halloun (1997) évalue la relation entre ces opinions et la réussite en cours de physique au niveau secondaire. Les résultats sont présentés dans la Figure 2.2.

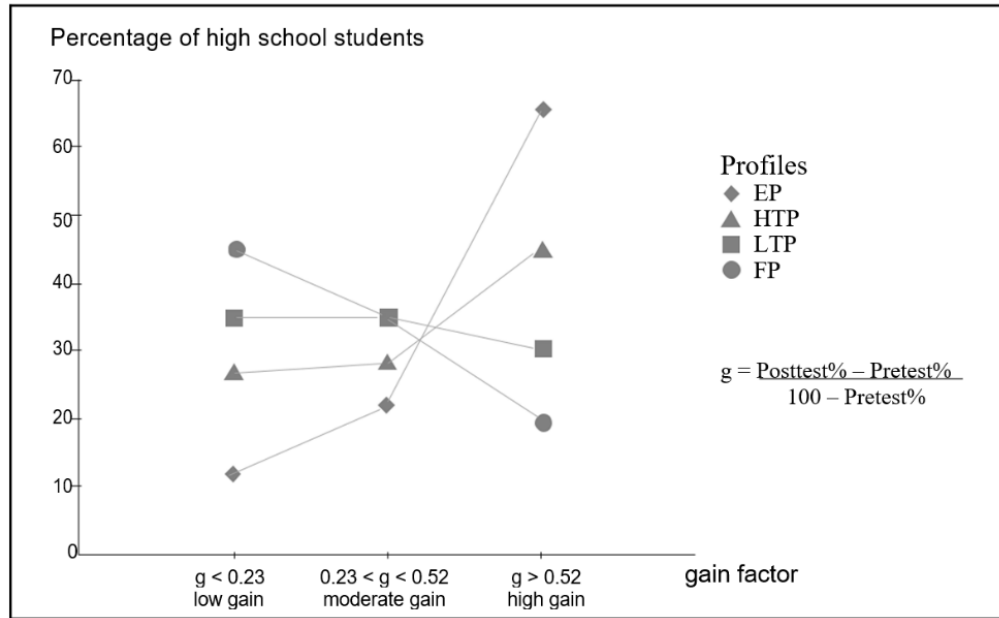


Figure 2.2 Distribution des profils d'étudiants parmi les gains FCI

Selon la Figure 2.2, les élèves ayant un profil expert sont les plus susceptibles d'avoir les meilleurs résultats dans leurs cours de physique. Les élèves ayant un profil folk sont les plus susceptibles d'avoir les résultats les plus faibles et les étudiants aux profils transitionnels sont les plus susceptibles de se situer au milieu.

Selon les deux exemples présentés, à l'aide du FCI, il nous sera possible de comparer les résultats du développement d'une méthode pédagogique basée sur l'utilisation de logiciels éducatifs avec des méthodes traditionnelles et d'examiner la progression individuelle des apprenants après l'utilisation de ces logiciels.

### 2.2.2.2 Le kinematics concept test (KCT)

Le test de kinematics concept test (KCT) est un test à choix multiples conçu pour évaluer la compréhension conceptuelle de la cinématique pour les élèves du secondaire. Le test comprend 49 questions à choix multiples sur la vitesse et l'accélération, qui sont basées sur sept conceptions

cinématiques (Tableau 2.3) et qui utilisent trois représentations différentes ; les graphiques, les tableaux et les images.

Notre modèle pour développer le KCT est basé sur sept concepts de la cinématique, qui sont déjà décrits dans la littérature. Thompson (1994) a spécifié le concept de vitesse comme taux. Trowbridge et McDermott (1980) ont étudié la vitesse comme une construction unidimensionnelle, et Aguirre et Erickson (1984) ont fait référence au caractère vectoriel de la vitesse en deux dimensions. Un autre concept est le vecteur de déplacement comme aire sous la courbe dans le diagramme vt. McDermott, Rosenquist et van Zee (1987) et Nguyen et Rebello (2011) ont utilisé le concept d'aire sous la courbe pour explorer la compréhension et l'application du concept par les étudiants dans différents contextes, y compris la cinématique. (Lichtenberger *et al.*, 2017, p. 3)

De plus, puisque l'accélération est dérivée de la vitesse de la même manière que la vitesse est dérivée de la position, les concepteurs de ce test définissent également quatre conceptions supplémentaires pour l'accélération : l'accélération en tant que taux, l'accélération en tant que vecteur unidimensionnel ou bidimensionnel et l'aire sous la courbe du graphique en tant que changement de vitesse. D'autre part, comme l'accélération en deux dimensions n'est pas abordée dans les cours de physique au secondaire, trois conceptions d'accélération ont donc été ajoutés aux conceptions liées à la cinématique. Alors que les conceptions sont utilisées pour construire des questions à choix multiples, les idées préconçues et les conceptions erronées décrites dans la littérature Beichner (1994), van Zee et McDermott (1987), Aguirre (1988) et Tejeda Torres et Alarcon (2012) sont utilisées pour former des distracteurs pour les questions à choix multiples.

Tableau 2.3 Relation du KCT entre conceptions et représentations (notées par « X ») et numéros des items qui sont utilisés et adaptés du FCI et du TUG-K (Test of Understanding Graphs in Kinematics)

Concepts	Representations		
	Pictures	Tables	Graphs
C1: Velocity as rate	X FCI 19	X	X TUG-K 5, (11)
C2: Velocity as one-dimensional vector	X		X (TUG-K 11)
C3: Addition of velocities in two dimensions	X FCI 9		
C4: Displacement as area under the $vt$ curve			X TUG-K 4
C5: Acceleration as rate	X	X	X TUG-K 2, 6, 7, (14, 15)
C6: Acceleration as one-dimensional vector	X		X (TUG-K 14, 15)
C7: Velocity change as area under the $at$ curve			X TUG-K 1, 10, 16

### 2.2.2.3 Le Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE)

Le *Force and Motion Conceptual Evaluation* (FMCE) a été conçu par Ronald Thornton en collaboration avec le Center for Science and Mathematics Teaching de l'université Tufts. Cet instrument diagnostique vise à évaluer la compréhension des conceptions physiques fondamentaux chez les étudiants, en particulier ceux relatifs à la vitesse, à l'accélération et à la force (Thornton, 1996 ; Thornton et Sokoloff, 1997). Les questions sont formulées à partir de représentations graphiques et de scénarios rédigés en langage naturel, s'inscrivant dans un cadre narratif (Ramlo, 2008). Comportant un total de 43 questions regroupées selon des thématiques, chaque question offre au moins six options de réponse, incluant des *misconceptions* fréquemment observées chez les apprenants.

Le FMCE adopte une approche de « blocage » ou de « chaînage » des items, dans laquelle plusieurs items sont liés à une racine commune. Dans chaque bloc, un système physique est d'abord présenté, suivi de plusieurs items qui s'y rapportent. Sur les 43 items constituant le FMCE, tous, à l'exception d'un seul (l'item 39), sont organisés en blocs (Wells *et al.*, 2020). De même, le FCI utilise des blocs, avec 13 des 30 items intégrés dans cette structure. Il est important de souligner que plusieurs études ont mis en évidence que le blocage des items peut engendrer des corrélations parasites, rendant ainsi l'interprétation statistique de l'instrument plus complexe (Stewart *et al.*, 2018).

Dans leur étude, Thornton et Sokoloff (1998) ont classé les conceptions incluses dans le test FMCE en quatre catégories : « Force Sled », « Cart on Ramp », « Coin Toss » et « Force Graph ». Depuis, d'autres chercheurs ont proposé des révisions aux sous-groupes d'items établis par Thornton et Sokoloff. Par exemple, Wittmann *et al.* (2014) ont identifié cinq sous-groupes : force (Newton I et II) (éléments 1 à 4, 7 à 14, 16 à 21), accélération (éléments 22 à 29), Newton III (éléments 30 à 32, 34, 36, 38) et vitesse (éléments 40 à 43). De plus, Wells *et al.* (2020) ont récemment identifié sept sous-groupes supplémentaires, qui sont présentés dans le Tableau 2.4, accompagnés des idées fausses correspondantes.

Tableau 2.4 Groupes d'éléments, principe physique testé et idées fausses courantes commises par les étudiants

Item group	Community	Physical principle	Misconception
Force sled	1A, 2B, 3C, 4G, 7E	Newton's 1st and 2nd law	Velocity proportional to applied force
Cart on a ramp	8G, 9D, 10B	Motion under gravity	Velocity proportional to applied force
Coin toss–force	11G, 12D, 13B	Motion under gravity	Velocity proportional to applied force
Force graph	14A, 16C, 17B, 18H, 19D	Newton's 1st and 2nd law	Velocity proportional to applied force
Acceleration graphs	22E, 23G, 24B, 25F, 26A	Definition of acceleration	Velocity-acceleration undiscriminated
Coin toss–acceleration	27G, 28D, 29B	Motion under gravity	Velocity-acceleration undiscriminated
Newton III	30A, 31F, 32B, 34B, 36C, 38B	Newton's 3rd law	Greater mass implies greater force Most active agent produces greatest force

#### 2.2.2.4 Le test FVA (Force, Velocity, Acceleration)

Le test FVA (Force, Velocity, Acceleration) a été développé pour étudier systématiquement la compréhension conceptuelle des étudiants concernant les relations entre les directions de la force nette, de la vitesse et de l'accélération dans une dimension.

Nous examinerons la compréhension des élèves de toutes les paires possibles de relations entre la force, la vitesse et l'accélération. Afin de cibler plus précisément la recherche, nous étudierons uniquement la compréhension des élèves des relations entre les directions de la force, de la vitesse et de l'accélération dans une dimension, en réservant l'exploration des dimensions multiples et des relations entre les valeurs de ces variables à des travaux futurs. (Rosenblatt et Heckler, 2011, p. 2)

Le test FVA se compose de 17 questions. Cet outil d'évaluation est conçu pour explorer simultanément les six relations conditionnelles possibles entre la force, la vitesse et l'accélération, offrant ainsi une vue d'ensemble de la compréhension des étudiants de ces trois concepts fondamentaux. « Chaque question du test présente un scénario simple qui illustre la direction de

l'un des vecteurs d'un objet, tel que l'accélération, et demande à l'étudiant ce que cela implique sur la direction de l'un des autres vecteurs, par exemple la vitesse. » (Rosenblatt *et al.*, 2009, p. 1)

Cependant, malgré sa pertinence, le test FVA n'a pas été entièrement retenu dans le cadre de la présente recherche. En effet, cet instrument se concentre exclusivement sur les relations directionnelles entre les vecteurs de force, de vitesse et d'accélération, ce qui limite son champ d'analyse aux aspects les plus restreints de la cinématique et de la dynamique. Or, l'objectif de cette recherche porte sur un ensemble plus large de conceptions initiales en physique-mécanique, dépassant la seule orientation des vecteurs. Ainsi, bien que le test FVA constitue un outil méthodologiquement robuste, sa portée conceptuelle ne couvre pas l'ensemble des dimensions nécessaires à l'évaluation visée dans cette étude.

### **2.2.3 Taxonomie des conceptions initiale en cinématique**

Dans le cadre de l'élaboration d'un test pertinent pour cette recherche, nous élaborons d'abord une liste complète de conceptions relatives à la cinématique. Cette liste a pour objectif d'assurer une couverture intégrale du sujet, afin de constituer une base solide pour la sélection des questions.

Comme discuté dans les sections précédentes, la classification des conceptions au sein des tests FCI et FMCE intègre certaines notions de cinématique, mais privilégie l'évaluation des idées associées aux forces et aux lois de Newton. Ainsi, le test KCT demeure le seul outil conceptuel à examiner de manière systématique les notions fondamentales de la cinématique à travers diverses représentations. En conséquence le cadre principal du test qui sera utilisé dans cette recherche s'appuie sur les questions du test conceptuel KCT et les conceptions élaborées dans ce test établiront la base de la taxonomie de cette étude.

Le test KCT est fondé sur sept conceptions, dont deux se rapportent aux graphiques de la section cinématique, en mettant l'accent sur les notions mathématiques de la pente des graphiques et de l'aire sous les graphiques. Toutefois, étant donné que le jeu vidéo sélectionné pour cette recherche n'aborde pas la question des graphiques, nous excluons ces deux notions de notre classement. Il convient de préciser que cela ne sous-entend pas que les questions intégrant des graphiques seront absentes de ce test ; cela signifie simplement que les questions abordant des concepts mathématiques avancés relatifs à la pente du graphique et à l'aire sous le graphique seront exclues.

À la suite, nous analyserons d'abord les cinq conceptions retenues du test KCT, ainsi que les conceptions erronées qui leur sont associées, à partir d'une revue de la littérature. Nous présenterons ensuite les arguments justifiant l'ajout de deux conceptions supplémentaires à la classification du KCT, afin d'assurer une couverture plus complète et plus précise des conceptions en cinématique.

### **2.2.3.1 La vitesse comme un taux**

La première conception abordée concerne l'idée que la vitesse peut être comprise non seulement non seulement comme le rapport entre le déplacement et le temps associé à ce déplacement, mais aussi comme un indicateur de la rapidité avec laquelle un phénomène se manifeste. Lichtenberger *et al.* (2017) soulignent que

Thompson, dans ses travaux, envisage la notion de vitesse en tant que taux de changement d'une quantité par rapport à une autre. La conceptualisation de la vitesse en tant que taux est essentielle dans de nombreux contextes, que ce soit en physique, en économie, ou dans d'autres domaines d'étude. En traitant la vitesse comme un taux, cela permet une analyse plus fine et quantitative des relations entre les variables. Par exemple, dans le cadre d'un mouvement, la vitesse peut être vue comme le taux de changement de la position en fonction du temps. (p. 2)

Il est important de distinguer entre le ratio et le taux. Un ratio représente la division de deux quantités similaires ou homogènes, qui peuvent être sans dimension ou de dimensions identiques, tandis que le taux se définit comme la division de deux quantités dissemblables ou hétérogènes ayant des dimensions différentes (Taşar, 2010). Lamon (2020) propose de considérer le ratio comme un terme plus général que les taux.

### **2.2.3.2 La vitesse comme vecteur unidimensionnel**

Dans leur étude sur l'enseignement de la physique, Trowbridge et McDermott (1980) et Aguirre (1988) analysent la conception de vitesse et la façon dont les étudiants l'interprètent souvent de manière erronée en raison de ses idées préconçues. Ils soulignent que les étudiants ont tendance à considérer la vitesse comme une construction simple et unidimensionnelle, se concentrant principalement sur sa grandeur sans tenir compte la direction de vitesse. Les étudiants se concentrent souvent uniquement sur la vitesse comme la rapidité, négligeant la composante

directionnelle de la vitesse, qui est cruciale pour une compréhension globale du mouvement (Tejada Torres et Alarcon, 2012).

Le langage quotidien tend à renforcer le concept de rapidité plutôt que celui de vitesse, qui n'intègre pas l'aspect directionnel essentiel à la définition de la vitesse en physique. Par exemple, lorsque l'on dit « La voiture roule à 50 km/h », on met l'accent uniquement sur la magnitude de la vitesse, sans fournir d'information directionnelle. Ce type de langage conduit les élèves à venir en classe avec des conceptions préconçues qui les empêchent de saisir la véritable signification de la vitesse dans un contexte scientifique. Trowbridge et McDermott (1980) ont constaté que de nombreux élèves ont du mal à faire la distinction entre la vitesse, au sens de rapidité en tant que quantité scalaire, et la vitesse en tant que quantité vectorielle. Alors que la rapidité ne fait référence qu'à la magnitude d'un objet en mouvement, la vitesse inclut à la fois la magnitude et la direction.

Par conséquent, la conception erronée provient du fait que les élèves ont du mal à différencier la rapidité en tant que quantité scalaire de la vitesse en tant que quantité vectorielle. Ils interprètent la vitesse comme « la rapidité avec laquelle un objet se déplace », négligeant ainsi la composante directionnelle qui la caractérise.

### **2.2.3.3 Addition des vitesses en deux dimensions**

Aguirre et Erickson (1984) ont mené des recherches pour comprendre comment les étudiants appréhendent le concept de vitesse en deux dimensions. Ils ont identifié que les idées fausses des étudiants sont généralement causées par une interprétation scalaire de la vitesse, ainsi que par des difficultés liées à l'addition de vecteurs. Les étudiants perçoivent souvent la vitesse comme une simple quantité scalaire, se concentrant uniquement sur la magnitude et négligeant la direction. Ce point de vue scalaire conduit à des malentendus, en particulier lors de l'analyse du mouvement en deux dimensions, où la direction est cruciale (Aguirre, 1988). D'autre part les étudiants ont souvent du mal à effectuer l'addition vectorielle, en particulier lorsqu'ils combinent des composantes de vitesse en deux dimensions. Cette difficulté provient souvent d'un manque de compréhension des propriétés et des opérations vectorielles, ce qui conduit à des erreurs dans le calcul des vitesses résultantes. Les étudiants oublient souvent que les composantes horizontales et verticales du

mouvement sont indépendantes l'une de l'autre. Cette négligence peut entraîner des analyses incorrectes du mouvement des projectiles et d'autres types de mouvements bidimensionnels.

#### **2.2.3.4 L'accélération comme un taux**

Comme le soulignent Trowbridge et McDermott (1981), les élèves ont tendance à appréhender l'accélération uniquement comme le taux de variation de la vitesse d'un objet, qu'il s'agisse d'une « accélération » ou d'un « ralentissement ». Ils confondent donc cette notion avec des changements de la magnitude de la vitesse plutôt qu'avec des changements de la vitesse en tant que vecteur. Cette confusion découle du fait de limiter l'accélération à des augmentations ou des diminutions de la vitesse, en négligeant les scénarios où l'accélération n'affecte que la direction du mouvement, comme dans le cas du mouvement circulaire.

Le concept d'accélération constante pose également un défi pour les élèves. Ceux-ci peuvent souvent confondre l'accélération constante avec une vitesse constante, au lieu de comprendre qu'elle se réfère à un taux de variation constant de la vitesse. Par exemple, ils peuvent croire à tort qu'un objet se déplaçant à une vitesse constante a une accélération constante, sans reconnaître que l'accélération nécessite un changement de la magnitude, de la direction ou des deux de la vitesse (Tejada Torres et Alarcon, 2012). En générale comme McDermott *et al.* (1987) démontre, il existe une tendance à confondre différentes variables cinématiques, telles que la position, la vitesse et l'accélération. Le manque de distinction entre la vitesse et l'accélération entraîne des malentendus concernant leurs rôles respectifs dans le mouvement (Tejada Torres et Alarcon, 2012).

L'accélération est souvent perçue comme un concept abstrait, qui ne peut être adéquatement enseigné sans une compréhension approfondie du concept de taux de changement (Khwanda, 2020). De plus, la littérature scientifique souligne que les étudiants en physique éprouvent des difficultés à saisir la notion d'accélération, la qualifiant d'abstraite, et peinent à établir des liens entre cette notion et des situations du monde réel (Kwok, 2018).

#### **2.2.3.5 L'accélération comme vecteur unidimensionnel**

Trowbridge et McDermott (1980) ont observé que la compréhension des élèves concernant l'accélération, en tant que vecteur, présente souvent des lacunes. Ce concept fondamental repose

sur l'idée que l'accélération a à la fois une magnitude et une direction. Il est fréquent que les élèves pensent à tort que l'accélération agit toujours dans la direction du mouvement, ce qui les conduit à ignorer les cas où le vecteur d'accélération d'un objet pointe dans une direction différente de celui de sa vitesse, par exemple, dans le cas d'un mouvement de projectile ou d'objets décélérant dans la direction opposée à leur vitesse. Les élèves confondent souvent l'accélération négative et la décélération, sans se rendre compte qu'une accélération négative peut également indiquer une accélération dans la direction opposée. Cette idée fautive affecte leur compréhension du mouvement dans différentes directions (McDermott *et al.*, 1987). En réalité, une accélération négative signifie simplement que le vecteur d'accélération pointe dans la direction opposée, ce qui peut entraîner une augmentation ou une diminution de la vitesse selon la direction de celle-ci. Cette idée fautive limite la capacité des élèves à analyser avec précision les mouvements du monde réel, comme ceux des objets se déplaçant en sens inverse (Tejada Torres et Alarcon, 2012).

#### **2.2.3.6 Confusion entre déplacement et distance parcourue**

Le déplacement et la distance parcourue sont deux conceptions fondamentales en cinématique, mais ils sont souvent confondus par les élèves. Dans les tests introduits, aucune des questions ne se penche directement sur ces conceptions. Ainsi, dans la classification conceptuelle du test KCT, cela n'est pas pris en considération. D'autre part, le jeu sélectionné dans le cadre de cette recherche, lors des deux premières étapes, aborde en détail ces deux conceptions et émet l'hypothèse que ce jeu peut aider les élèves à mieux les comprendre. Pour cette raison, nous ajoutons ces deux concepts sous un seul item du tableau conceptuel. En conséquence, une question sur ces conceptions sera bien entendu ajoutée au test.

Les élèves ont tendance à confondre le déplacement, qui est une quantité vectorielle, avec la distance parcourue, qui constitue une quantité scalaire. Cette confusion entrave leur capacité à décrire le mouvement, car elle les amène à négliger l'élément directionnel fondamental qui caractérise le déplacement (Aguirre, 1988).

Considérons, par exemple, un athlète effectuant un tour complet sur une piste circulaire. Si la circonférence de celle-ci est de 400 mètres, la distance totale parcourue par l'athlète sera de 400 mètres. Cependant, son déplacement est nul, car sa position finale est identique à sa position

initiale. Les élèves confondent souvent la distance parcourue et le déplacement, ils peuvent négliger que, bien que la distance soit importante, le déplacement peut être nul. Ils considèrent uniquement la somme des distances sans prendre en compte que le déplacement peut être plus court en raison de la direction. Par exemple, des trajets en zigzag peuvent très bien engendrer une grande distance tout en ayant un déplacement minimal. Il est donc essentiel que les élèves saisissent la distinction entre la distance parcourue et le déplacement, afin d'améliorer leur capacité d'analyse et de description des mouvements dans divers contextes.

### 2.2.3.7 Gravité

Un autre thème étudié par les élèves de cinquième année du secondaire en cinématique est la chute libre sous l'influence de la gravité, sans tenir compte de la résistance de l'air. En conséquence, des conceptions associées à ce sujet seront également ajoutées à notre classification.

Ce sujet n'a pas été abordé dans les tests KCT et FVA, donc la gravité n'est pas remise en question dans ces évaluations. En revanche, la conception de la gravité est intégrée dans les tests FCI et FMCE. Le Tableau 2.5 présente les conceptions initiales fréquentes des élèves qui sont incluses dans la taxonomie de ces tests.

Tableau 2.5 La taxonomie des conceptions initiales dans FCI et FCME sur la gravité

Le test	Conception initiale
FCI	G1. L'air assiste la gravité
	G2. Gravité intrinsèque à la masse
	G3. Objets plus lourds tombent plus vite
	G4. La gravité augmente avec la chute des objets
	G5. La gravité agit après la dissipation de l'impetus
FMCE	G6. L'accélération gravitationnelle n'est pas constante et s'effectue dans le sens opposé au mouvement.
	G7. L'accélération gravitationnelle proportionnelle à la vitesse et s'effectue dans le sens opposé au mouvement.

Dans la classification du test FCI, la conception initiale G1 suggère que l'air joue un rôle dans le processus de chute des objets. « Le fait que la force nette due à la pression de l'air soit en réalité dirigée vers le haut, en tant que force de flottabilité, plutôt que vers le bas, était à peine reconnu par les étudiants de tous les niveaux » (Hestenes *et al.*, 1992, p. 6). Les élèves peuvent croire que,

dans le vide, où l'air est absent, les objets tomberaient moins rapidement ou ne tomberaient pas du tout. Étant donné que cette conception est étroitement liée aux notions de force, de force de flottabilité et au principe d'Archimède, il n'est pas approprié de l'évaluer dans le cadre de la cinématique. Par conséquent, elle a été omise de la classification conceptuelle retenue dans cette recherche.

La conception G2 indique que la gravité est directement liée à la quantité de masse d'un objet. La conception G3, qui constitue une conséquence directe de l'idée fautive de G2, est une conception initiale erronée courante chez les élèves. Cette conception implique que le poids d'un objet affecte sa vitesse lors de la chute, ce qui conduit à l'idée que des objets lourds chutent plus rapidement que des objets légers. Il convient de prêter attention à la différence subtile entre ces deux conceptions, G2 traite de la relation entre force, accélération et masse, tandis que G3 se concentre sur la relation entre vitesse et masse dans le cadre de la chute. Dans cette recherche, ces deux conceptions seront examinées sous la forme d'un seul item intitulé l'effet de la masse sur l'accélération d'un objet en chute libre.

La conception G4 postule que la force gravitationnelle exercée sur un objet au cours de sa chute s'accroît à mesure qu'il descend. D'autre part, la conception G5 suggère que la gravité n'agit qu'après qu'un objet a perdu son impetus, qui se réfère à la force ou à l'énergie initiale donnée à l'objet. Les élèves tendent à considérer que la gravité n'est pas la force immédiate responsable du mouvement. En raison du lien entre ces deux conceptions et celle de la force, leur analyse est omise dans cette recherche.

Les conceptions G6 et G7 font référence à l'idée que certains apprenants considèrent que l'accélération gravitationnelle n'est pas constante. En réalité, près de la surface terrestre, cette accélération est approximativement constante à  $9,8 \text{ m/s}^2$  et demeure toujours dirigée vers le centre de la Terre, indépendamment de la direction du mouvement de l'objet. La conception G6 suggère que l'accélération due à la gravité varie en fonction du mouvement de l'objet et peut même agir dans la direction opposée à son déplacement. Il est fréquemment constaté que les étudiants envisagent la possibilité que l'accélération gravitationnelle agisse dans le sens contraire à celui du mouvement, par exemple lorsqu'un objet est en montée ou en descente (Wells *et al.*, 2020). La conception G7 postule que l'accélération due à la gravité dépend de la vitesse de l'objet. Certains

étudiants pensent que l'accélération gravitationnelle augmente proportionnellement à la vitesse de déplacement de l'objet, plus un objet se déplace rapidement, plus l'accélération due à la gravité est grande (Henderson *et al.*, 2018).

Enfin, les conceptions G2, G3, G6 et G7, qui sont associées à la cinématique, peuvent être synthétisées sous l'idée que l'accélération gravitationnelle n'est pas constante. Parmi les idées fausses que les apprenants peuvent avoir, certains soutiennent que l'accélération gravitationnelle dépend de la masse de l'objet, tandis que d'autres pensent qu'elle est influencée par la position et la direction du déplacement de l'objet. Un autre groupe défend l'idée que l'accélération gravitationnelle est proportionnelle à la vitesse d'un objet en chute.

En conclusion, le Tableau 2.6 synthétise la classification conceptuelle ainsi que les conceptions erronées correspondant à chacun des concepts, établies à partir de l'analyse des quatre tests : FCI, KCT, FMCE et FVA.

Tableau 2.6 La taxonomie des conceptions initiales et des conceptions erronées

Conception initiale	Conception erronée
C1. Le déplacement et La distance parcourue	CE1. Déplacement et distance parcourue non distingués
C2. La vitesse comme taux de changement de la position dans le temps	CE2. Non-reconnaissance du rôle de la vitesse comme taux de changement de la position dans le temps
C3. Le vecteur unidimensionnel de la vitesse	CE3. Interprétation erronée du vecteur unidimensionnel de la vitesse
C4. L'addition des vitesses en deux dimensions	CE4. Confusion dans l'addition des vitesses en deux dimensions
C5. L'accélération comme taux de changement de la vitesse dans le temps	CE5. Non-reconnaissance du rôle de l'accélération comme taux de changement de la vitesse dans le temps
C6. Le vecteur unidimensionnel de l'accélération	CE6. Interprétation erronée du vecteur unidimensionnel de l'accélération
C7. L'accélération gravitationnelle	CE7. L'accélération gravitationnelle n'est pas constante

### 2.3 Les jeux vidéo sérieux éducatifs et les simulations

Les jeux vidéo et les simulations ont fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières années. L'enseignement des sciences avec des jeux vidéo et des simulations remonte aux années 1970 et au début des années 1980, au moment où la capacité des jeux et des simulations a été largement explorée en tant que nouvelle méthode d'enseignement (Ullah *et al.*, 2022).

La Figure 2.3 présente les résultats d'une revue systématique de la littérature et a été réalisée à l'Université des langues et de la culture de Pékin en 2019 (Zhonggen, 2019). Ces résultats nous démontrent l'augmentation du nombre de publications liées à l'utilisation des jeux sérieux en éducation de 2009 à 2018, ce qui confirme l'importance croissante du sujet étudié.

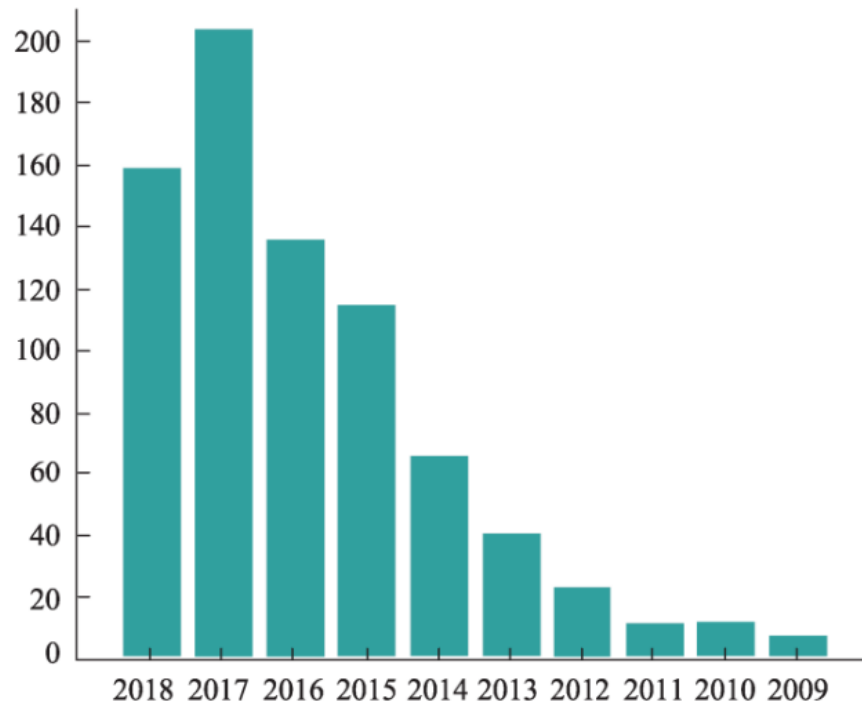


Figure 2.3 Un histogramme des publications liées à l'utilisation des jeux sérieux en éducation de 2009 à 2018

La Figure 2.4 illustre la relation entre les simulations, les jeux vidéo et les jeux vidéo sérieux éducatifs. Dans cette section, la position didactique des simulations et leur structure sont abordées en premier lieu. Ensuite, puisque le sujet de cette recherche porte sur le jeu vidéo sérieux éducatif, sa définition et sa distinction des simulations et des jeux vidéo ludiques sont traitées. En dernier lieu, une revue de littérature quant aux études effectuées sur le positionnement didactique des jeux vidéo sérieux éducatifs permet d'explorer leur efficacité en éducation.

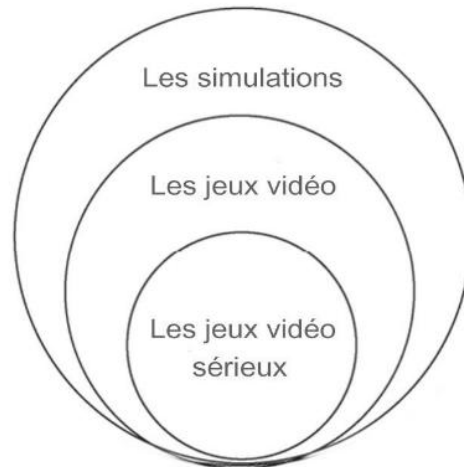


Figure 2.4 La relation entre les simulations, les jeux vidéo et les jeux vidéo sérieux éducatifs

### 2.3.1 La simulation

La simulation est définie comme une activité qui doit interagir avec l'utilisateur en offrant la possibilité de choisir ou de définir les paramètres de la simulation puis d'observer la séquence nouvellement créée plutôt que de simplement sélectionner une simulation préenregistrée (Miller *et al.*, 2011). Donc, la simulation en mobilisant un modèle informatique et mathématique est utilisée pour simuler le comportement d'un système réel ou hypothétique. En d'autres mots, la simulation consiste à reproduire artificiellement des conditions ou des variables pour analyser leur impact ou prévoir les résultats possibles.

#### 2.3.1.1 Positionnement didactique de la simulation

Selon Beaufile et Richoux (2003), dans le milieu éducatif, le débat sur la simulation est centré sur la confusion entre le réel et le virtuel (sur l'opposition théorie-expérience, le champ empirique et le champ théorique). Donc, l'élève se trouve confronté à deux mondes. Dans cette situation, la simulation agit comme intermédiaire entre les deux mondes, le monde réel (ou le monde matériel) et le monde des théories et des modèles. Un tel intermédiaire favorise une mise en relation des événements et des phénomènes du monde réel et l'interprétation des termes de théories et de modèles.

Dans le modèle Beaufils et Richoux (2003), cette idée est présentée sous la forme d'un schéma comme démontré ci-dessous :

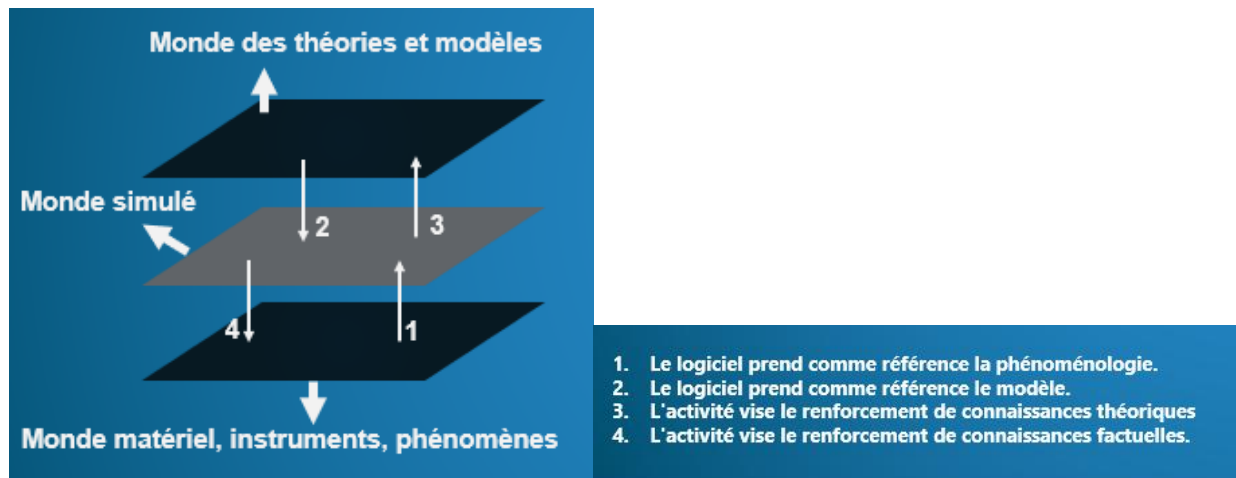


Figure 2.5 La simulation entre monde matériel et théorie

Comme le montre la Figure 2.5, le logiciel de simulation prend comme référence la phénoménologie et le modèle. Quand le logiciel est utilisé comme activité, cela renforce des connaissances factuelles et des aptitudes à la reconnaissance de phénomènes ainsi que des connaissances relatives au modèle et/ou à la théorie.

Le processus dynamique de la connaissance est un va-et-vient entre les deux mondes. Un sens est celui de la modélisation. Si vivre dans le monde implique que les événements soient intelligibles, l'individu va construire des « modèles » ou des « théories » en relation directe avec ses perceptions.

L'autre est celui de l'application de la théorie et des modèles qui, « en retour », viennent modifier la perception des objets et phénomènes, conduisant ainsi à de nouvelles phénoménologies. En d'autres termes, la mise en relation de ces deux mondes comme les activités et les processus cognitifs crée un nouveau plan de phénomènes qui inclut des représentations qui rendent le monde intelligible aux yeux des scientifiques.

Donc, le positionnement didactique se caractérise par la mise en relation de « cadres de rationalité » et de registres sémiotiques qui affirme implicitement l'idée d'une existence en quelque sorte ontologique d'un « monde de signes » à l'instar du monde matériel (Beaufils, 2009). Ainsi,

« l'espace de réalité » de l'étudiant n'est pas limité aux objets et aux événements, mais doit inclure « un monde des signes ». Le monde des signes comprend les courbes, les valeurs numériques, l'expression mathématique, le schéma et le dessin (représentations sémiotiques).

### 2.3.1.2 La structure de la simulation

Beaufils et Richoux (2003), nous proposent une structure pour le niveau de la simulation qui comporte trois plans ou « feuillets », comme indiqué dans la Figure 2.6.



Figure 2.6 Une structure feuilletée pour les environnements de simulation

Cette structure distingue trois plans :

1. Le plan de la « mise en programme ». Ce plan est le cœur du logiciel et les méthodes numériques comme ; équations de base de la théorie ou du modèle, méthode de résolution numérique pas à pas d'une équation différentielle, tirage aléatoire, etc.
2. Le plan de la représentation schématique ou symbolique. Ce plan comprend des objets « élémentaires » munis de propriétés comme objets massiques, composants électroniques, lentilles minces, etc. C'est dans ce plan également qu'apparaissent les courbes issues des calculs.
3. Le plan de la représentation figurative ou imagée. Ce plan peut mettre en scène le modèle de façon à évoquer la « réalité ». Ce plan doit en effet être distingué du précédent, car à

ce niveau il peut ne plus y avoir aucun lien entre la représentation et les propriétés au modèle.

Entre ces trois plans, existent évidemment des liens constitutifs de la simulation. Un tel logiciel, qui se caractérise par cet ensemble de propriétés de calcul et de représentation, plus ou moins spécifiques d'un domaine, est à distinguer d'un logiciel de calcul ou d'un langage de programmation.

En conclusion, à ce stade, on peut dire que des logiciels éducatifs pourraient enrichir notre pensée avec des représentations linguistiques et graphiques de la science et de la technologie. Ils pourraient contribuer à nos modes de pensée et modifier nos procédés d'acquisition des connaissances en établissant un contact intime avec certaines des notions les plus profondes de la science et des mathématiques à travers des objets concrets simulés. Ils permettent aussi de proposer des modèles intellectuels pour que les apprenants puissent construire eux-mêmes leurs propres structures intellectuelles.

### **2.3.2 Les jeux vidéo sérieux éducatifs**

Les jeux vidéo sérieux éducatifs, également connus sous le nom de jeux sérieux ou « *serious games* », sont des jeux vidéo spécifiquement conçus dans un but d'apprentissage et leur utilisation principale réside dans l'éducation et la formation. Il est également nécessaire de porter une attention à l'aspect souligné par Sørensen et Meyer (2007), à savoir que dans une perspective éducative de conception de jeux sérieux, l'apprentissage informel est un élément important à intégrer.

Les études approfondies de la littérature existante révèlent les diverses perspectives, les débats en cours et les lacunes à combler dans la recherche sur les simulations et les jeux vidéo éducatifs. Beaucoup de ces études ne font pas de distinction entre les simulations et les jeux vidéo sérieux, et les définitions qu'elles donnent de ces termes ne sont pas nécessairement les mêmes. Le Tableau 2.7 présente un ensemble de définitions fournies par certains chercheurs.

Tableau 2.7 Définition des jeux vidéo

Référence(s)	Définition
Honey et Hilton (2011)	Les caractéristiques des jeux vidéo incluent ; « (1) Ils sont joués pour le plaisir dans des contextes informels, (2) ils intègrent des objectifs et des règles, (3) ils fournissent des commentaires rétroactifs sur les progrès du joueur et (4) ils permettent au joueur d'influencer l'état futur du jeu. » (p. 9 [Notre traduction])
Sitzmann et Ely (2011)	Les jeux vidéo sont définis comme une forme « d'instruction dispensée via un ordinateur personnel qui plonge les stagiaires dans un exercice de prise de décision dans un environnement artificiel afin d'apprendre les conséquences de leurs décisions ». (p. 492 [Notre traduction])
Vogel <i>et al.</i> (2006)	Un jeu vidéo est défini comme une « activité qui a des objectifs, qui est interactive et qui est récompensant et donne une rétroaction ( <i>feedback</i> ) ». (p. 231 [Notre traduction])
Klopfer <i>et al.</i> (2009)	Les jeux vidéo sérieux sont généralement définis comme des logiciels numériques dont l'objectif principal est l'apprentissage plutôt que le divertissement.
Wouters <i>et al.</i> (2013)	Les fonctionnalités des jeux vidéo incluent ; « Être interactif, basé sur un ensemble de règles et de contraintes, orienté vers un objectif clair souvent fixé par un défi, et fournissant constamment des commentaires rétroactifs, soit sous forme de score, soit sous forme de changements dans le monde du jeu, pour permettre aux joueurs de suivre leurs progrès vers le but ». (p. 250 [Notre traduction])
Clark <i>et al.</i> (2015)	(1) « Expérience numérique dans laquelle les participants (a) s'efforcent d'atteindre un ensemble d'objectifs fictifs dans le cadre des contraintes d'un ensemble de règles appliquées par le logiciel, (b) reçoivent des commentaires rétroactifs pour atteindre ces objectifs (par exemple, score, progrès, avancement, condition de victoire, résolution narrative), et (c) sont destinés à trouver une certaine valeur récréative, ou comme un (2) environnement numérique explicitement mentionné par les auteurs de l'étude comme un jeu dans le titre ou dans le résumé ». (p. 9 [Notre traduction])
Giessen, H (2015) et Girard <i>et al.</i> (2013)	Il existe un consensus général qu'un jeu sérieux présente les caractéristiques suivantes : un objectif à atteindre (par exemple passer à un niveau de difficulté plus élevé, des règles et des contraintes (par exemple ce qu'un joueur peut et ne peut pas faire, des limites de temps), une compétition (par exemple contre d'autres joueurs ou contre l'ordinateur), une dose de fantaisie (par exemple un contexte spécifique distinct de la vie réelle en termes de temps et d'espace), et de plaisir pour les utilisateurs.

Si l'on synthétise les éléments principaux, on peut conclure que les jeux vidéo sérieux sont des outils innovants pour l'atteinte des objectifs éducatifs, informatifs ou utilitaires spécifiques, tout en maintenant un haut niveau d'interactivité et d'engagement de l'utilisateur dans un contexte formel ou informel.

### 2.3.2.1 La distinction entre les jeux vidéo sérieux et la simulation

Lorsqu'on utilise le terme jeu vidéo, on entend l'ensemble constitué par l'ordinateur, le logiciel ainsi que le réseau ou l'Internet qui est affiché sur un écran où le joueur contrôle l'action à l'aide d'un périphérique de jeu. Ce périphérique peut consister d'un dispositif d'entrée tel qu'une

manette, un clavier ou un dispositif infrarouge de détection de mouvement permettant au joueur de contrôler le jeu et d'interagir avec le monde virtuel d'un jeu vidéo.

Tout d'abord, il est essentiel de faire la distinction entre les jeux vidéo et les simulations. Plusieurs auteurs ont souligné que ces deux concepts sont fréquemment utilisés de manière interchangeable par les chercheurs. Selon Riopel *et al.* (2019), de récentes études proposent qu'il n'y ait plus de frontières claires entre ces deux concepts, car la littérature scientifique est riche d'exemples de logiciels numériques appelés simulations.

Par ailleurs, ce qui peut servir de critère distinctif réside dans le degré d'appréciation et de valorisation des résultats. La simulation ne se réduit pas systématiquement à un conflit ou à une compétition, et l'utilisateur ne recherche pas forcément la victoire, contrairement à ce qui est observé dans un jeu vidéo. Comme Vogel *et al.* (2006) le souligne, un jeu vidéo est défini comme une activité qui poursuit des objectifs, qui est interactive et qui récompense en donnant une rétroaction. Les jeux sont régis par des règles qui structurent leurs actions en fonction d'un objectif ou d'un but qui est de gagner, de surmonter un obstacle ou de réussir des niveaux.

De plus les simulations modélisent le plus fidèlement possible la réalité, ce qui n'est pas nécessairement le cas des jeux vidéo. Sauvé *et al.* (2007) expliquent que la simulation est une représentation simplifiée, dynamique et précise de la réalité définie comme un système et elle se juge sur son réalisme, sur sa correspondance avec le système qu'elle représente. Cependant, il n'est pas nécessaire qu'un jeu se crée en référence à la réalité. Les règles et les contraintes d'un jeu sérieux peuvent être imaginatives et peuvent dépasser les limites du monde réel, alors qu'« une simulation est une approximation réaliste de la réalité et sa base est un ensemble dynamique de relations entre plusieurs variables qui reflètent d'authentiques processus causals » (Gredler, 1996, p. 522 [Notre traduction]). De nombreuses simulations pédagogiques, contrairement aux jeux, peuvent fonctionner sans intervention humaine, par exemple la représentation dynamique d'un mouvement planétaire dans le système solaire (Sauvé *et al.*, 2007). À l'appui, Hays (2005) souligne que selon plusieurs chercheurs, une simulation diffère d'un jeu sérieux principalement en raison de son plus grand réalisme et de ses objectifs plus sérieux.

### **2.3.2.2 La distinction entre les jeux vidéo ludiques et les jeux vidéo sérieux**

Le monde du jeu vidéo est vaste. Ce qui est important dans notre contexte est de faire la distinction entre les jeux vidéo purement ludiques et les jeux vidéo axés sur les aspects éducatifs. Ces derniers sont généralement marqués du label de jeux sérieux, destinés à répondre à des besoins non ludiques et plutôt éducatifs. Différent des jeux divertissants, les jeux sérieux sont conçus dans un but éducatif plutôt que divertissant (Nazry et Romano, 2017). Les jeux sérieux sont considérés comme des outils divertissants à vocation éducative, dans lesquels les joueurs cultivent leurs connaissances et mettent en pratique leurs compétences en surmontant de nombreux obstacles pendant le jeu. Les performances des joueurs sont notées au cours du processus de jeu (Juan *et al.*, 2017). Selon Klopfer *et al.* (2009), les jeux vidéo sérieux sont généralement définis comme des logiciels numériques dont l'objectif principal est l'apprentissage plutôt que le divertissement. Ensuite, ils fournissent une définition plus détaillée des jeux vidéo. Selon ces auteurs, les jeux vidéo sont définis comme une forme d'instruction dispensée via un ordinateur personnel qui plonge les stagiaires dans un exercice de prise de décision dans un environnement artificiel afin d'apprendre les conséquences de leurs décisions.

Si les joueurs surmontent un obstacle, ils obtiendront des récompenses telles que des scores, une progression et du pouvoir. Des éléments éducatifs peuvent être intégrés au jeu, qui seront inconsciemment acquis par les joueurs au cours du processus de jeu (Zhonggen, 2019).

Les jeux vidéo sérieux consistent à utiliser des jeux pour répondre à des besoins autres que le simple divertissement de manière ludique. Les jeux vidéo sérieux sont également appelés jeux appliqués, et ce concept de jeu est utilisé par des industries comme la défense, les soins de santé, la gestion des urgences, l'éducation, les sports, l'exploration, l'urbanisme, l'ingénierie et la politique (Ullah *et al.*, 2022).

### **2.3.2.3 Le positionnement didactique des jeux vidéo sérieux**

L'intérêt pour les jeux vidéo sérieux dans l'enseignement des sciences s'inscrit dans un mouvement plus large visant à exploiter les pratiques numériques des apprenants. La Fédération des scientifiques américains (Federation of American Scientists [FAS], 2006) avance que les jeunes, en tant que « digital natives », sont particulièrement réceptifs à des environnements d'apprentissage

numériques. Cette perspective est soutenue par le Conseil national de recherches, qui suggère que les simulations et les jeux informatiques ont un grand potentiel pour catalyser et soutenir les approches d'enseignement des sciences fondées sur l'investigation, en surmontant les obstacles pédagogiques et logistiques » (Honey et Hilton, 2011, p. 22). les simulations et jeux informatiques disposent d'un fort potentiel pour soutenir l'enseignement fondé sur l'investigation en surmontant divers obstacles pédagogiques et logistiques. Dans cette même veine, Prensky (2001) soutient que le recours aux jeux vidéo éducatifs constitue désormais un impératif moral, dans la mesure où les apprenants de la nouvelle génération ne réagissent pas aussi efficacement à un enseignement plus conventionnel.

Plusieurs études empiriques ont exploré l'impact de ces environnements ludiques sur l'apprentissage scientifique. Pyatt et Sims (2012) ainsi que Kollöffel et de Jong (2013) indique que des jeux éducatifs bien implantés peuvent mener à de meilleurs apprentissages que des approches pédagogiques plus traditionnelles. Dans une méta-analyse majeure, Riopel *et al.* (2019) synthétisent les résultats de 79 études empiriques comparant l'impact des jeux vidéo sérieux sur les résultats d'apprentissage en comparaison à l'enseignement utilisant des méthodes plus conventionnelles. Les résultats nous démontrent que dans le contexte des sciences naturelles et pour un temps d'enseignement équivalent, les jeux sérieux sont plus bénéfiques que les méthodes pédagogiques plus conventionnelles sur l'acquisition de connaissances déclaratives, la rétention de connaissances et l'acquisition de connaissances procédurales.

L'ampleur de l'effet de ce bénéfice s'est avérée faible à modérée, ce qui est cohérent avec les résultats méta-analytiques précédents sur les effets des jeux sérieux dans d'autres domaines. Le présent travail conclut ainsi, sur la relation particulière des jeux sérieux avec les sciences naturelles, que l'effet global est tout aussi significatif et d'une amplitude comparable à d'autres domaines de la connaissance. (Riopel *et al.*, 2019, p. 35 [Notre traduction])

Finalement dans cette méta-analyse, les modérateurs théoriques et méthodologiques sont analysés afin de déterminer si l'impact des jeux sérieux, par rapport à un enseignement plus conventionnel, différerait en fonction des caractéristiques théoriques et méthodologiques de chaque étude ou non. Les résultats de l'analyse nous indiquent que les effets de cinq modérateurs (niveau scolaire, durée de l'intervention, niveau de contrôle des utilisateurs, année de publication et statut de publication)

étaient significatifs, trois modérateurs (domaine disciplinaire, niveau d'activité du groupe de comparaison, niveau de réalisme) ont montré de petites variations constantes de la taille moyenne de l'effet qui pourraient être significatifs avec davantage d'études et des échantillons plus grands. Enfin, trois modérateurs (contenu ludique, randomisation, plan expérimental) n'ont montré aucun effet significatif ou important sur les résultats de l'apprentissage des sciences. De leur côté, Wang *et al.* (2022), dans une méta-analyse intégrant 33 études publiées entre 2010 et 2020 et regroupant un total de 3894 participants, rapportent un effet global modéré des jeux sérieux sur les résultats d'apprentissage comparativement aux méthodes traditionnelles. Leur étude met aussi en évidence plusieurs variables modératrices susceptibles d'influencer les résultats, telles que le type de condition de contrôle (enseignement traditionnel vs multimédia), la discipline, le niveau d'éducation (primaire, secondaire, supérieur), le type et la plateforme du jeu, ainsi que la durée de l'intervention. De plus, la méta-analyse de Wouters *et al.* (2013), réalisée sur 39 études, a montré que les jeux sérieux favorisent l'apprentissage (taille d'effet :  $d = 0.29$ ,  $p < 0.01$ ) ainsi que la rétention ( $d = 0.36$ ,  $p < 0.01$ ), bien qu'aucune différence significative n'ait été observée pour la motivation ( $d = 0.26$ ,  $p > 0.05$ ).

Selon une recension d'écrits, afficher correctement les idées abstraites et les principes critiques de sujets donnés dans l'environnement de jeu augmente la motivation des étudiants, améliore l'acquisition de connaissances (Miller *et al.*, 2011) et favorise des capacités spécifiques telles que la pensée critique, la résolution de problèmes et l'encouragement de la collaboration (Sánchez et Olivares, 2011). Par exemple, une étude pilote récente menée en 2021 par Graeske et Sjöberg démontre que des outils basés sur la réalité virtuelle stimulent l'engagement des apprenants et renforcent leur motivation en permettant un apprentissage personnalisé et interactif.

Les jeux vidéo sérieux permettent de simuler des situations complexes et réalistes qui seraient difficiles, coûteuses ou dangereuses à reproduire dans un environnement traditionnel d'apprentissage. Cela offre aux apprenants l'opportunité de développer des compétences dans des contextes authentiques. À cet égard, Aziz *et al.* (2011) et Wieman (2012) soulignent que, les simulations informatiques et les jeux vidéo sérieux peuvent jouer un rôle particulier, car les modèles quantitatifs et prédictifs de la science peuvent être utilisés pour générer des micro-mondes interactifs qui peuvent être librement vécues. Cet accès à un environnement interactif inaccessible favorise l'engagement et l'implication des apprenants dans le processus d'apprentissage.

Shaffer *et al.* (2004) font référence à un autre aspect d'utilisation des jeux vidéo. Selon eux, les jeux vidéo permettent aux joueurs de participer à des communautés de pratique à très grande échelle et d'apprendre, par la pratique, les modes de pensée qui organisent ces pratiques.

Les résultats d'une méta-analyse effectuée par Ullah *et al.* (2022) sur les jeux vidéo sérieux pour l'enseignement des sciences indiquent que l'enseignement scientifique constitue le domaine le plus fréquemment abordé dans ce type de jeux. Les jeux d'aventure et de simulation y jouent un rôle particulièrement important, car ils offrent des environnements propices à l'exploration, à la modélisation et à la résolution de problèmes, ce qui facilite l'apprentissage en sciences. En revanche, les jeux de combat ou d'action apparaissent moins adaptés aux objectifs éducatifs scientifiques, leur structure ludique se prêtant moins directement au développement de compétences conceptuelles ou à la manipulation de modèles scientifiques. D'un autre côté, les jeux vidéo sérieux peuvent permettre aux apprenants de conserver des attitudes positives envers les tâches académiques avec une bonne autorégulation s'ils sont immergés dans une situation de jeu. Finalement, il a été observé que les jeux sérieux aident les apprenants à développer leurs capacités cognitives et à augmenter l'effet positif de l'apprentissage.

En résumé, les jeux vidéo sérieux en sciences se positionnent comme des outils éducatifs visant à enseigner et à promouvoir la compréhension des concepts scientifiques de manière interactive et immersive. Ils combinent le plaisir du jeu vidéo avec des contenus scientifiques pour offrir une expérience d'apprentissage motivante et efficace. Le positionnement didactique des jeux vidéo sérieux en éducation repose sur leur capacité à engager, motiver, permettre l'application des connaissances, favoriser l'apprentissage actif, offrir une rétroaction (*feedback*) immédiate. Grâce à des simulations, les jeux sérieux en sciences permettent aux joueurs d'explorer, d'expérimenter des situations difficilement accessibles et complexes de manière ludique et enrichissante.

#### **2.3.2.4 Les jeux vidéo sérieux et enseignement de la physique-mécanique**

L'intégration des jeux vidéo sérieux dans l'enseignement de la mécanique au secondaire a suscité un intérêt croissant dans la recherche en didactique des sciences. Les recherches portant sur l'utilisation des jeux vidéo sérieux en physique mécanique montrent des effets contrastés. Plusieurs études démontrent l'apport potentiel des jeux et des simulations. Boucher-Genesse *et al.* (2011)

ont montré que l'intégration d'un jeu éducatif en tant que devoir, accompagnée de séances de débriefing et de guides pédagogiques, conduit à des performances significativement supérieures à celles d'un groupe témoin au test standard d'inventaire des concepts ( $p < 0,001$ ,  $d = 0,95$ ). De manière intéressante, les élèves ayant uniquement utilisé le jeu comme devoir, sans accompagnement ni mention en classe, ont également obtenu des résultats positifs ( $p = 0,02$ ,  $d = 0,59$ ), bien que ces derniers ne diffèrent pas de manière significative de ceux du groupe témoin. Dans une perspective complémentaire, Clark *et al.* (2011) ont examiné le potentiel d'un jeu vidéo éducatif pour enseigner la mécanique newtonienne en comparant des mises en œuvre réalisées auprès d'élèves de la 7<sup>e</sup> à la 9<sup>e</sup> année à Taïwan et aux États-Unis. Les résultats, remarquablement similaires dans les deux contextes, indiquent que le jeu a favorisé l'acquisition de certaines conceptions fondamentales tout en stimulant un engagement élevé des apprenants. De leur côté, Ma *et al.* (2021) ont mis en évidence qu'un logiciel de simulation expérimentale intégré à l'enseignement de la physique mécanique au secondaire peut non seulement améliorer la qualité de l'apprentissage, mais aussi développer les capacités d'investigation scientifique des élèves. Dans la même lignée, Yuan *et al.* (2022) ont conduit une étude qualitative portant sur les perceptions d'étudiants et d'enseignants à propos de l'intégration de jeux vidéo éducatifs en physique mécanique en Chine. Les résultats révèlent que ces jeux peuvent rendre l'apprentissage plus interactif et attrayant, réduire la frustration des élèves et améliorer l'efficacité des cours en renforçant leur engagement. Par ailleurs, Rehman *et al.* (2021) ont montré que l'utilisation de simulations informatiques interactives pour enseigner les notions de masse et de poids en mécanique produit un gain d'apprentissage statistiquement significatif et de grande ampleur ( $p < 0,01$ ,  $d = 0,97$ ), confirmant ainsi l'efficacité de cette approche sur la compréhension conceptuelle. Dans une étude plus récente, van der Linden *et al.* (2023) ont évalué une leçon basée sur un jeu éducatif visant à enseigner la relation entre les forces et le mouvement. Grâce à une approche mixte, ils ont mis en évidence un effet d'apprentissage significatif ( $p = 0,002$ ,  $d = 0,908$ ), renforcé par le fait que 79 % des réponses qualitatives recueillies ont été jugées scientifiquement correctes. Les auteurs concluent que l'intégration de jeux dans une structure de cours, accompagnés de débriefings et d'exercices de transfert, favorise à la fois la compréhension conceptuelle et la capacité des élèves à réinvestir leurs connaissances. Dans le prolongement de ces résultats, van der Linden *et al.* (2024) ont également montré un effet positif statistiquement significatif ( $p = 0,003$ ,  $d = 0,201$ ) sur l'apprentissage de la mécanique newtonienne chez les élèves du

secondaire. Enfin, Saputro *et al.* (2025), à travers une quasi-expérimentation menée auprès de 30 élèves de 8<sup>e</sup> année, ont testé l'efficacité d'un jeu éducatif centré sur la cinématique. Leur étude conclut que ce jeu constitue un outil pertinent pour améliorer les performances cognitives et renforcer la motivation des élèves.

Contrairement aux travaux qui soulignent l'efficacité des jeux sérieux pour l'enseignement de la mécanique newtonienne, plusieurs recherches suggèrent que leur impact sur l'apprentissage conceptuel reste limité. Ces études n'ont en effet relevé aucune différence statistiquement significative entre les performances des groupes expérimental et témoin. Elles mettent toutefois en lumière des bénéfices indirects, tels que le développement d'une compréhension intuitive, l'accroissement de la motivation et le renforcement d'attitudes positives à l'égard de la discipline.

Par exemple, Adams *et al.* (2016) ont évalué l'effet de deux jeux vidéo portant sur les lois du mouvement de Newton, après une séance d'une heure pour chacun des jeux. Les résultats indiquent l'absence de différence significative dans la compréhension conceptuelle mesurée par le *Force Concept Inventory* (FCI), ce qui laisse penser que ce type d'intervention de courte durée n'est pas suffisant pour améliorer les acquis conceptuels en mécanique. Dans la même perspective, Anderson et Barnett (2011) soulignent que, bien que l'efficacité des jeux vidéo en termes d'apprentissage conceptuel soit comparable à celle des approches pédagogiques traditionnelles, leur utilisation favorise néanmoins le développement d'une compréhension intuitive, renforce la motivation et encourage l'adoption d'attitudes positives chez les élèves. De façon complémentaire, Rose (2015) suggère que les jeux vidéo peuvent constituer un levier pertinent pour accroître la motivation et l'engagement en physique. Toutefois, son étude ne met pas en évidence d'amélioration significative des notes finales, ce qui conduit les auteurs à insister sur l'importance de concevoir des jeux éducatifs explicitement alignés sur des objectifs pédagogiques ciblés. Dans une autre étude, van der Linden et van Joolingen (2016) se sont intéressés à l'impact d'un jeu sérieux sur la compréhension et la motivation d'élèves de 9<sup>e</sup> année concernant les lois de Newton. Si aucune amélioration significative n'a été observée au post-test, les résultats montrent néanmoins que les élèves ayant utilisé le jeu étaient nettement plus motivés que ceux du groupe de contrôle, qui avaient suivi un enseignement traditionnel. Par ailleurs, Merki (2025), dans sa thèse, compare l'efficacité d'un environnement immersif en réalité virtuelle à 360 degrés avec une méthode traditionnelle sur papier dans l'enseignement de la cinématique. À travers une méthodologie mixte,

il montre que la réalité virtuelle n'a pas d'effet significatif sur l'apprentissage conceptuel, mais qu'elle favorise une interaction accrue et renforce la motivation des apprenants. Richter et Kickmeier-Rust (2025) ont également examiné l'impact d'un jeu vidéo sur l'engagement, la motivation et l'apprentissage d'élèves de 10<sup>e</sup> année en physique, en portant sur des notions telles que la vitesse initiale, le mouvement et la trajectoire. Bien qu'aucune différence significative n'ait été constatée dans les résultats aux tests, l'étude met en évidence une augmentation notable des indicateurs d'engagement ainsi qu'un effet positif sur la motivation.

Ainsi, en physique mécanique, l'efficacité des jeux dépend fortement du design pédagogique de l'intervention, de la durée, de l'accompagnement didactique et de l'adéquation entre les éléments du jeu et les objectifs conceptuels ciblés. Les recherches convergent pour montrer que les jeux vidéo sérieux peuvent favoriser l'apprentissage en sciences et en mécanique lorsque leur utilisation est intégrée dans une démarche pédagogique structurée incluant débriefings, rétroactions et tâches de transfert. Cependant, les effets mesurés sur les apprentissages conceptuels restent variables, ce qui justifie l'analyse des conditions pédagogiques précises de leur mise en œuvre ainsi que la pertinence des instruments utilisés pour mesurer la compréhension conceptuelle.

## **2.4 Hypothèses de recherche**

L'objectif initial de cette recherche était de démontrer expérimentalement l'effet positif, sur le changement conceptuel, de scénarios d'utilisation d'un jeu vidéo éducatif spécifiquement conçu pour intervenir sur certaines conceptions en physique mécanique. En utilisant notre propre test, constitué d'une combinaison d'outils validés comme instrument de mesure, nous pouvons examiner si l'utilisation d'un tel jeu favorise l'apprentissage des concepts de la mécanique newtonienne.

Ainsi, la question de recherche, reformulée en tenant compte du cadre théorique, est la suivante :

- Un jeu vidéo éducatif conçu pour intervenir sur les conceptions de physique mécanique en cinématique peut-il favoriser l'apprentissage des concepts de la mécanique newtonienne ?

Après avoir observé les résultats des élèves ayant expérimenté ce type d'environnement numérique, deux hypothèses expérimentales peuvent être formulées :

- Hypothèse I : Les élèves pour lesquels les enseignants auront intégré un jeu vidéo éducatif dans leur plan de cours et donc qui auront utilisé le jeu, obtiendront une score plus élevée au test que les élèves qui n'auront pas utilisé le jeu.
- Hypothèse II : Les élèves ayant utilisé le jeu vidéo éducatif réduiront davantage leur adhésion à des conceptions erronées en cinématique que ceux ayant suivi uniquement un enseignement régulier.

## CHAPITRE 3

### MÉTHODOLOGIE

#### 3.1 Type de recherche

En premier lieu, cette recherche, qui a pour objectif d'étudier les effets de l'utilisation du jeu *La Remorqueuse de l'Espace* sur certaines conceptions en physique mécanique, doit être considérée comme une recherche empirique quantitative. Elle s'inscrit dans le paradigme post-positiviste, lequel repose sur l'idée que la réalité peut être étudiée de manière objective, bien que jamais parfaitement accessible. Selon Phillips et Burbules (2000), le post-positivisme reconnaît que les résultats demeurent toujours provisoires, soumis à la réfutation et fondés sur des probabilités plutôt que sur des certitudes. De même, Popper (2014) souligne que la connaissance scientifique progresse par la formulation d'hypothèses testables et falsifiables. C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente étude, elle vise à examiner des relations causales tout en admettant le caractère imparfait et révisable des conclusions qui en émergent.

Afin de déterminer l'efficacité d'un jeu vidéo éducatif dans le champ de l'éducation et d'évaluer l'effet de l'intervention en utilisant celui-ci, il nous faut considérer la relation entre deux variables sous la forme d'une relation cause à effet. Dans cette recherche, nous considérons deux variables ; la première est la variable indépendante qui correspond à l'utilisation du jeu vidéo éducatif dans la classe de physique mécanique et la deuxième variable renvoie aux changements conceptuels. Il est présumé que celle-ci est dépendante de l'effet de la première variable (utilisation du jeu vidéo éducatif). Cette deuxième variable dépendante sera évaluée à l'aide du test qui sera présenté dans la sous-section 3.3.2.

Pour étudier cette relation, un groupe d'élèves doit utiliser le jeu vidéo, constituant ainsi un groupe expérimental, tandis qu'un autre groupe, sans intervention, joue le rôle de groupe témoin ou groupe contrôle. Pelletier et Demers (1994) rappellent qu'un plan expérimental repose généralement sur deux groupes équivalents provenant d'une même population ou de populations similaires, placés dans des environnements comparables. La seule différence réside dans le traitement appliqué au groupe expérimental. Cette distinction permet d'inférer que les effets observés sont attribuables à l'intervention.

La présente recherche prend la forme d'une recherche expérimentale. Cependant, comme le souligne Gersten *et al.* (2005), dans les recherches expérimentales l'un des processus et une méthode optimale pour augmenter la probabilité que les participants soient comparables dans toutes les conditions est la répartition aléatoire pour choisir des participants. Dans cette recherche, comme il sera expliqué dans la section 4.2 sur l'échantillonnage, les essais contrôlés randomisés seront impossibles. Par conséquent, puisque la répartition des participants dans les groupes se fera sans recours à la randomisation, la sélection des participants ne sera pas aléatoire et on peut donc conclure que cette intervention est quasi-expérimentale. Le terme « quasi-expérimental » fait référence à une expérimentation avec une intervention donnée, des résultats mesurés pour au moins deux unités expérimentales (groupe recevant l'intervention et groupe contrôle), mais sans recours à la randomisation pour créer les conditions d'inférence causale (Cook et Campbell, 1979). Enfin, cette recherche est également vérificatoire, puisqu'elle tente de vérifier des hypothèses spécifiques (Gaudreau, 2011).

### **3.2 Population et échantillonnage**

La physique mécanique est enseignée au Québec en cinquième année du niveau secondaire ou en première année du cégep. D'autre part, le jeu choisi pour l'intervention est conçu sur la base des concepts de la mécanique newtonienne et selon différents types de mouvements tels que le mouvement uniforme et le mouvement accéléré qui sont des concepts enseignés à ces niveaux. Donc, selon le programme scolaire, les élèves de cinquième année du secondaire constituent la population de cette étude.

Pour constituer l'échantillon, un échantillonnage entièrement aléatoire n'a pas été retenu. À la place, des enseignants de physique mécanique ont été contactés et ont reçu l'information nécessaire concernant le jeu choisi ainsi que les modalités possibles de son intégration dans leur plan de cours. Parmi ceux qui ont manifesté un intérêt, certains enseignants ont été retenus, ce qui a déterminé les institutions qui ont servi de terrain à la recherche. L'échantillon a donc été constitué en fonction de l'intérêt et de la motivation des enseignants à participer au projet.

Dans l'éventualité où un nombre trop élevé d'enseignants aurait souhaité participer, des critères de sélection supplémentaires auraient été appliqués. La participation dépendait également de la

disponibilité et de l'accord des écoles ou collèges, ce qui a influencé le taux de participation final. Bien que des paramètres tels que l'âge ou le genre des élèves n'aient pas été utilisés dans le processus de recrutement, la procédure fondée sur l'intérêt des enseignants a eu pour effet d'écartier la possibilité d'une sélection aléatoire des participants.

### **3.3 Outils de recherche**

Dans cette section, les instruments de recherche seront présentés tels que le jeu pour l'intervention, le test pour comparer les groupes ainsi que les cahiers des participants.

#### **3.3.1 Le jeu vidéo « *La remorqueuse de l'espace* »**

Le jeu vidéo *La remorqueuse de l'espace* est un jeu indépendant qui combine des éléments de puzzle, de simulation et d'apprentissage de la physique. Il a été conçu et développé par Eric Laflamme, professeur de physique à Montréal, dans un objectif pédagogique. Lancé le 29 juillet 2021 sur PC via la plateforme Steam, ce jeu est également édité par son développeur, ce qui le classe parmi les productions indépendantes réalisées par de petites équipes. Ce jeu contient une série d'énigmes dont la solution est basée sur l'application des concepts de la physique newtonienne, particulièrement dans le domaine de la cinématique accompagné de concepts de la dynamique. Il peut être utilisé par les élèves en cinquième année du secondaire dans le programme de sciences et technologie ainsi que par les étudiants au collégial dans le programme de sciences de la nature. De plus, les deux premières étapes de ce jeu traitent des vecteurs de position et de déplacement, ce qui peut être intéressant pour les élèves en première et en deuxième année du secondaire qui sont familiers avec les coordonnées cartésiennes en mathématiques.

##### **3.3.1.1 Mode privilégié pour le projet d'intervention**

Il y a deux modes pour jouer à ce jeu. Le premier est le mode « puzzle » qui est destiné aux personnes qui aiment particulièrement résoudre des énigmes. La narration est très limitée, mais des informations sur les mécanismes du jeu sont accessibles si le joueur en désire. Dans ce mode, tous les niveaux sont disponibles dès le départ et les échelons de difficulté sont indiqués. Cet échelon de difficulté est indiqué par des couleurs différentes (voir Figure 3.1). La personne qui joue peut décider de faire les énigmes dans l'ordre qu'elle souhaite.



Figure 3.1 Capture d'écran de l'échelon de difficulté indiqué par des couleurs différentes

Le deuxième mode est le mode histoire qui est destiné aux personnes qui veulent raconter des histoires et résoudre des énigmes. Dans ce mode, la personne qui joue discute avec le service client de la remorqueuse de l'espace avant et après chaque niveau. Dans ce mode, l'ordre des niveaux est imposé par la narration.

Dans le présent projet d'intervention, nous demandons aux élèves de jouer avec le mode « puzzle », car les étapes du jeu sont coordonnées avec la progression de la classe. Au fur et à mesure de la progression de la classe selon l'enseignant, les étapes qui correspondent au contenu enseigné seront proposées à l'élève.

### 3.3.1.2 Déroulement du jeu

Ce jeu comporte sept étapes principales. Le nombre de sous-étapes et de concepts intégrés dans chaque étape est indiqué dans le Tableau 3.1.

Tableau 3.1 Description des étapes du jeu

Étape	Nombre de sous-étapes	Concept abordé
Étape.1	5	Le vecteur de position
Étape.2	5	Le déplacement
Étape.3	16	La vitesse
Étape.4	7	Les changements de vitesse
Étape.5	29	L'accélération
Étape.6	13	La gravité
Étape.7	28	La trajectoire circulaire et la courbe

Des captures d'écran du jeu sont disponibles en annexe pour plus de figures illustratives (voir *Annexe A*).

Le thème narratif de ce jeu amène le joueur à récupérer les batteries de sa voiture qui sont éparpillées sur toute la surface de la lune à la suite d'un accident (voir Figure 3.2).



Figure 3.2 Capture d'écran du jeu démontrant le moment de l'accident avec la lune et la propagation des batteries sur la surface de la lune

À chaque étape du jeu, le joueur peut voir des batteries sur une partie de la surface de la lune, soit l'écran noir à carreaux qui comprend un système de coordonnées cartésiennes pour déterminer les positions de la voiture et des batteries (voir Figure 3.3).

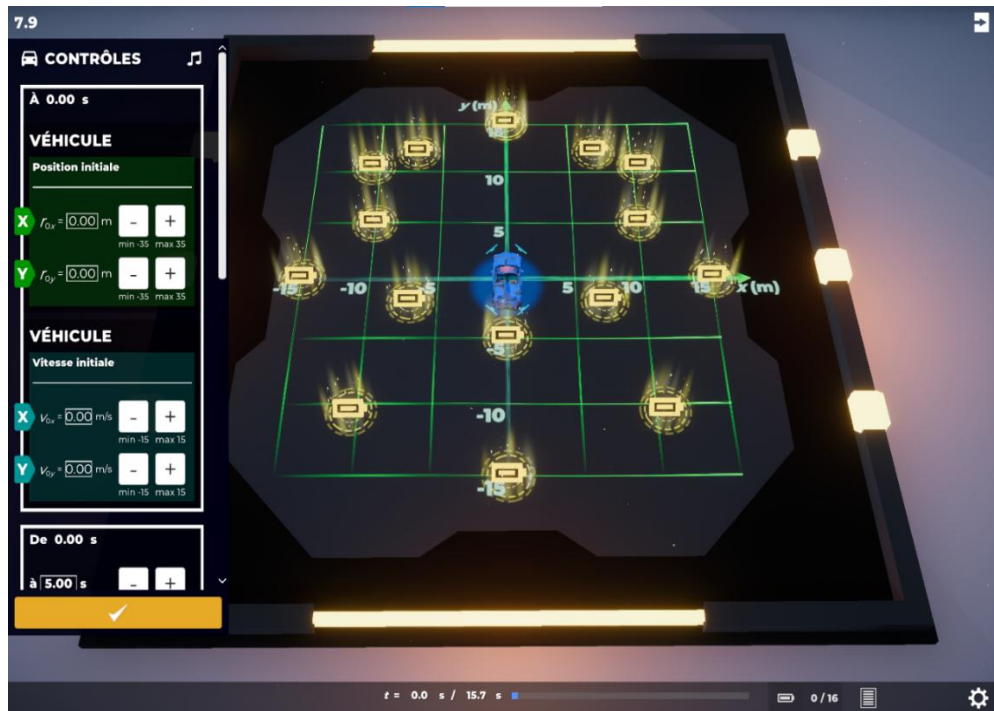


Figure 3.3 Capture d'écran de l'emplacement des batteries sur l'écran noir à carreaux avec les coordonnées cartésiennes et le tableau de contrôle à gauche

Le joueur doit ajuster la trajectoire de sa voiture afin de récupérer les batteries. Comme il est illustré dans la Figure 3.3, sur le côté gauche de l'écran se trouve un tableau de contrôle avec une liste d'éléments que le joueur doit utiliser pour déterminer les valeurs nécessaires des variables afin de réaliser la trajectoire de sa voiture.

Par conséquent, le but du jeu est de déterminer la trajectoire de la voiture afin de récupérer les batteries. Dans les premières étapes, ceci se fait à l'aide de vecteurs de position et de déplacement auxquels, dans la progression du jeu, s'ajoutent d'autres éléments tels que la vitesse, les changements de vitesse et l'accélération. Il est également possible pour le joueur d'avoir recours à la méthode d'essai et d'erreur, de répéter et de revoir différentes valeurs sans avoir la peur d'obtenir des points négatifs.

Il y a une barre de défilement au bas de l'écran pour avoir un meilleur contrôle sur la reprise de la simulation. Cette barre de défilement, en plus de montrer la limite de temps pour chaque étape du jeu, nous permet de revoir en reprise le jeu après avoir défini les valeurs des variables dans le tableau de contrôle à gauche. En fait, cette barre de défilement est un outil adapté pour la révision

du jeu afin de modifier les valeurs des éléments et s'avère un outil essentiel pour les joueurs qui utilisent la méthode d'essai et d'erreur.

Le choix des valeurs des éléments pour déterminer la trajectoire de la voiture est restreint par des limites en termes de magnitude et de direction des vecteurs, ainsi que par des limites dans le temps pour leurs actions. De plus, certaines quantités sont parfois prédéterminées, ce qui impose des restrictions au joueur. En avançant dans la progression du jeu, ces restrictions et limites augmentent de plus en plus, jusqu'à en devenir un sérieux défi pour le joueur dans les étapes finales. En plus de ces restrictions, il existe d'autres obstacles tels que des drones qui doivent être évités par le joueur.

À chaque étape du jeu, des informations pertinentes pour aider à déterminer les valeurs requises sont fournies au joueur dans des tableaux accessibles en cliquant sur le manuel d'instruction. Dans ces tableaux, les valeurs de chaque élément sont données en fonction d'autres éléments. Ces informations aident le joueur à choisir et à modifier les valeurs requises des éléments sans avoir besoin de maîtriser les formules ou d'effectuer des calculs. Par conséquent, le joueur aura une chance de progresser sans se référer aux manuels et sans faire de calculs.

Après avoir terminé chaque étape du jeu, des informations sur des scientifiques dans l'histoire de la science physique sont offertes aux joueurs. Bien que les informations soient intéressantes et puissent servir de pause entre les étapes du jeu, elles n'ont aucun rôle ni influence dans le déroulement du jeu. L'option de supprimer cet aspect est offerte dans le jeu et le joueur peut choisir de l'ignorer.

### **3.3.2 Le test**

En guise de rappel, et conformément au cadre théorique, l'instrument utilisé dans cette recherche s'appuie sur une sélection d'items issus de quatre outils d'évaluation largement validés dans la littérature : le Force Concept Inventory (FCI), le Kinematics Concept Test (KCT), le Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) et le Force, Velocity, Acceleration (FVA). Cette stratégie s'apparente à une forme de triangulation méthodologique (Denzin, 2012), dans la mesure où elle mobilise plusieurs sources indépendantes pour construire un instrument plus robuste. Cette

approche contribue à renforcer la validité de contenu et à accroître la fidélité des résultats obtenus, en assurant une diversité conceptuelle et une couverture plus étendue des dimensions visées.

Après avoir éliminé les questions liées à la dynamique et aux lois de Newton, seules les questions portant sur la cinématique ont été conservées. Afin de s'assurer que ces questions s'inscrivent dans le programme de cinquième secondaire, deux collègues experts dans ce domaine ont été consultés. Après leur avoir présenté les objectifs de la recherche, les questions leur ont été transmises pour évaluation, et ils ont sélectionné celles qu'ils jugeaient les plus pertinentes.

L'intégration des contributions de deux autres enseignants constitue une forme de triangulation des chercheurs, permettant de bénéficier de divers points de vue et expertises. Cette approche mobilise plusieurs experts pour valider les contenus, ce qui permet de limiter les biais liés à une évaluation individuelle (Guion *et al.*, 2011). À l'issue de ce processus, 15 questions ont été sélectionnées à partir d'un total de plus de 70 items. Ces questions sont présentées en annexe. Le Tableau 3.2 illustre leur correspondance avec les catégories de la taxonomie conceptuelle, déjà présentée dans les considérations théoriques.

Tableau 3.2 La taxonomie des conceptions erronées

Conception erronée	Item au test
CE1. Déplacement et distance parcourue non distingués	2(11 KCT)
CE2. Non-reconnaissance du rôle de la vitesse comme taux de changement de la position dans le temps	1(19 FCI,25 KCT), 10(1 KCT)
CE3. Interprétation erronée du vecteur unidimensionnel de la vitesse	3(5 KCT), 12(41 KCT)
CE4. Confusion dans l'addition des vitesses en deux dimensions	4(14 FCI), 7(18 KCT)
CE5. Non-reconnaissance du rôle de l'accélération comme taux de changement de la vitesse dans le temps	6(14 KCT), 9(20 FCI)
CE6. Interprétation erronée du vecteur unidimensionnel de l'accélération	5(8 FVA), 8(9 KCT,2 FVA)
CE7. L'accélération gravitationnelle n'est pas constante	13(27 FMCE), 14(28 FMCE), 15(29 FMCE)

En plus d'analyser les résultats globaux du test et d'évaluer l'impact du jeu sur la compréhension des concepts fondamentaux en cinématique, cette recherche examine également son influence sur les conceptions erronées spécifiques identifiées dans le Tableau 3.2. Dans cette perspective, le

Tableau 3.3 établit une correspondance entre les items du test et les différentes phases du jeu, permettant ainsi une évaluation ciblée de l'effet du jeu sur la réduction de ces erreurs conceptuelles.

Tableau 3.3 Correspondance des étapes du jeu avec les questions du test

Étape	Nombre de sous-étapes	Concept abordé	Item au test correspondant (À développer)
Étape.1	5	Le vecteur de position	-
Étape.2	5	Le déplacement	2(11 KCT)
Étape.3	16	La vitesse	1(19 FCI,25 KCT), 10(1 KCT)
Étape.4	7	Les changements de vitesse	3(5 KCT), 12(41 KCT), 4(14 FCI), 7(18 KCT)
Étape.5	29	L'accélération	6(14 KCT), 9(20 FCI), 5(8 FVA), 8(9 KCT,2 FVA)
Étape.6	13	La gravité	13(27 FMCE), 14(28 FMCE), 15(29 FMCE)
Étape.7	28	La trajectoire circulaire et la courbe	-

Par exemple, après que l'élève a joué la deuxième étape du jeu, il doit choisir la bonne réponse à la question deux. Enfin, en comparant avec le Tableau 2.5 et le Tableau 2.6 dans le chapitre du cadre théorique, on sera capable de comparer et d'analyser les conceptions erronées qui influencent les réponses erronées des apprenants.

### 3.3.3 Guide informatif pour l'enseignant

Un guide informatif a été élaboré sous la forme d'une petite brochure offrant aux enseignants des informations sur les différentes étapes du jeu et leur relation avec les concepts en physique mécanique. Ce guide a été utilisé pour expliciter les situations abordées dans chaque étape du jeu. Puisque le jeu n'explique pas directement le lien de chaque étape avec les concepts de la physique mécanique, ce guide a aidé les enseignants à intégrer plus précisément les différentes étapes du jeu dans leur plan de cours. De cette façon, il a été plus facile d'assigner des devoirs aux élèves et de leur offrir un suivi ou d'utiliser le jeu en classe.

### 3.3.4 Cahier du participant

Un cahier sera réalisé pour que les élèves du groupe expérimental puissent exécuter les différentes étapes du jeu en fonction de la matière enseignée par l'enseignant durant les cours. En fait, ce

cahier du participant sera un ajout complémentaire au plan de cours principal afin de déterminer, selon le déroulement du cours, les étapes du jeu qui sont spécifiquement en accord avec la matière enseignée.

D'autre part, après avoir joué, les participants seront tenus d'inscrire ou de cocher dans leur cahier le nombre d'étapes complétées et le nombre d'essais qui auront été nécessaires pour compléter chaque étape du jeu. Ce cahier nous aidera à savoir comment les élèves ont utilisé le jeu et servira d'instrument pour mieux suivre leur progression. De plus, il est possible qu'en vérifiant l'exécution des élèves, certains soient identifiés et retirés du groupe expérimental s'ils n'ont pas utilisé le jeu afin de tirer des conclusions pour notre étude sans considérer les participants non-valides.

Si l'ensemble de cette intervention est réalisé dans une même école ou institution, des mesures seront prises afin que les élèves du groupe témoin restent inconscients des conditions du groupe expérimental. Par exemple, au début du trimestre, on donnera aux élèves des cahiers avec des couvertures identiques, mais comprenant des instructions différentes à l'intérieur en fonction de la condition expérimentale. Les élèves complèteront leurs essais dans ces cahiers, qui seront ensuite recueillis par les enseignants.

### **3.4 Déroulement**

L'échantillon de cette recherche est constitué de deux groupes distincts. Un groupe expérimental et un groupe témoin. Le premier bénéficie d'un enseignement intégrant le jeu vidéo éducatif, tandis que le second reçoit uniquement un enseignement traditionnel, sans accès ni connaissance du jeu. Les différentes phases d'évaluation sont représentées par les points de mesure **T<sub>A</sub>**, **T<sub>B</sub>**, **T<sub>C</sub>** et **T<sub>D</sub>** correspondant aux moments où les élèves complètent le test.

Afin de mieux comprendre les procédés du déroulement pour les trois groupes, voici une légende expliquant les symboles qui se retrouvent dans la Figure 3.4.

Légende :



L'enseignant donne des cours réguliers



L'enseignant intègre le jeu en classe, grâce au plan de cours

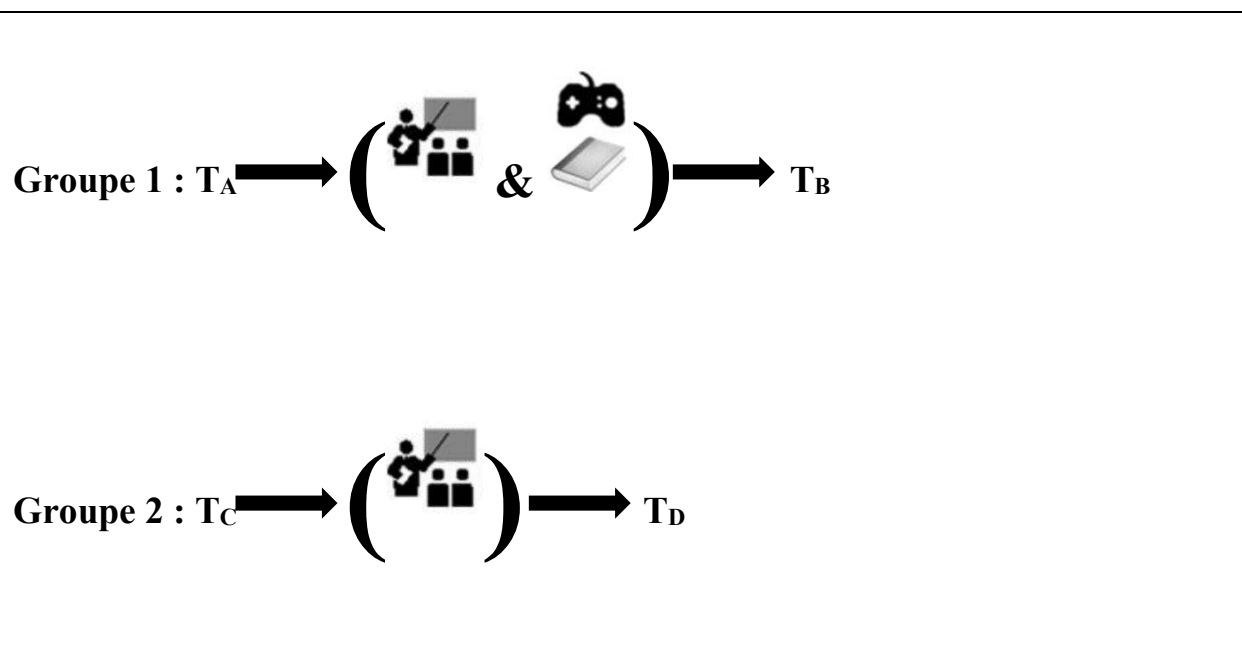


Figure 3.4 Procédés du déroulement pour les groupes 1 et 2

Pour le premier groupe, l'enseignant aura préalablement intégré le jeu vidéo dans son plan de cours et enseigne la physique mécanique au groupe 1 en se servant du jeu vidéo. Parallèlement, l'enseignant donne ses cours réguliers aux groupes 2. Ces cours réguliers portent sur les mêmes contenus que ceux du groupe 1. Les élèves du deuxième n'utilisent pas le jeu, n'y ont pas accès et n'en ont pas connaissance. Ce groupe agit donc comme groupe de contrôle pour cette étude.

Si on indique les résultats de ces tests avec  $P_A$ ,  $P_B$ ,  $P_C$  et  $P_D$ , la comparaison des résultats obtenus par les deux groupes permet de répondre aux questions suivantes qui serviront à confirmer les hypothèses de cette étude.

Est-ce que l'utilisation de jeux intégrée en classe produit un meilleur gain sur la performance au test qu'un enseignement régulier ?

Si l'utilisation du jeu de façon intégrée génère une meilleure compréhension des concepts, le gain observé pour le groupe 1, soit la différence entre les points des tests ( $P_A$  et  $P_B$ ), serait plus élevé que le gain observé pour le groupe 2, soit la différence entre les points des tests ( $P_C$  et  $P_D$ ), il sera alors possible de confirmer la première hypothèse de cette intervention :

- Hypothèse I : Les élèves pour lesquels les enseignants auront intégré le jeu « *La Remorqueuse de l'Espace* » dans leur plan de cours et donc qui auront utilisé le jeu, obtiendront une note plus élevée au test que les élèves qui n'auront pas utilisé le jeu.

Est-ce que l'utilisation du jeu *La remorqueuse de l'espace* en classe en réduit l'adhésion des élèves à des conceptions erronées en cinématique qu'un enseignement régulier ?

Pour y répondre, l'analyse se fonde sur le calcul des gains d'apprentissage. Plus précisément, la différence entre les scores obtenus par le groupe expérimental aux tests, question par question, sera comparée à celle observée pour le groupe témoin. Si le gain du groupe expérimental s'avère significativement supérieur à celui du groupe contrôle, cela permettra de confirmer l'hypothèse suivante :

- Hypothèse II : Les élèves ayant utilisé le jeu « *La Remorqueuse de l'Espace* » réduiront davantage leur adhésion à des conceptions erronées en cinématique que ceux ayant suivi uniquement un enseignement régulier.

### **3.5 Méthode d'analyse**

Pour analyser les résultats de cette recherche, nous avons procédé d'abord à une comparaison des scores obtenus au pré-test et au post-test, afin d'évaluer les gains d'apprentissage entre le groupe expérimental et le groupe témoin. Les données recueillies ont ensuite été examinées de manière globale, par catégories conceptuelles, ainsi que question par question. Cette approche a permis non seulement à identifier les progrès réalisés selon les différents thèmes de la cinématique, mais

également à évaluer avec précision les taux de réponses erronées observés dans chacun des groupes.

Par ailleurs, une analyse plus fine a exploité les données du pré-test pour repérer les conceptions erronées les plus fréquentes, indicatrices de conceptions erronées partagées par les élèves. La comparaison de ces résultats avec ceux du post-test a ensuite permis de déterminer si un changement conceptuel s'est produit et si les élèves ont été capables de corriger ces conceptions initialement erronées. Comme expliqué précédemment, cette recherche s'appuie sur des questions à choix multiples comprenant cinq options de réponse. Dans ce type de questionnaire, chaque option a une probabilité de 20 % d'être choisie au hasard. Lorsqu'une mauvaise réponse est sélectionnée par plus de 20 % des étudiants, cela suggère que ce choix est plus attractif que ne le justifierait le hasard. Cette observation est confirmée dans la littérature, notamment par Haladyna *et al.* (2002), qui indiquent qu'un distracteur efficace attire généralement une proportion non négligeable d'étudiants (5 à 10 %), tandis qu'un seuil supérieur peut révéler des difficultés pédagogiques. Ce phénomène peut s'expliquer par une conception erronée partagée par plusieurs apprenants, par une formulation ambiguë de l'item ou encore par un distracteur particulièrement plausible. De plus, selon Tarrant *et al.* (2009), un distracteur choisi par plus de 20 % des étudiants mérite une analyse approfondie, car il peut refléter une difficulté conceptuelle réelle. Dans le même sens, Nicol *et al.* (2006) soulignent qu'un distracteur dépassant ce seuil constitue un indicateur précieux pour ajuster l'enseignement, au-delà de sa seule fonction d'évaluation sommative.

Enfin, les différences observées entre les groupes ont été interprétées à la lumière des modèles de changement conceptuel, ce qui a permis de mesurer l'impact spécifique du jeu *La Remorqueuse de l'Espace* sur l'apprentissage de la cinématique.

### **3.6 Limites potentielles de la recherche**

Cette matéologie de recherche comporte quelques limites :

1. Considérant l'importance que l'enseignement donné dans le groupe de contrôle et celui donné dans le groupe expérimental soit le plus similaire possible, une limite peut survenir si un même enseignant donne les cours aux deux groupes. Dans cette situation, il est possible que les enseignants changent leur façon d'enseigner dans le groupe de contrôle

ou soit influencés par leur enseignement du groupe expérimental. Pour diminuer l'effet de cette influence, on leur a demandé de donner leur cours « traditionnel » le plus fidèlement possible.

2. Les élèves des trois groupes ont pu se parler du jeu, donc il était possible que des élèves du groupe de contrôle aient accès au jeu sans qu'on ne leur présente. Pour limiter cet effet on a demandé aux élèves du groupe expérimental de respecter la confidentialité du jeu et de l'intervention, afin d'éviter qu'ils en parlent ou incitent leurs amis du groupe de contrôle à l'essayer. On a aussi questionné les élèves du groupe de contrôle lors du test à la fin de l'intervention en leur demandant : « connaissez-vous ou avez-vous joué au jeu *La remorqueuse de l'espace* ? ». Les élèves qui répondent par l'affirmative seront simplement écartés de l'échantillon.

### **3.7 Considérations éthiques**

#### **3.7.1 Respect de la confidentialité et de l'anonymat**

Les renseignements recueillis dans le cadre de cette recherche sont confidentiels. Les participants et les enseignants impliqués dans l'étude restent anonymes. Afin de préserver l'anonymat de chacun, aucune publication ou communication scientifique ne contiendra des informations pouvant permettre d'identifier un participant.

#### **3.7.2 Obtention d'un consentement éclairé**

Les sujets de cette étude ont tous participé de façon volontaire. Ils ont été avisés clairement qu'ils avaient le droit, à tout moment, de se retirer du projet, et ce, sans fournir aucune justification ni subir aucune pénalité. Un formulaire de consentement a été signé par les élèves.

## CHAPITRE 4

### RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

La question principale de recherche est la suivante : le jeu vidéo éducatif « *La Remorqueuse de l'Espace* », spécifiquement conçu pour intervenir sur les conceptions initiales, peut-il favoriser l'apprentissage des concepts de la mécanique newtonienne ? Cette question a été par la suite divisée en deux questions spécifiques de recherche. La première question spécifique est : Est-ce que l'utilisation du jeu vidéo éducatif *La Remorqueuse de l'Espace* en classe produit un meilleur gain sur la performance des élèves de secondaire 5 en cinématique qu'un enseignement régulier ? Et la deuxième question spécifique est : Est-ce que l'utilisation du jeu vidéo éducatif *La remorqueuse de l'espace* en classe en réduit l'adhésion des élèves de cinquième secondaire à des conceptions erronés en cinématique qu'un enseignement régulier ?

Dans ce chapitre, les résultats et l'interprétation de ces deux sous-questions seront examinés, et enfin, la conclusion de cette recherche sera présentée.

#### 4.1 Statistiques descriptives

La population statistique de cette étude quantitative est constituée d'élèves de cinquième année du secondaire d'une école au Québec. Tous les élèves participent à un cours de physique dans le cadre du programme scolaire et sont enseignés par le même enseignant. La population totale des élèves participant à cette recherche est de 117. Ceux-ci ont été répartis en quatre classes : deux grands groupes de 34 et 33 élèves, ainsi que deux plus petits groupes de 26 et 24 élèves.

Afin de créer un équilibre entre les groupes témoins et expérimentaux, un grand groupe et un petit groupe ont été désignés comme groupe témoin, tandis qu'un grand groupe et un petit groupe ont été assignés au groupe expérimental. Les participants des groupes expérimentaux ont bénéficié d'un accès immédiat au Chromebook pour interagir avec le jeu vidéo *La Remarque de l'Espace*. En revanche, le groupe témoin n'était pas informé de cette activité et n'a eu accès au Chromebook qu'après la fin de la période de recherche.

Dans ce contexte d'étude, les participants des groupes témoin et expérimental ont été soumis à un programme d'enseignement de la cinématique, dispensé par un enseignant, sur une durée de cinq semaines, avec une fréquence de quatre séances hebdomadaires. Dans le plan de cours prévu, une séance de 75 minutes par semaine était réservée à la pratique.

Au cours des séances pratiques, les élèves appartenant au groupe témoin ont été chargés de résoudre des problèmes de cinématique conçus pour renforcer les concepts enseignés. Pour chaque séance, il y avait un exercice par groupe qui était ciblé dans la série des exercices. Les élèves devaient documenter leur progression et, pour contrôler les exercices, prendre des photos des exercices résolus après les avoir complétés.

Parallèlement, les membres du groupe expérimental ont été invités à participer activement aux différentes étapes du jeu vidéo *La Remarque de l'Espace*, qui mettait en pratique les mêmes concepts. Les étapes du jeu vidéo ont été choisies en fonction des thèmes abordés dans le programme afin d'assurer leur pertinence. Les participants du groupe expérimental ont partagé des captures d'écran du jeu vidéo après avoir achevé les niveaux. Ces captures ont été remises à l'enseignant pour enregistrement dans le but de contrôler les exercices.

Après avoir mené la recherche et exclu les participants n'ayant pas pris part aux évaluations pré-test et post-test, l'échantillon final se composait de 50 élèves dans le groupe témoin et de 53 dans le groupe expérimental.

Afin d'analyser les résultats de cette recherche, nous procéderons d'abord à l'analyse des résultats mesurés lors du pré-test. Ensuite, nous comparons les gains obtenus entre les élèves ayant participé à un enseignement utilisant le jeu vidéo *La Remarque de l'Espace* et ceux ayant suivi un enseignement régulier.

## **4.2 Aperçu des résultats généraux**

La moyenne des résultats des élèves au pré-test, pour l'ensemble des groupes ( $N = 103$ ), est de 31,3 %. Le groupe expérimental, qui a joué au jeu dans le cadre des cours, présente une moyenne de 29,9 % au pré-test ( $N = 53$ ). En revanche, le groupe témoin, constitué d'élèves suivant un enseignement régulier, affiche une moyenne de 34,1 % ( $N = 50$ ). La différence de taux de réponse

entre les résultats obtenues par les groupes expérimental et témoin est de 4,2 %, ce qui n'est pas significatif ( $p > 0,05$ ,  $N = 103$ ) et ce qui suggère que le niveau de compétence des élèves est relativement uniforme et équilibré au sein des deux groupes.

Analyse des résultats révèle que le gain (Score Post-test > Score prétest) observé dans l'ensemble de l'échantillon ( $N = 103$ ) est de 4,86 %. Comme le démontre le diagramme de la Figure 4.1, dans le groupe expérimental ( $N = 53$ ), le gain atteint 5,15 %, comparativement au groupe témoin, qui affiche un gain de 4,53 %. La différence de 0,62 % entre les gains des deux groupes, cette différence n'atteint pas le seuil de signification statistique.

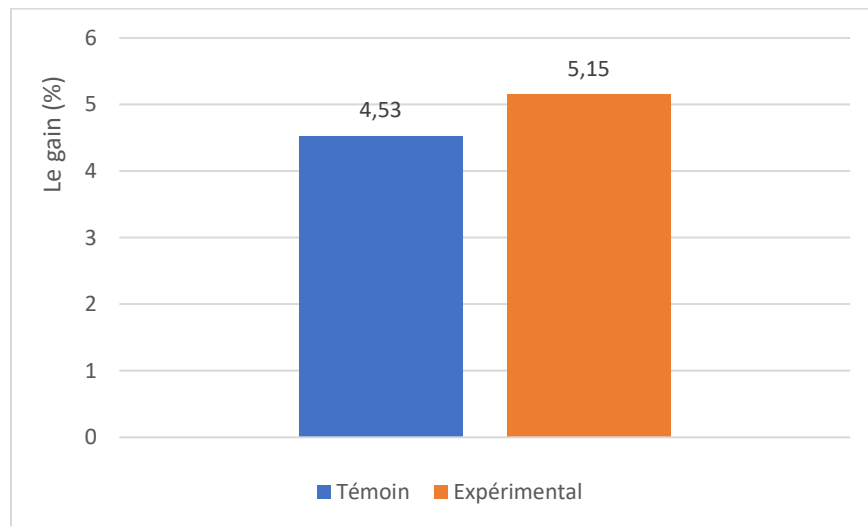


Figure 4.1 Gain en pourcentage pour les deux groupes témoin et expérimental

La Figure 4.1 illustre les résultats de la réponse de la population totale à la chaque question de prétest et la compare avec la réponse des groupes expérimentaux et témoins au post-test.

Étant donné que les réponses individuelles des élèves à chaque question sont connues, il est possible de comparer l'amélioration ou la régression des élèves dans l'apprentissage des concepts liés à la section cinématique. Au lieu de présenter les gains associés à chaque question, on peut visualiser le gain moyen des questions regroupées par catégorie conceptuelle, conformément aux définitions exposées dans la section 3.2. Les items de la catégorie sont indiqués dans le Tableau 4.1 avec le nombre de tests liés à chaque classification conceptuelle dans le test.

Tableau 4.1 La catégorie conceptuelle

Concept abordé	Item au test
C1. Le déplacement et La distance parcourue	2(11 KCT)
C2. La vitesse comme taux de changement de la position dans le temps	1(19 FCI,25 KCT), 10(1 KCT)
C3. Le vecteur unidimensionnel de la vitesse	3(5 KCT), 12(41 KCT)
C4. L'addition des vitesses en deux dimensions	4(14 FCI), 7(18 KCT)
C5. L'accélération comme taux de changement de la vitesse dans le temps	6(14 KCT), 9(20 FCI)
C6. Le vecteur unidimensionnel de l'accélération	5(8 FVA), 8(9 KCT,2 FVA)
C7. L'accélération gravitationnelle	13(27 FMCE), 14(28 FMCE), 15(29 FMCE)

La Figure 4.2 montre la comparaison des gains des élèves de deux groupes selon la catégorie conceptuelle.

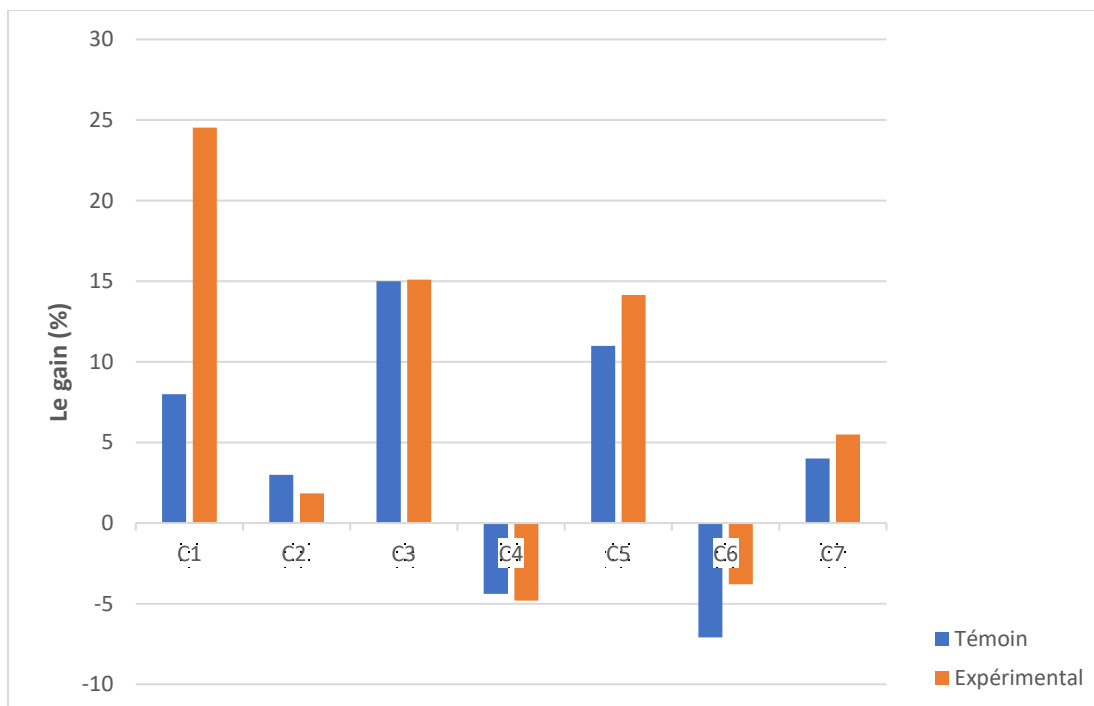


Figure 4.2 Les gains observés en pourcentage dans les deux groupes en fonction de la classification conceptuelle du test

L'analyse des résultats présentés à la Figure 4.2 révèle que le groupe expérimental a enregistré des gains moyens supérieurs à ceux du groupe témoin pour les concepts de C3 ; « vitesse en tant que vecteur unidimensionnel », C5 ; « accélération en tant que taux », C6 ; « accélération en tant que vecteur unidimensionnel » et C1 ; « distinction entre déplacement et distance parcourue ». À l'inverse, le groupe témoin a obtenu des gains moyens plus élevés pour les concepts de C2 ; « vitesse en tant que taux » et C4 ; « addition des vitesses en deux dimensions ». Toutefois, aucune de ces différences n'atteint le seuil de signification statistique ( $p > 0,05$  ;  $N = 103$ ).

Afin d'évaluer l'impact du jeu *La Remorqueuse de l'Espace* sur le changement conceptuel chez les élèves, une simple comparaison des scores ne suffit pas. Une analyse plus fine consiste à utiliser les données du prétest pour identifier les conceptions erronées fréquentes, indicatrices de conceptions erronées partagées. Enfin, la comparaison avec les résultats du post-test permet de mieux évaluer si un changement conceptuel s'est produit et si les élèves ont été capables de corriger ces conceptions erronées.

Comme expliqué précédemment dans la section 3.5 *Méthode d'analyse*, un seuil d'occurrence de 20 % a été adopté comme critère pour identifier les conceptions erronées fréquemment partagées par les élèves. Comme le montre la Figure 4.3, l'application de ce seuil permet de distinguer les conceptions erronées les plus fréquentes lors du prétest. Les conceptions erronées sont considérées comme telles lorsqu'un mauvais choix dépasse 20 %. Le graphique compare également ces réponses erronées avec le taux de bonnes réponses, facilitant ainsi l'analyse des lacunes conceptuelles initiales.

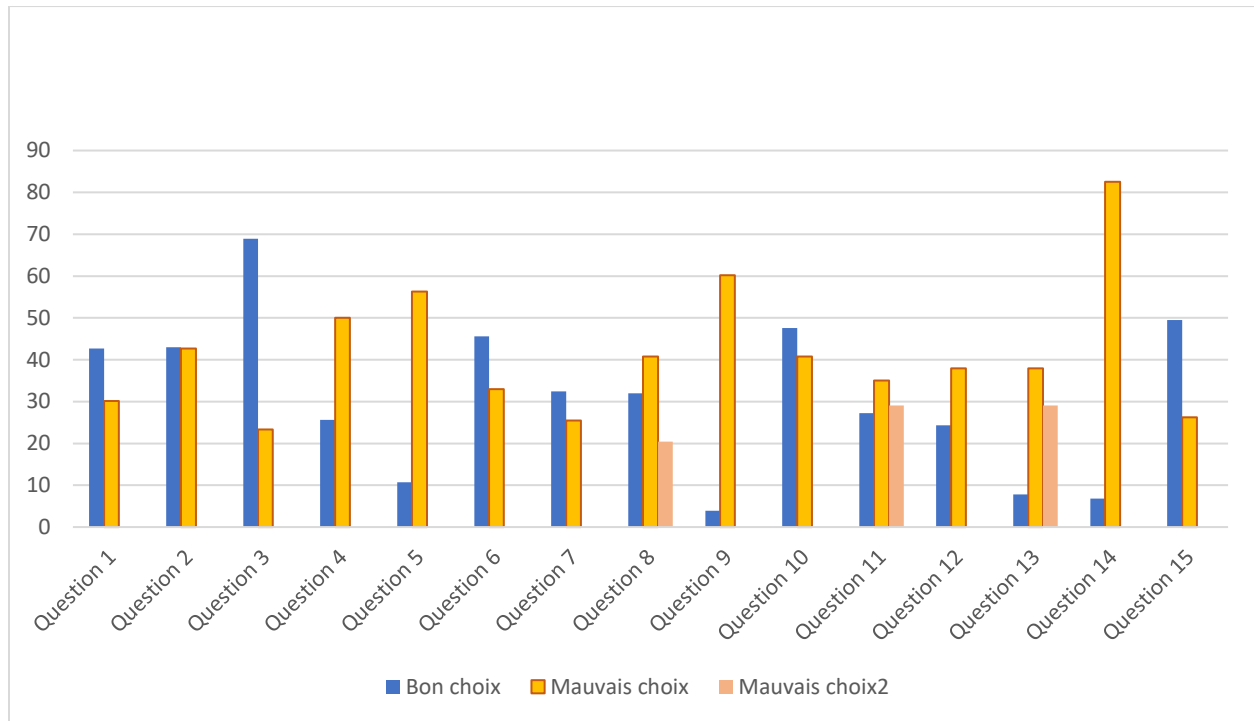


Figure 4.3 Pourcentage de réponses correctes et incorrectes dépassant la limite autorisée

Dans les questions 8, 11 et 13, deux mauvais choix dépassent même ce seuil. Pour six questions, plus de 40 % des élèves ont choisi une mauvaise réponse, et pour la question 14, plus de 80 % d'entre eux ont opté pour une mauvaise réponse. Ces résultats suggèrent que le test utilisé dans cette étude a permis d'identifier les conceptions erronées fréquentes des élèves. Il devient donc pertinent de procéder à une analyse approfondie afin de caractériser ces conceptions erronées.

La Figure 4.4 illustre le pourcentage de réponses incorrectes dépassant le seuil de 20 % lors du prétest, mise en relation avec les taux observés pour les mêmes choix erronés au post-test.

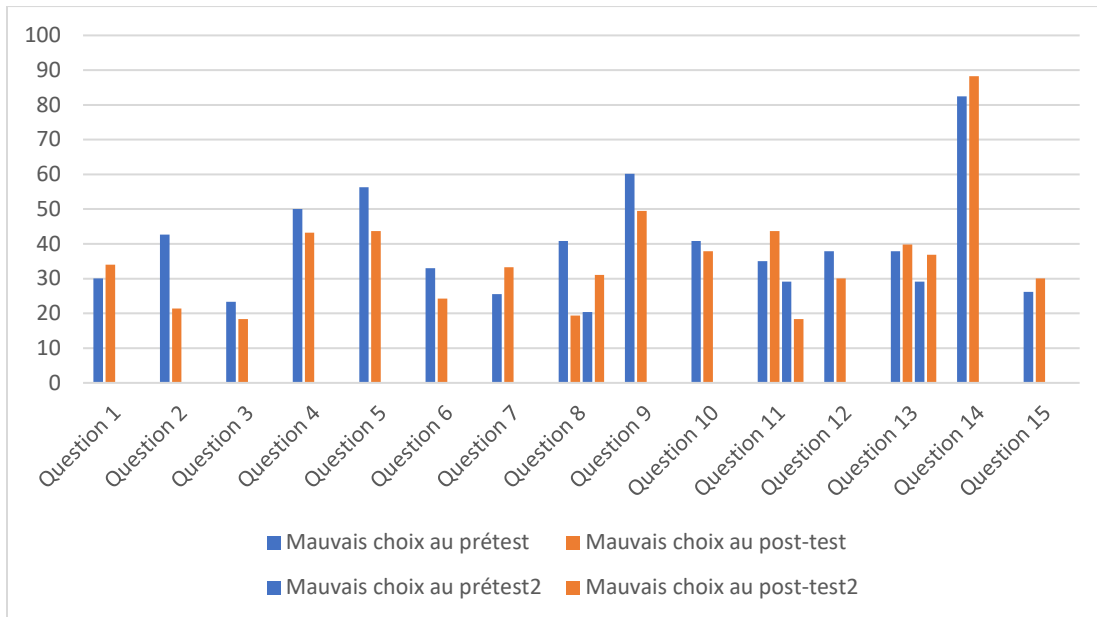


Figure 4.4 Comparaison du pourcentage de choix erronés dans le prétest avec celui observé dans le post-test pour les mêmes options

Cette comparaison révèle la persistance de certaines conceptions erronées malgré les interventions pédagogiques, qu’elles soient régulières ou appuyées par le jeu. Ce constat met en lumière la stabilité cognitive de certaines idées fausses, ancrées de manière durable dans le réseau conceptuel des apprenants (Chi, 2005).

### 4.3 Discussion

Les recherches portant sur l’intégration de jeux vidéo sérieux en enseignement scientifique montrent des effets variables lorsqu’il s’agit d’améliorer la compréhension des concepts de mécanique newtonienne. Plusieurs études en physique soutiennent que les jeux et simulations peuvent favoriser certains apprentissages conceptuels, notamment lorsqu’ils sont accompagnés de stratégies pédagogiques structurées, telles que des débriefings, des retours explicites ou des exercices de transfert (Boucher-Genesse *et al.*, 2011 ; Clark *et al.*, 2011 ; Ma *et al.*, 2021 ; Rehman *et al.*, 2021 ; Yuan *et al.*, 2022 ; van der Linden *et al.*, 2024). Ces travaux soulignent également une amélioration de l’engagement et de la motivation des élèves, deux facteurs reconnus pour soutenir l’apprentissage en sciences.

Cependant, d'autres recherches indiquent que les jeux sérieux ne produisent pas systématiquement des gains significatifs aux tests conceptuels en mécanique, particulièrement lorsque les interventions sont de courte durée ou insuffisamment intégrées au déroulement pédagogique (Adams *et al.*, 2016 ; Anderson et Barnett, 2011 ; Merki, 2025 ; Richter et Kickmeier-Rust, 2025 ; van der Linden *et al.*, 2016). Ces résultats s'accordent avec les travaux en didactique de la mécanique, où l'on sait que la modification des conceptions initiales exige du temps, des rétroactions ciblées et un accompagnement explicite (McDermott *et al.*, 1987 ; Potvin, 2018).

La présente étude avait pour objectif d'évaluer l'impact du jeu sérieux *La Remorqueuse de l'Espace* sur l'apprentissage de la cinématique ainsi que sur la réduction des conceptions erronées chez des élèves de cinquième secondaire. Deux questions spécifiques guidaient la recherche : d'une part, la comparaison des gains au test conceptuel entre un enseignement régulier et un enseignement intégrant le jeu, et d'autre part, l'examen de la persistance des conceptions erronées ou de la correction ces conceptions erronées. Dans ce qui suit, chaque question sera réintroduite et les résultats obtenus seront discutés à la lumière de cette recherche.

#### **4.3.1 Réponse à la question spécifique de recherche 1**

La question spécifique de recherche 1 était : Est-ce que l'utilisation du jeu vidéo éducatif *La Remorqueuse de l'espace* en classe produit un meilleur gain sur la performance des élèves de secondaire 5 en cinématique qu'un enseignement régulier ?

Selon les résultats statistiques, le gain pour le groupe expérimental est de 5.15 % et pour le groupe témoin de 4,53 %. Bien que les résultats obtenus indiquent que l'utilisation du jeu a généré des gains légèrement supérieurs à ceux observés dans le groupe témoin, la différence de gain entre le groupe expérimental et de contrôle n'a révélé aucune différence significative ( $p > 0,05$ ,  $N = 103$ ).

Ces résultats s'inscrivent en continuité avec les travaux de McDermott (1998) et de Potvin (2018), qui soulignent que la remédiation conceptuelle nécessite non seulement des activités interactives, mais également des discussions guidées, des rétroactions explicites et un temps suffisant pour permettre aux élèves de restructurer leurs apprentissages. L'usage d'un jeu éducatif, lorsqu'il n'est pas intégré de manière approfondie dans le déroulement pédagogique, tend ainsi à jouer un rôle de soutien plutôt qu'à constituer une véritable stratégie de changement conceptuel.

### 4.3.2 Réponse à la question spécifique de recherche 2

La deuxième question de cette étude visait à déterminer si l'utilisation du jeu vidéo éducatif *La remorqueuse de l'espace* en classe permet de réduire davantage l'adhésion des élèves de cinquième secondaire à des conceptions erronées en cinématique, comparativement à un enseignement régulier.

Afin d'obtenir des résultats plus précis et fiables, les choix erronés relevés lors du prétest ont été comparés à ceux du post-test pour chacune des questions, comme présenté dans la Figure 4.3. Puisque les distracteurs proposés dans les tests ont été conçus pour refléter des conceptions erronées fréquemment observées, cette comparaison permet d'évaluer, pour chaque groupe, l'évolution des élèves dans leur capacité à éviter ces réponses incorrectes.

Cette analyse nous permet de déterminer si l'utilisation du jeu *La remorqueuse de l'espace* a contribué à améliorer la compréhension des concepts de cinématique ou à corriger les conceptions erronées. Pour ce faire, chaque question est examinée séparément, en se concentrant sur les mauvais choix effectués par les élèves.

**Question 1 du test :** Dans cette question, les élèves manifestent une conception erronée selon laquelle deux objets partageant la même position à un instant donné doivent également avoir la même vitesse. Cette confusion survient lorsque le concept de vitesse en tant que taux de variation de la position n'est pas correctement compris, et que la distinction entre position et vitesse n'est pas clairement établie (Halloun et Hestenes, 1998). Les élèves commettent souvent l'erreur de croire que l'égalité de position implique automatiquement l'égalité de vitesse. Ce type de confusion conceptuelle est fréquemment observé chez les apprenants, comme l'ont montré Trowbridge et McDermott (1980), qui ont mis en évidence les difficultés à distinguer les notions de position, de vitesse et d'accélération.

En effet, deux objets peuvent se trouver à la même position dans l'espace à un moment donné, mais cela ne signifie pas nécessairement qu'ils se déplacent à la même vitesse. De plus, cette confusion est exacerbée par le langage courant qui peut simplifier à tort la relation entre position et vitesse, conduisant ainsi les élèves à croire que ces deux éléments sont toujours directement liés. Les recherches en éducation scientifique montrent que ces conceptions erronées sont fréquentes

chez les élèves, en particulier lorsqu'ils ne reçoivent pas d'instructions explicites sur la différence entre position et vitesse (Clement, 1982). Ce phénomène est souvent observé dans les classes de physique, où les concepts ne sont pas toujours bien assimilés et où une analogie imparfaite peut induire des erreurs dans le raisonnement (McDermott *et al.*, 1987).

Les résultats présentés dans la Figure 4.5 révèlent une diminution de la fréquence d'une conception erronée, ou idée fausse, chez les élèves du groupe expérimental par rapport à ceux du groupe témoin.

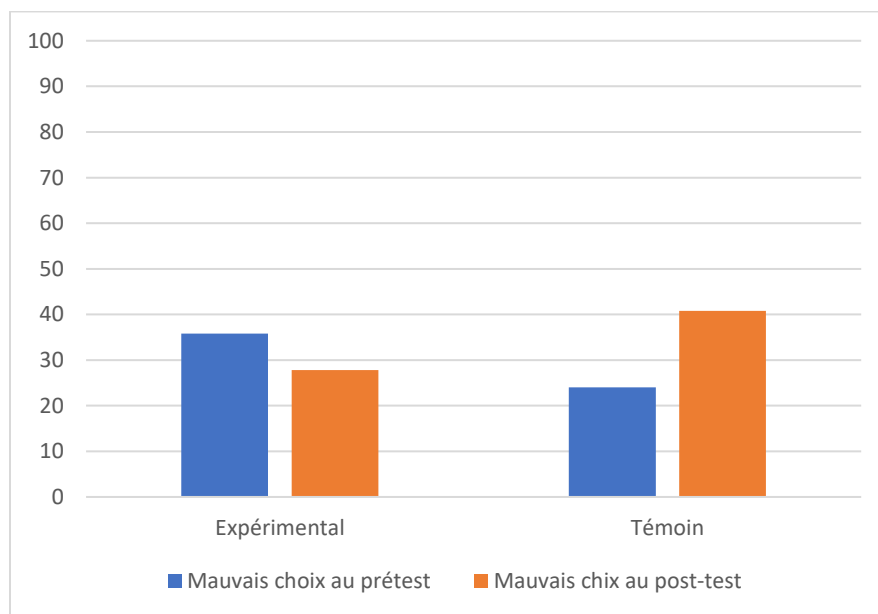


Figure 4.5 Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 1 entre les groupes expérimental et témoin

Plus précisément, dans le post-test, choisir la mauvaise option a été observée 7,55 % moins qu'au pré-test dans le groupe expérimental, alors qu'elle a augmenté de 16 % dans le groupe témoin. L'analyse statistique confirme d'une amélioration significative au sein du groupe expérimental ( $p = 0,02$ ,  $N = 103$ ). Ces résultats suggèrent que l'intégration de jeu *La remorqueuse de l'espace* a contribué à une meilleure compréhension sur la distinction entre les deux concepts de position et de vitesse. Cette évolution suggère un effet positif de l'intervention pédagogique sur la conceptualisation correcte du phénomène étudié.

**Question 2 du test :** Cette question indique que la distinction entre le déplacement et la distance parcourue constitue une difficulté conceptuelle fréquente chez les élèves, qui tendent à les considérer comme équivalents. Cette confusion s'explique en grande partie par des expériences de vie quotidienne et par des enseignements qui présentent ces notions de manière simplifiée, sans insister sur leurs différences fondamentales (McDermott *et al.*, 1998). Le déplacement est une grandeur vectorielle qui prend en compte la direction, tandis que la distance parcourue est une grandeur scalaire représentant la longueur totale du trajet, sans orientation. Comme l'illustre la Figure 4.6, les résultats obtenus lors du post-test révèlent que les élèves du groupe expérimental évitent davantage ce piège éducatif, comparativement à ceux du groupe témoin.

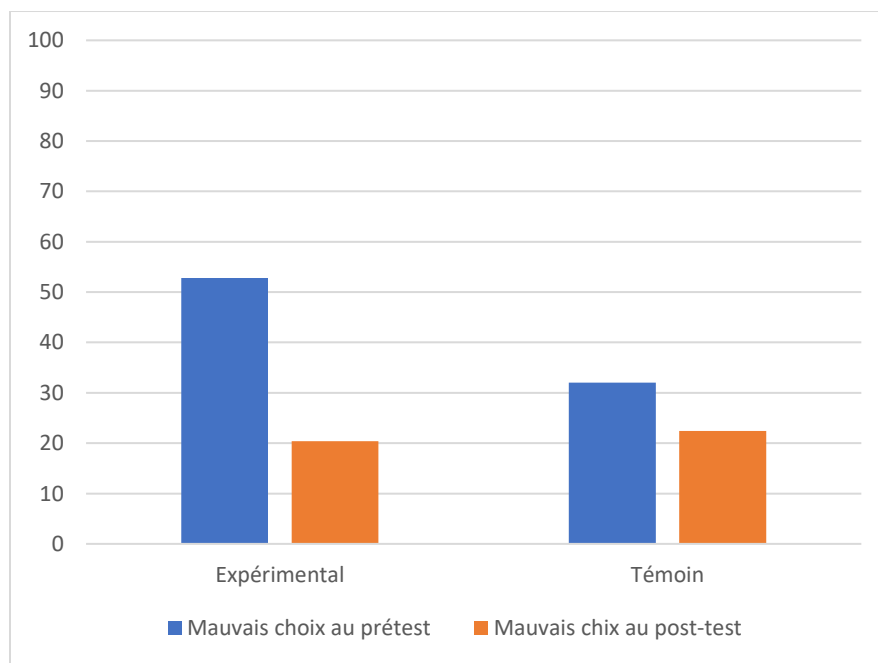


Figure 4.6 Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 2 entre les groupes expérimental et témoin

En effet, le groupe expérimental a commis cette erreur 32 % moins souvent qu'au pré-test, tandis que les élèves du groupe témoin ont choisi cette réponse incorrecte 10 % plus fréquemment au post-test. Bien que l'analyse statistique n'ait pas montré de différence significative concernant l'effet du jeu dans la correction de cette idée fautive ( $p = 0,06$  ;  $N = 103$ ), les élèves du groupe expérimental montrent tout de même des progrès dans la réduction des conceptions erronées.

**Question 3 du test :** La conception erronée dans cette question provient du fait que les élèves ont considéré que le signe du vecteur de position et le mouvement de l'objet sur l'axe des x dans la partie négative étaient équivalents au signe de la vitesse de l'objet. Une idée fausse courante chez les élèves est de confondre le signe du vecteur de position avec celui du vecteur de vitesse, particulièrement lorsqu'un objet se déplace vers la gauche sur l'axe des abscisses. Cette confusion, observée dans plusieurs études (Clement, 1982 ; Trowbridge et McDermott, 1980), découle souvent d'une compréhension limitée de la différence entre les notions de position, de déplacement et de vitesse vectorielle. Les élèves ont tendance à inférer, à tort, que le signe du vecteur de position doit suivre la direction du mouvement, alors que ce dernier dépend principalement du référentiel choisi et du contexte temporel.

Le vecteur de vitesse décrit un changement de position par unité de temps, incluant une direction, alors que le vecteur de position représente une localisation à un instant donné, sans implication directe sur la direction du mouvement. Le manque d'expériences concrètes ou d'illustrations visuelles dynamiques dans l'enseignement traditionnel peut contribuer à renforcer cette erreur conceptuelle (McDermott, 1991).

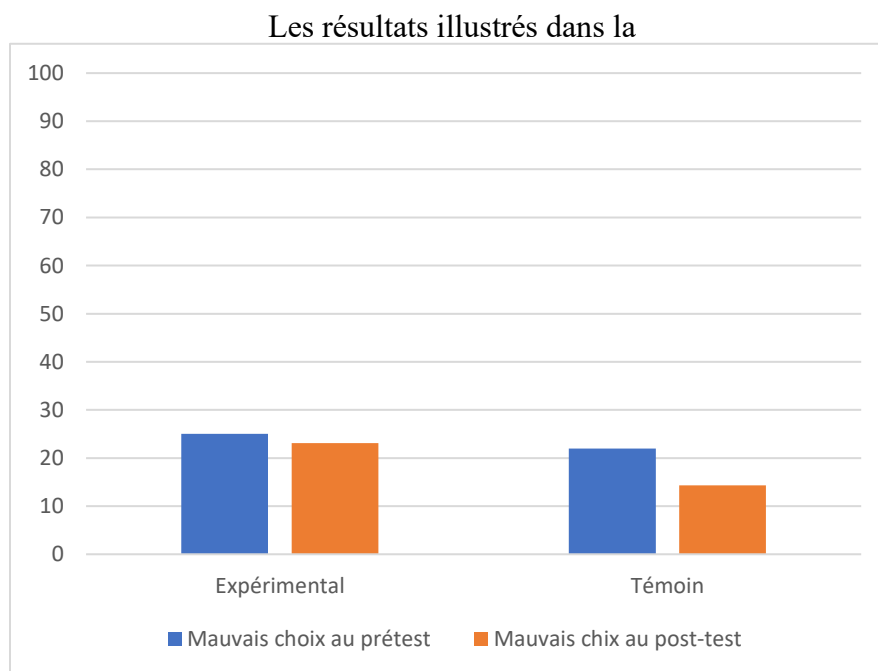


Figure 4.7 montrent une amélioration plus marquée chez les élèves du groupe témoin que chez ceux du groupe expérimental.

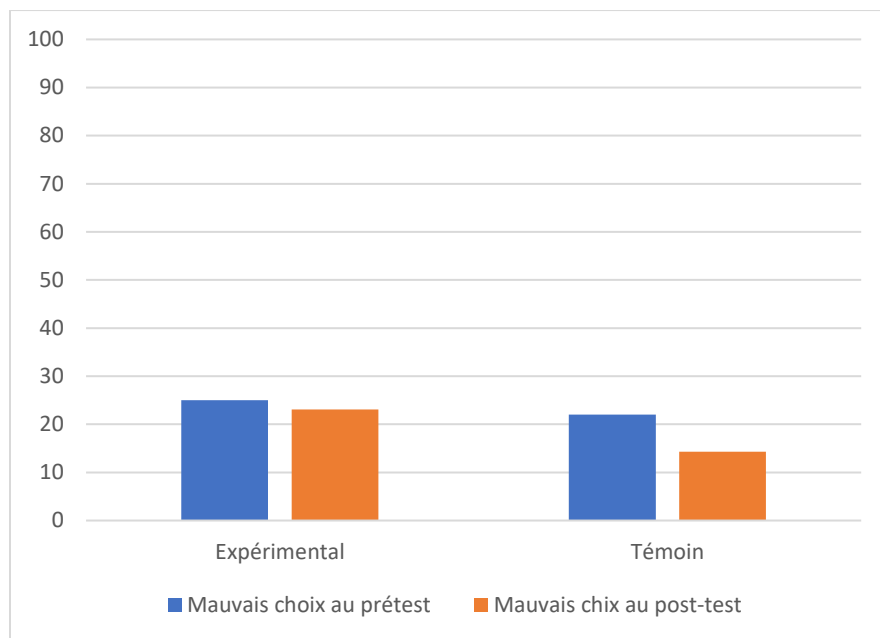


Figure 4.7 Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 3 entre les groupes expérimental et témoin

Le taux de réponses erronées a diminué de 8 % dans le groupe témoin, contre seulement 1,9 % dans le groupe expérimental. Par conséquent, en ce qui concerne la distinction conceptuelle entre le signe du vecteur de position et celui du vecteur de vitesse, l'enseignement régulier a eu un effet bénéfique, non significatif, mais observable.

**Question 4 du test :** Une idée fausse largement répandue chez les élèves est de penser qu'un objet libéré d'un système en mouvement ne possède pas de vitesse initiale. Cette erreur conceptuelle, mise en évidence dans les travaux de Clement (1982) et McDermott *et al.* (1998), provient généralement d'une compréhension inadéquate des systèmes de référence en mécanique classique. En réalité, tout objet se déplaçant au sein d'un système en mouvement partage la vitesse de ce système. Ainsi, lorsqu'il est libéré, il continue de se déplacer avec cette même vitesse, sauf si une force extérieure agit sur lui.

Cette interprétation erronée découle souvent d'une compréhension limitée des principes de la mécanique, en particulier des notions de vitesse dans différents référentiels. Comme l'ont montré Halloun et Hestenes (1998), de nombreux élèves conservent des conceptions « pré-newtoniennes »

basées sur l'intuition, selon lesquelles la vitesse d'un objet résulte uniquement d'une action immédiate, et non de son état précédent de mouvement.

Les données de la Figure 4.8 révèlent que les élèves du groupe témoin ont mieux compris ce concept que ceux du groupe expérimental.

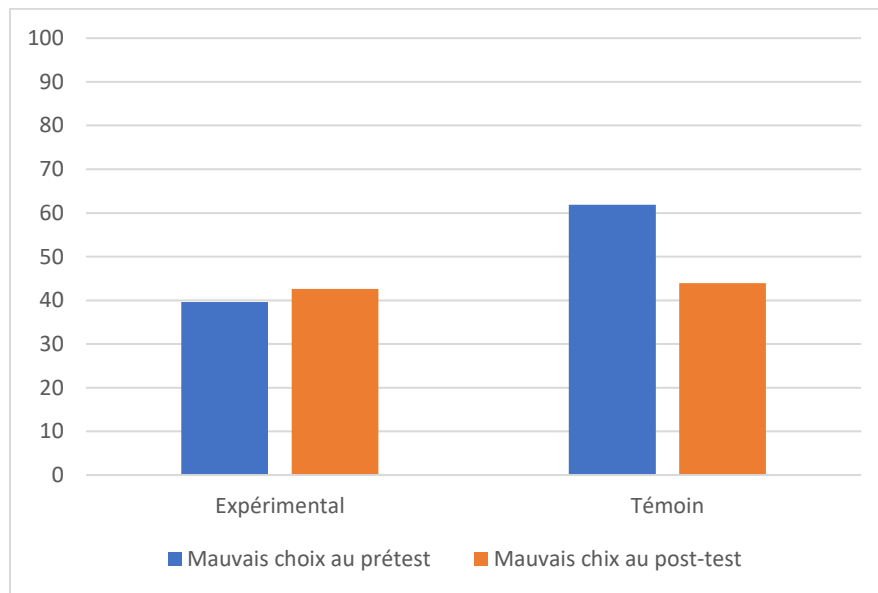


Figure 4.8 Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 4 entre les groupes expérimental et témoin

En effet, le taux de mauvais choix a augmenté de 2,5 % dans le groupe expérimental, alors qu'il a diminué de 10 % dans le groupe témoin. Bien que l'on ne puisse pas conclure que l'enseignement régulier soit significativement plus efficace pour corriger cette idée fautive, il apparaît que le jeu telle qu'implémentée dans cette étude n'a pas contribué à l'amélioration de l'évitement de cette conception erronée.

**Question 5 du test :** Une conception erronée fréquente chez les élèves est de croire que la direction de l'accélération d'un objet correspond toujours à celle de son mouvement. Cette confusion résulte souvent d'une compréhension partielle de la dynamique newtonienne, notamment en ce qui concerne les cas de mouvement non rectiligne ou décéléré. En réalité, l'accélération correspond à la variation du vecteur vitesse et peut être orientée dans une direction différente de celle du déplacement. Par exemple, dans un mouvement circulaire uniforme, l'accélération centripète est

perpendiculaire à la vitesse instantanée, et dans un mouvement rectiligne uniformément décéléré, l'accélération est opposée au mouvement.

Les recherches de Clement (1982) et McDermott *et al.* (1998) ont mis en lumière la persistance de ces conceptions intuitives, souvent ancrées dans des analogies issues de l'expérience quotidienne. Par ailleurs, l'usage de représentations schématiques mal interprétées ou incomplètes dans les manuels scolaires et les supports pédagogiques peut accentuer cette difficulté conceptuelle (Trowbridge et McDermott, 1980).

Les résultats présentés à la Figure 4.9 démontrent que les élèves du groupe expérimental ont obtenu une amélioration conceptuelle de 13,5 %, légèrement supérieure à celle observée dans le groupe témoin (12 %).

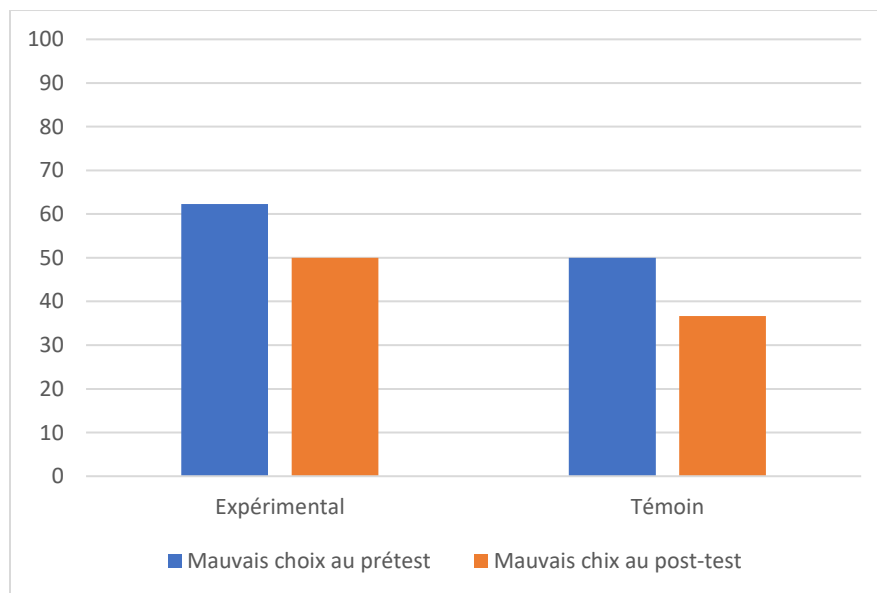


Figure 4.9 Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 5 entre les groupes expérimental et témoin

Toutefois, cette différence reste modeste et n'est pas statistiquement significative. Cela suggère que, bien que le jeu éducatif ait pu favoriser une certaine prise de conscience conceptuelle, il n'a pas permis une amélioration substantielle par rapport à l'enseignement traditionnel pour ce concept précis.

**Question 6 du test :** Les élèves considèrent à tort que la valeur numérique de la vitesse et de l'accélération est la même et ne prêtent pas attention au fait que l'accélération représente le taux de variation de la vitesse. Les élèves manifestent fréquemment une conception erronée fondamentale en confondant la vitesse et l'accélération, pensant que leurs valeurs numériques sont identiques. Cette confusion découle souvent d'une compréhension insuffisante de la nature et du comportement des grandeurs physiques en cinématique. La vitesse est une grandeur vectorielle qui exprime un déplacement par unité de temps, tandis que l'accélération, également vectorielle, décrit la variation de la vitesse par unité de temps (Halliday *et al.*, 2013).

Les élèves peuvent aussi être influencés par des expériences de la vie quotidienne, dans lesquelles ces deux concepts sont utilisés de manière interchangeable, sans qu'on insiste sur leurs différences fondamentales. Cette confusion peut être aggravée par des méthodes d'enseignement qui ne mettent pas suffisamment en évidence les distinctions conceptuelles. Par exemple, se focaliser sur des valeurs numériques sans considérer les unités et les dimensions peut renforcer l'idée erronée selon laquelle la vitesse et l'accélération sont équivalentes (Clement, 1982).

Dans notre étude (voir Figure 4.10), les élèves du groupe expérimental ont montré une légère amélioration avec une baisse de 3,8 % du choix erroné, tandis que les élèves du groupe témoin ont enregistré une amélioration plus marquée de 14 %.

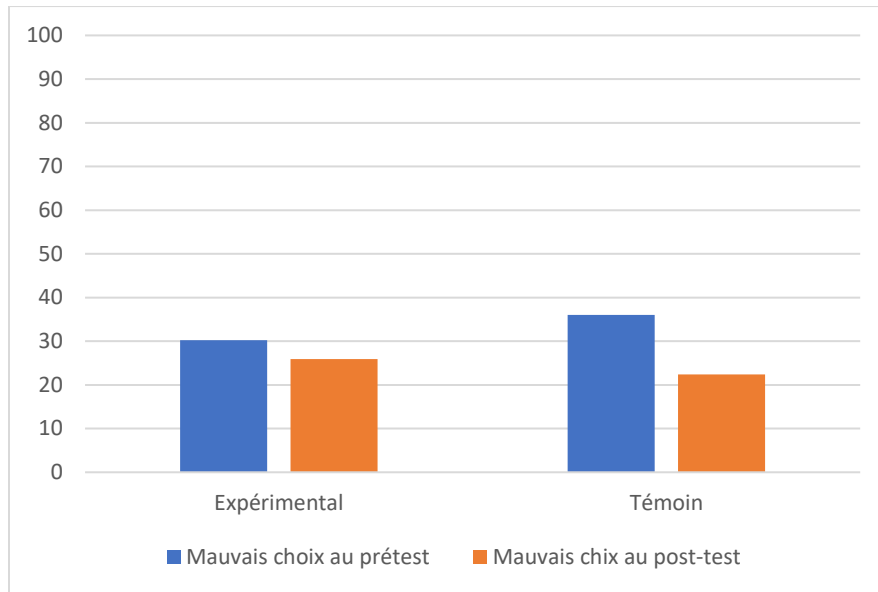


Figure 4.10 Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 6 entre les groupes expérimental et témoin

Bien que les deux groupes présentent une amélioration conceptuelle, cette différence n'est pas statistiquement significative.

**Question 7 du test :** Le mauvais choix sélectionné révèle deux erreurs conceptuelles. Premièrement, les élèves rencontrent des difficultés à choisir le système de référence approprié et à appliquer les notions de mouvement relatif. Deuxièmement, ils manifestent une confusion concernant l'addition de vecteurs, qu'ils assimilent à une simple addition numérique.

Les élèves rencontrent souvent des erreurs conceptuelles en ce qui concerne le choix du système de référence ainsi que l'application des concepts de mouvement relatif. Cette confusion est généralement attribuée à une compréhension insuffisante des fondements théoriques de la physique, essentiels pour analyser correctement les situations de mouvement. Par exemple, sans une compréhension claire du fait que le mouvement d'un objet dépend de l'observateur, les élèves peuvent éprouver des difficultés à interpréter les résultats dans différents référentiels (Clement, 1982).

En outre, l'addition vectorielle constitue un autre domaine source d'erreurs. Contrairement aux grandeurs scalaires, les vecteurs possèdent à la fois une magnitude et une direction. Les élèves ont

tendance à les traiter comme des nombres ordinaires, ignorant la composante directionnelle, ce qui peut mener à des interprétations erronées du mouvement relatif (Appova et Berezovski, 2013). Lorsqu'ils tentent de combiner plusieurs vecteurs, ils négligent souvent l'orientation, contribuant ainsi à leur incompréhension. Cette confusion est souvent renforcée par des méthodes pédagogiques qui n'insistent pas suffisamment sur la visualisation et la manipulation des vecteurs dans des contextes physiques concrets.

Comme le montre la Figure 4.11, bien que les groupes expérimental et témoin aient initialement présenté cette conception erronée en début de cours de cinématique, il a été observé qu'à la fin de la session, cette erreur non seulement persistait, mais s'était également accentuée de 17 % dans le groupe expérimental.

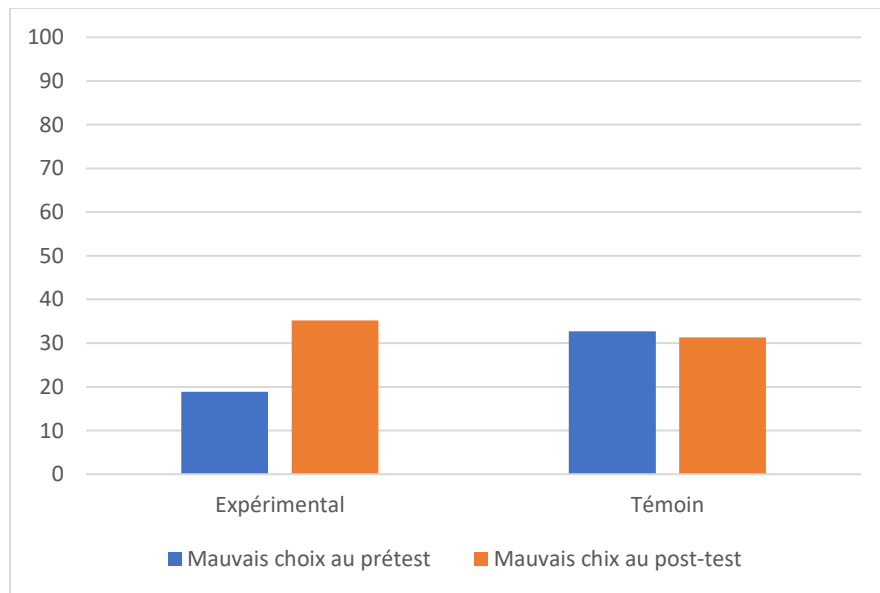


Figure 4.11 Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 7 entre les groupes expérimental et témoin

Bien que l'addition vectorielle des vitesses n'ait pas été abordée dans le plan de cours, cela pourrait suggérer que l'introduction du concept de vitesse vectorielle a renforcé certaines idées fausses préexistantes.

**Question 8 du test :** Dans cette question, les élèves ont choisi deux réponses incorrectes à plus de 20 %, ce qui indique la présence de deux conceptions erronées. Pour le premier mauvais choix, les

élèves considèrent que ralentir signifie automatiquement accélération négative, ignorant que la décélération dépend de la comparaison des directions de la vitesse et de l'accélération. Les élèves confondent souvent la relation entre vitesse, accélération et ralentissement, croyant à tort que toute décélération implique nécessairement une accélération négative. Cette confusion résulte d'une interprétation simplifiée de la physique, où le terme « négatif » est associé au ralentissement sans que l'on analyse le contexte de l'interaction entre vitesse et accélération (Clement, 1982). Par exemple, un objet peut avoir une vitesse positive tout en ayant une accélération négative, si cette accélération est opposée à la direction du mouvement.

De plus, les élèves ne tiennent souvent pas compte que le signe dépend du référentiel utilisé et que les vecteurs vitesse et accélération doivent être comparés pour analyser le mouvement (Halliday *et al.*, 2013). Une compréhension incomplète des vecteurs et de leur orientation peut renforcer cette erreur (McDermott *et al.*, 1998).

Selon la Figure 4.12, les élèves des deux groupes ont enregistré une augmentation du nombre de mauvais choix : le groupe expérimental, + 7,5 % et le groupe témoin, + 14 %, une hausse plus marquée malgré l'absence de significativité.

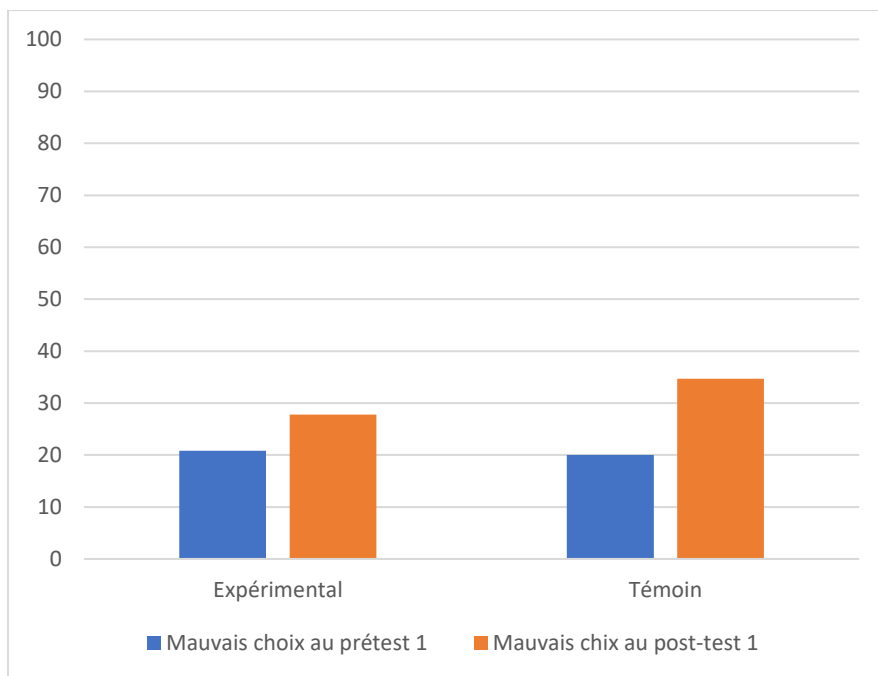


Figure 4.12 Comparaison du choix de la mauvaise réponse (1) à la question 8 entre les groupes expérimental et témoin

Pour le mauvais choix 2, les élèves interprètent une accélération nulle comme une indication de ralentissement. Ils confondent souvent ces deux notions, malgré la réalité scientifique : une accélération nulle indique une vitesse constante, qu'elle soit positive ou négative, ce qui correspond à un mouvement uniforme. Cette erreur provient d'une interprétation trop simplifiée de la cinématique. De plus, des représentations graphiques mal explicitées et des illustrations pédagogiques floues peuvent renforcer cette conception erronée (McDermott *et al.*, 1998).

Comme le montre la Figure 4.13, les deux groupes ont amélioré leur compréhension de l'accélération nulle : - 15 % dans le groupe expérimental et - 28 % dans le groupe témoin.

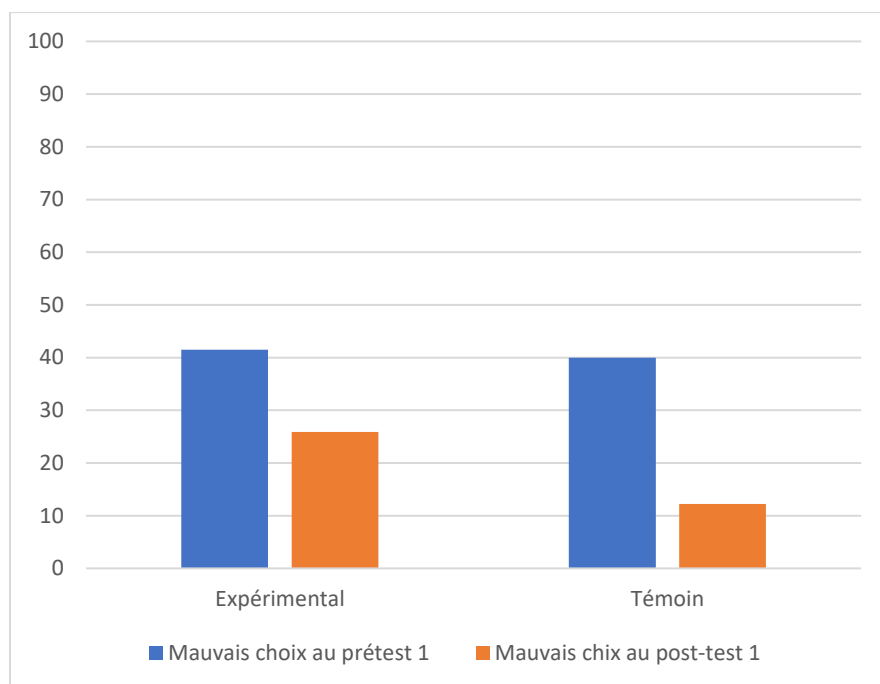


Figure 4.13 Comparaison du choix de la mauvaise réponse (2) à la question 8 entre les groupes expérimental et témoin

Bien que cette différence ne soit pas statistiquement significative, la performance du groupe témoin reste supérieure à celle des expérimentaux à la fin du cours.

**Question 9 du test :** Les élèves manifestent une conception erronée concernant la distinction numérique entre les grandeurs de vitesse et d'accélération, en considérant à tort qu'une valeur de vitesse plus élevée équivaut à une accélération plus élevée.

Les élèves éprouvent souvent des difficultés à distinguer les concepts de vitesse et d'accélération, ce qui les conduit à croire qu'une vitesse plus élevée implique nécessairement une accélération plus importante. Cette confusion résulte d'une compréhension limitée des définitions fondamentales de ces grandeurs. La vitesse est définie comme le déplacement par unité de temps, tandis que l'accélération correspond au taux de variation de la vitesse au cours du temps (Halliday *et al.*, 2013). Ainsi, même si un objet possède une vitesse élevée, cela ne signifie pas nécessairement qu'il a une accélération élevée. Un objet peut se déplacer à vitesse constante — donc avec une accélération nulle — même si sa vitesse est grande.

Des études ont montré que cette conception erronée est profondément enracinée chez les élèves, souvent influencés par des interprétations intuitives issues de leur expérience quotidienne ou des contextes médiatiques où vitesse et accélération sont utilisées de manière interchangeable (Clement, 1982).

Cette idée erronée est souvent renforcée par des expériences de la vie quotidienne où les objets rapides sont perçus comme « puissants » ou « en accélération », ce qui conduit les élèves à associer automatiquement grande vitesse et forte accélération (Clement, 1982).

Comme l'indique la Figure 4.14, les deux groupes ont présenté une amélioration modeste.

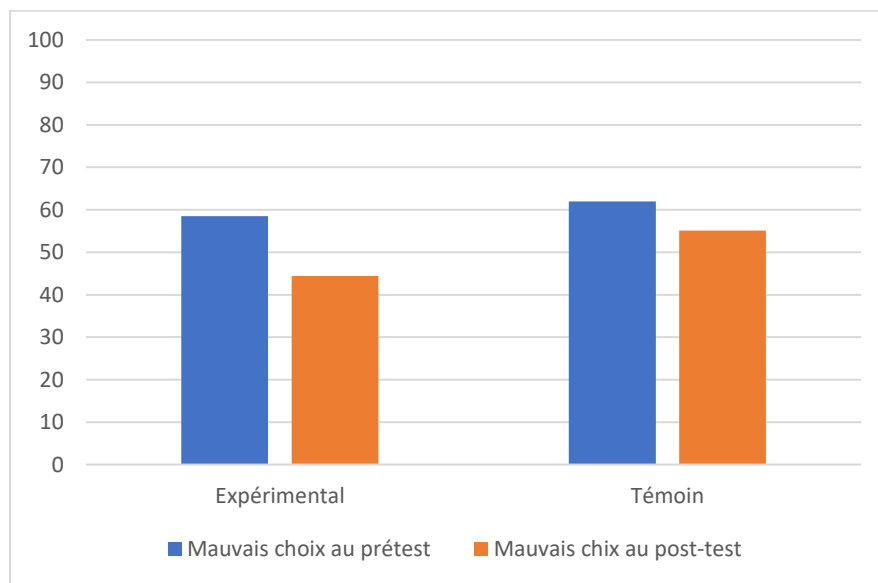


Figure 4.14 Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 9 entre les groupes expérimental et témoin

Le groupe expérimental a réduit la fréquence de cette erreur de 13 %, tandis que le groupe témoin a montré une baisse de 8 %. Bien que cette différence ne soit pas significative statistiquement, elle met en évidence une faible progression dans la compréhension de la distinction entre vitesse et accélération.

**Question 10 du test :** Cette question, comme la question 1, fait référence au concept de vitesse en tant que taux, c'est-à-dire comme un indicateur de la rapidité avec laquelle un phénomène se

manifeste. Toutefois, elle révèle une conception erronée, la croyance erronée selon laquelle une position identique entre deux objets implique nécessairement une vitesse identique.

Les résultats présentés dans la Figure 4.15 montrent que les performances du groupe expérimental n'ont pas progressé, tandis que celles du groupe témoin ont légèrement augmenté (environ 5 %).

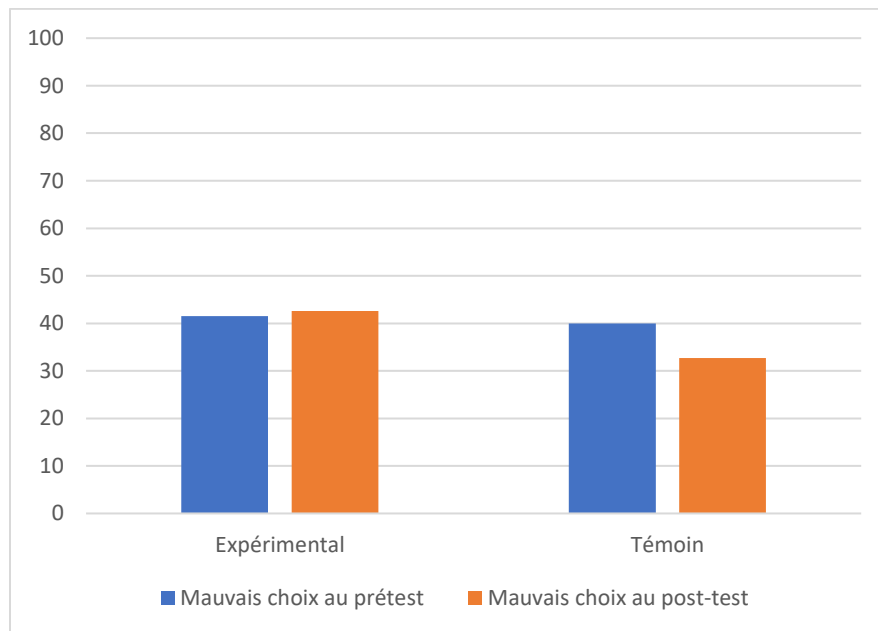


Figure 4.15 Comparaison du choix de la mauvaise réponse à la question 10 entre les groupes expérimental et témoin

Ce résultat contraste avec les résultats de la question 1, où le groupe expérimental avait pourtant obtenu une amélioration significative. La distinction entre les deux questions réside dans le fait que la question 1 compare un mouvement accéléré à un mouvement uniforme, tandis que la question 10 compare un mouvement ralenti à un mouvement uniforme. Ainsi, l'absence d'amélioration du groupe expérimental à cette question limite la portée des effets du dispositif sur la conceptualisation de la vitesse comme taux de variation.

**Question 11 du test :** Cette question, comme la question 8, traite du concept d'accélération en tant que vecteur unidimensionnel, en se concentrant sur deux idées fausses courantes. La première idée erronée associe une accélération négative à un mouvement de décélération, tandis que la seconde assimile une accélération nulle à une forme de décélération. Contrairement à la question 8, où le

ralentissement était considéré sur un axe horizontal, cette question explore spécifiquement le ralentissement observé sur l'axe vertical.

D'après les résultats, comme le montre la Figure 4.16, 11,3 % des élèves du groupe expérimental et 6 % des élèves du groupe témoin ont choisi le mauvais choix plus souvent qu'au prétest.

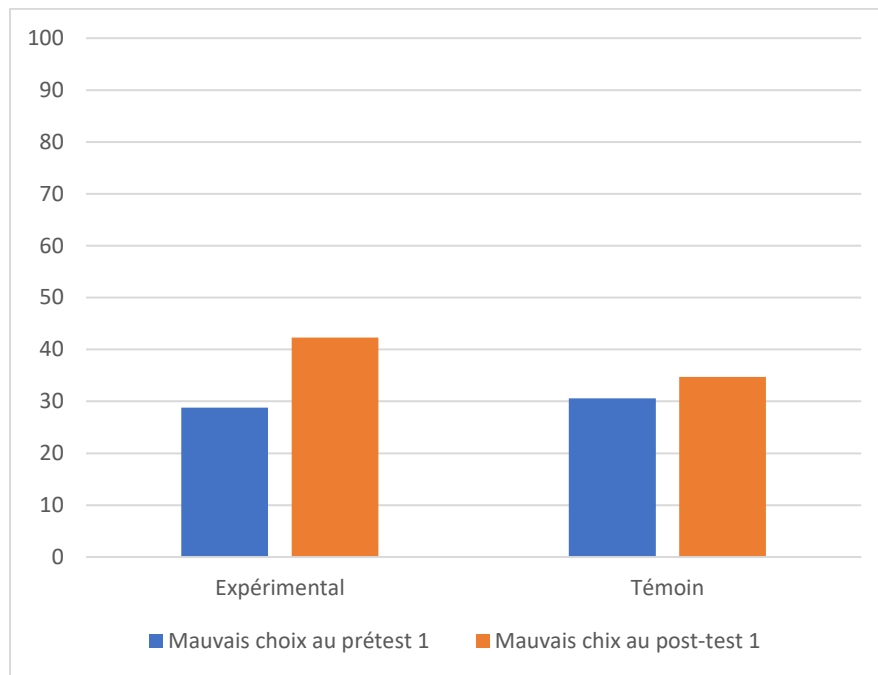


Figure 4.16 Comparaison du choix de la mauvaise réponse (1) à la question 11 entre les groupes expérimental et témoin

Ce résultat est cohérent avec celui obtenu à la question 8. Dans les deux cas, les élèves considéraient une accélération négative comme équivalente à un ralentissement, et les deux groupes ont continué à commettre cette erreur conceptuelle après avoir terminé le cours.

En ce qui concerne une autre erreur conceptuelle, où une accélération nulle équivaut à un mouvement décélérant, comme le montre la Figure 4.17, les élèves des deux groupes ont partiellement corrigé cette méprise. Le groupe expérimental a enregistré une diminution de 5 %, tandis que le groupe témoin a affiché une diminution de 16 % en choisissant le mauvais choix.

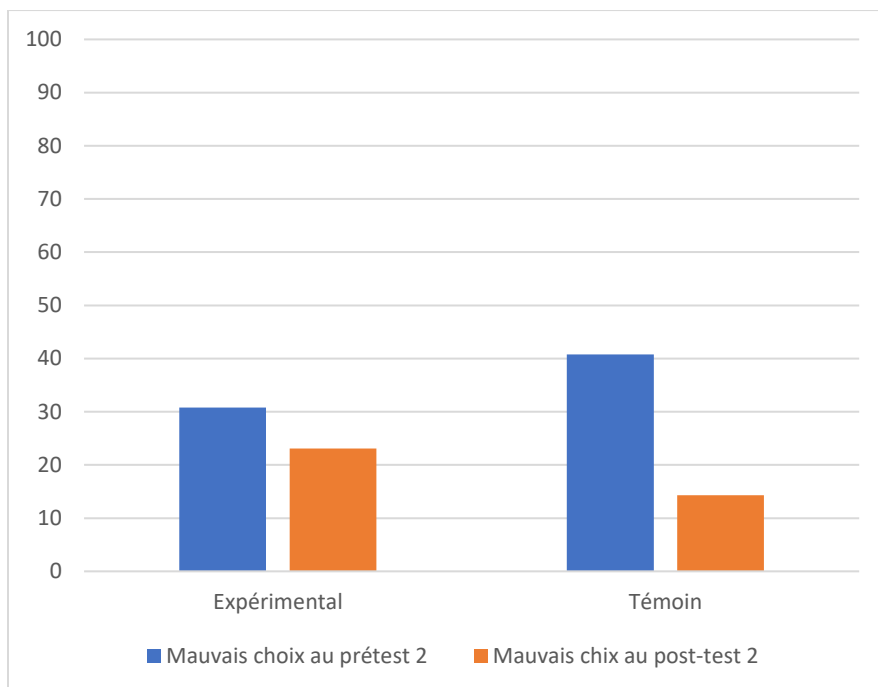


Figure 4.17 Comparaison du choix de la mauvaise réponse (2) à la question 11 entre les groupes expérimental et témoin

Enfin, ces résultats corroborent les conclusions de la question 8 et indiquent que, malgré une compréhension partielle, l'assimilation du concept d'accélération nulle s'est révélée tangible mais non significativement améliorée après la période de cours.

**Question 12 du test :** Cette question, tout comme la question 3, évalue la compréhension du concept de vitesse comme vecteur unidimensionnel. La conception erronée est liée à la distinction entre le signe du vecteur vitesse et celui du vecteur position.

Les résultats, illustrés à la Figure 4.18, montrent une diminution du pourcentage de réponses incorrectes, 9 % pour le groupe expérimental et 6 % pour le groupe témoin.

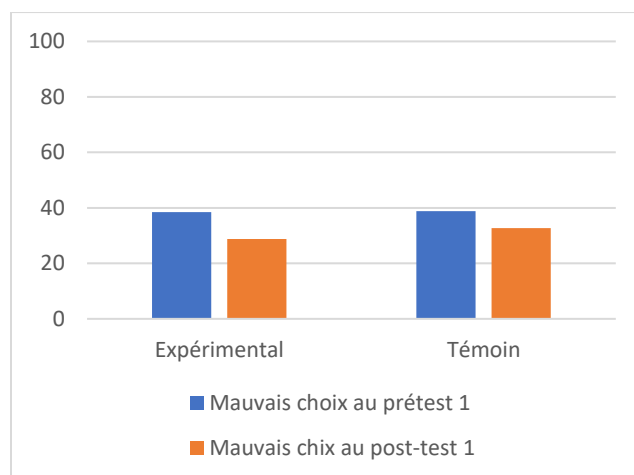


Figure 4.18 Comparaison du choix de la mauvaise réponse (2) à la question 12 entre les groupes expérimental et témoin

Les résultats obtenus pour cette question concordent avec ceux de la question 3. Bien qu'aucune amélioration significative ne soit observée entre les deux groupes, les élèves semblent avoir effectué une amélioration implicite dans la correction de cette erreur conceptuelle.

**Question 13-15 du test :** Les questions 13, 14 et 15 visent à évaluer la compréhension des élèves du phénomène de la chute libre. Toutefois, les étapes du jeu prévues pour introduire ce concept n'ont pas pu être mises en œuvre en classe en raison de contraintes temporelles. Par conséquent, les données recueillies ne permettent pas d'évaluer l'impact du jeu sur les conceptions associées à ce sujet. En revanche, l'analyse des réponses permet de détecter la persistance de conceptions erronées liées à la chute libre, ce qui peut guider l'élaboration d'approches pédagogiques ciblées pour favoriser un changement conceptuel.

Comme le montre le résultat de la recherche pour le premier mauvais choix dans la Figure 4.19, relatif à la question 13, les élèves assimilent à tort la direction du mouvement à celle de l'accélération. Cette confusion reflète une représentation naïve du mouvement rectiligne, où l'accélération est perçue comme un simple prolongement de la vitesse. Or, dans le cas de la chute libre, l'accélération gravitationnelle reste constante et dirigée vers le bas, indépendamment de la direction instantanée de la vitesse de l'objet (Halliday *et al.*, 2013).

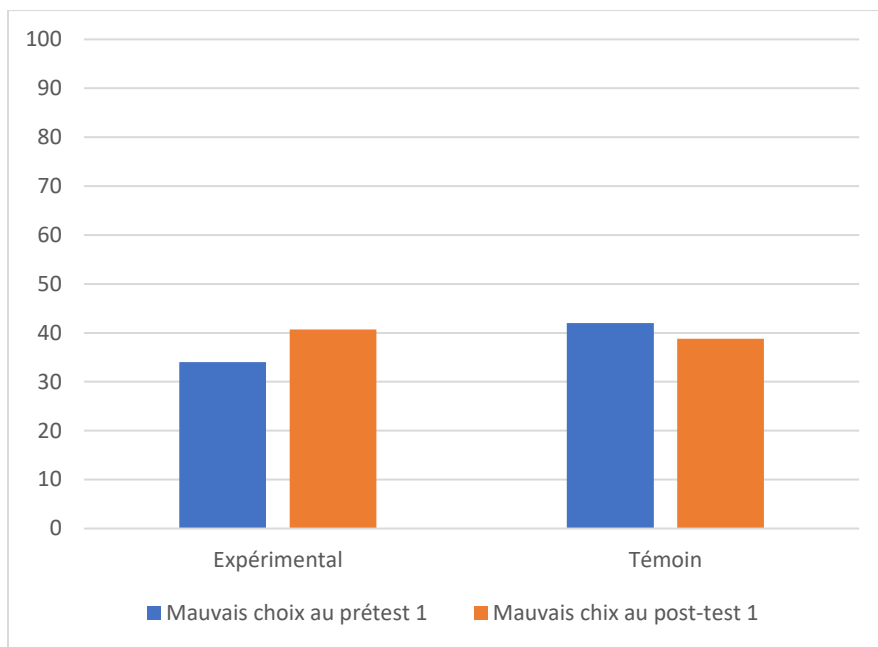


Figure 4.19 Comparaison du choix de la mauvaise réponse (1) à la question 13 entre les groupes expérimental et témoin

Les élèves du groupe expérimental ont présenté une augmentation de 5,7 % dans le choix de cette mauvaise réponse, tandis que ceux du groupe témoin ont montré une légère amélioration de 2 % dans la réduction du choix erroné.

Une deuxième conception erronée identifiée à la question 13 concerne l'idée que l'intensité de l'accélération augmenterait avec la hauteur au-dessus du sol. Cette interprétation erronée se manifeste par le choix incorrect d'une réponse qui suggère que la diminution de la vitesse serait causée par une accélération plus forte à mesure que l'objet gagne de l'altitude. Cette confusion révèle une mécompréhension fondamentale du concept d'accélération gravitationnelle, qui reste constante (environ  $9,8 \text{ m/s}^2$ ) dans les conditions normales à proximité de la surface terrestre. Selon Clement (1982), ce type de conception erronée provient souvent de l'assimilation incorrecte entre les variations de la vitesse et les variations de l'accélération. De plus, certaines expériences quotidiennes ou animations pédagogiques mal interprétées peuvent renforcer l'idée intuitive que plus un objet est haut, plus l'accélération est importante. Les résultats obtenus, présentés dans la Figure 4.20, montrent une augmentation du choix erroné de 9 % chez les élèves du groupe expérimental et de 6 % chez ceux du groupe témoin.

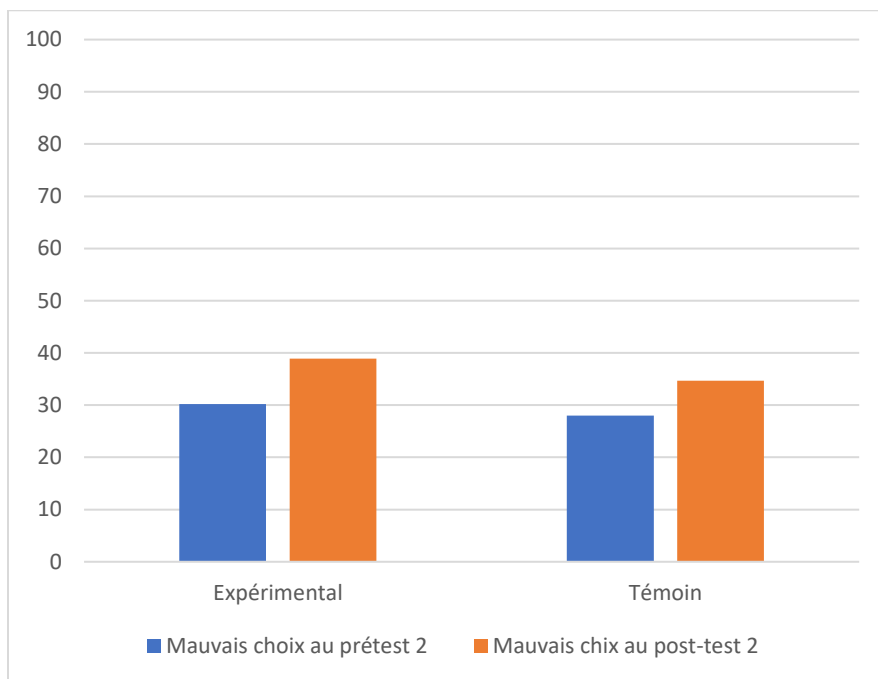


Figure 4.20 Comparaison du choix de la mauvaise réponse (2) à la question 13 entre les groupes expérimental et témoin

L'analyse des réponses à la question 14 (voir Figure 4.21) met en évidence une conception erronée fortement ancrée. Plus de 80 % des élèves des deux groupes ont répondu de manière incorrecte, et cette tendance s'est aggravée après l'enseignement. En effet, le pourcentage de réponse erronée a augmenté de 5,6 % dans le groupe expérimental et de 6 % dans le groupe témoin. Cette évolution suggère non seulement la persistance, mais aussi le renforcement de la conception erronée selon laquelle l'accélération d'un objet en chute libre devient nulle au sommet de sa trajectoire.

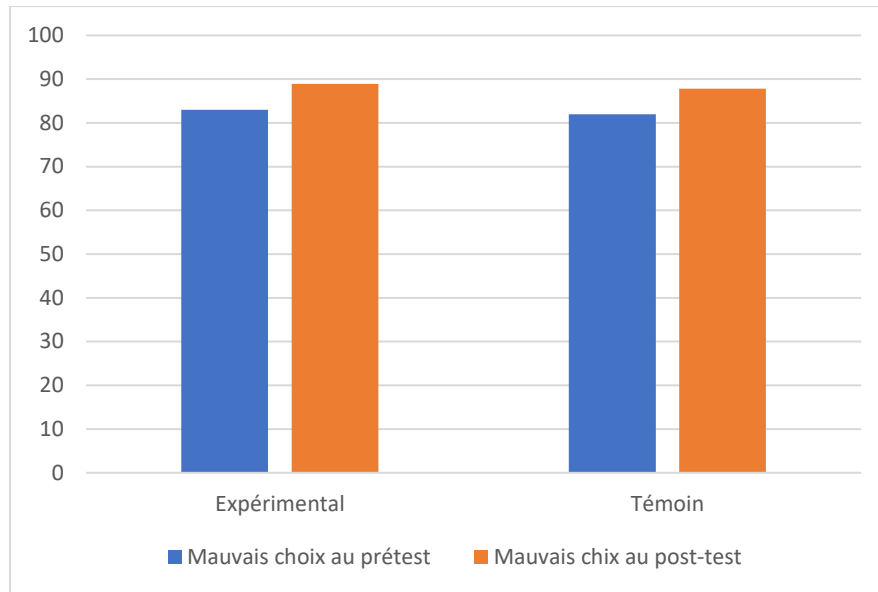


Figure 4.21 Comparaison du choix de la mauvaise option pour la question 14 entre les groupes expérimentaux et témoin

Les élèves présentent souvent la conception erronée selon laquelle l'accélération d'un objet lancé verticalement vers le haut devient nulle à son point culminant. À ce stade du mouvement, la vitesse instantanée de l'objet est effectivement égale à zéro. Toutefois, cette observation conduit certains apprenants à assimiler l'annulation de la vitesse à une absence de force motrice, ce qui les amène à conclure que l'accélération est également nulle, tandis que l'accélération gravitationnelle reste constante, dirigée vers le bas, avec une valeur d'environ  $9,81 \text{ m/s}^2$  (Halliday *et al.*, 2013).

Cette confusion est parfois amplifiée par des pratiques pédagogiques qui simplifient excessivement les notions de mouvement et négligent la distinction fondamentale entre la vitesse et l'accélération (Clément, 1982). Cette conception erronée est également observable dans la question 15, comme le montre la Figure 4.22.

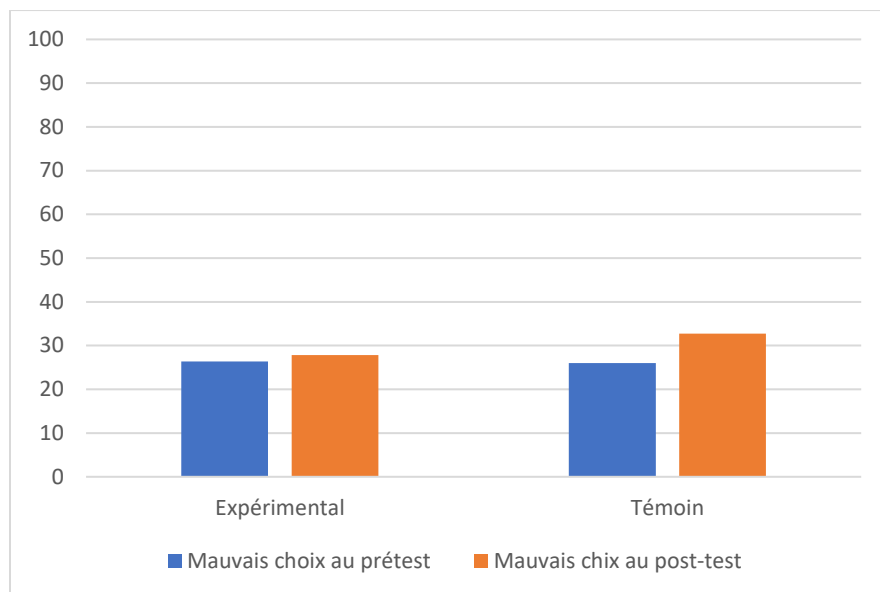


Figure 4.22 Comparaison du choix de la mauvaise option pour la question 15 entre les groupes expérimentaux et témoin

Elle est cohérente avec les résultats des questions 14 et 8, où la conception erronée repose également sur l'absence de distinction entre la vitesse et l'accélération. Les élèves interprètent les variations de vitesse comme étant directement liées aux variations d'accélération, sans prendre en compte la constance de cette dernière dans des situations comme la chute libre.

#### 4.4 Les limites de l'étude réalisée

Concernant la réponse aux questions de recherche, les limites suivantes sont importantes à considérer.

##### 4.4.1 Limitation liée à l'échantillon d'enseignants

Cette étude présente une limite importante liée au fait qu'un seul enseignant a été impliqué. Cette contrainte limite la possibilité de généraliser les résultats à d'autres contextes pédagogiques ou à des enseignants ayant des pratiques différentes. L'enseignant a participé sur une base volontaire, ce qui peut introduire un biais de sélection, potentiellement lié à sa motivation ou à sa familiarité avec l'innovation pédagogique testée. Une sélection aléatoire et une implication de plusieurs enseignants auraient permis de renforcer la validité externe de l'étude Creswell (2009). Cependant, l'utilisation d'un seul enseignant a également permis de garantir une plus grande homogénéité dans la mise en œuvre des interventions, réduisant ainsi les variables confondantes entre les groupes.

Par ailleurs, les résultats du prétest ont confirmé que les deux groupes présentaient un niveau de compréhension équivalent des concepts cinématiques avant l'intervention, renforçant la validité des comparaisons entre deux groupes.

#### **4.4.2 Faible taux de participation des élèves**

Malgré l'accessibilité du jeu via les Chromebooks fournis à chaque élève, la participation des élèves était faible. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette situation. D'abord, des ralentissements importants du jeu sur ces appareils ont été signalés, affectant l'expérience utilisateur. Un groupe expérimental a d'ailleurs subi une panne technique en milieu de semaine, réduisant leur temps de jeu d'environ une heure. Ensuite, le jeu ne sauvegardait pas les progrès d'une session à l'autre : les élèves devaient recommencer depuis le début chaque semaine, ce qui a probablement diminué leur engagement et leur motivation. Ces limites techniques soulignent l'importance de disposer d'un matériel adéquat et de fonctionnalités de suivi pour maximiser l'efficacité pédagogique des jeux numériques.

#### **4.4.3 L'intégration du jeu**

L'intégration du jeu dans les plans de cours a représenté l'un des défis majeurs de cette recherche. Bien que l'initiative ait démontré un certain potentiel, les conditions réelles d'enseignement ont limité sa mise en œuvre optimale. Comme le souligne Potvin (2018), l'année scolaire s'apparente souvent à « un tourbillon, un chaos bourdonnant qui pourtant avance inexorablement vers le mois de juin... On fait ainsi souvent passer l'urgent avant l'important » (p.1). Cette réalité rend difficile pour les enseignants de s'arrêter sur les concepts clés et d'exploiter pleinement les outils pédagogiques innovants, comme les jeux sérieux.

Par conséquent, les résultats observés dans cette étude ne reflètent pas nécessairement les gains potentiels que pourrait offrir une intégration plus structurée et réfléchie du jeu en classe. Des facteurs tels que la dynamique propre à chaque cours, la fréquence et la qualité des échanges autour du jeu, ou encore l'ordre pédagogique dans lequel les contenus sont abordés, influencent considérablement l'impact pédagogique du jeu.

## CONCLUSION

La présence accrue et généralisée des technologies informatiques dans la vie quotidienne des jeunes soulève la question de leur intégration au service de l'éducation, notamment à travers les logiciels éducatifs et les jeux sérieux, susceptibles d'enrichir l'apprentissage et de rendre les activités scolaires plus attrayantes. Toutefois, malgré les réformes pédagogiques, l'enseignement des sciences demeure souvent centré sur la transmission de conceptions et la résolution répétitive de problèmes, ce qui limite fortement l'engagement des élèves.

Dans ce contexte, la recherche en didactique a largement montré que les élèves entretiennent des conceptions initiales robustes et fréquemment erronées en physique mécanique. Issues du sens commun, ces conceptions constituent un frein majeur au changement conceptuel, lequel demeure difficile à provoquer dans le cadre d'un enseignement traditionnel.

Par ailleurs, bien que les jeux et simulations éducatifs apparaissent comme des outils prometteurs pour stimuler l'engagement et faciliter l'apprentissage, les résultats empiriques concernant leur efficacité restent ambigus. Ces incertitudes s'expliquent en partie par des limites méthodologiques, mais aussi par le fait que les jeux conçus pour l'école sont rarement perçus comme véritablement ludiques et peinent à transposer efficacement les théories de l'éducation dans un format motivant. De plus, la littérature souligne à la fois le manque de recherches solides permettant d'évaluer leur impact réel et la conception parfois sous-optimale des jeux existants, qui n'exploitent pas pleinement le potentiel de ce média. À cela s'ajoute le manque d'attrait des formations scientifiques, qui contribue à la diminution des inscriptions dans les programmes d'études de ces champs disciplinaires, malgré un marché du travail favorable.

C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente recherche. Elle vise à combler ces lacunes de données scientifiques en explorant l'utilisation d'un jeu vidéo éducatif spécifiquement conçu pour l'enseignement de la physique mécanique, et plus particulièrement de la cinématique. L'objectif est de déterminer si un tel outil peut réellement soutenir l'apprentissage des concepts en cinématique et offrir un avantage tangible par rapport à un enseignement traditionnel.

La littérature sur les jeux sérieux et les simulations éducatives en sciences met en évidence leur potentiel didactique. Par leur dimension interactive, immersive et ludique, ils favorisent la motivation, l'engagement cognitif et le changement conceptuel, tout en permettant d'explorer des phénomènes complexes difficilement accessibles en contexte scolaire traditionnel.

Ce travail s'appuie sur le paradigme constructiviste et met l'accent sur la notion de changement conceptuel. Les principaux modèles issus de ce paradigme soulignent le rôle incontournable des conceptions initiales dans l'apprentissage scientifique. Celles-ci, bien qu'erronées d'un point de vue scientifique, jouent un rôle central dans l'acquisition de nouvelles connaissances, en constituant à la fois des obstacles, lorsqu'elles fonctionnent comme des réflexes inhibiteurs et des leviers, lorsqu'elles servent d'amorce à une séquence pédagogique favorisant l'apprentissage.

Leur résistance au changement rend donc essentiel le diagnostic et l'évaluation des conceptions initiales. Dans le domaine de la mécanique newtonienne, plusieurs tests validés ont été développés à cet effet, notamment le *Force Concept Inventory* (FCI), le *Kinematics Concept Test* (KCT), le *Force and Motion Conceptual Evaluation* (FMCE) et le *Force, Velocity, Acceleration Test* (FVA). Dans cette recherche, un instrument composé de quinze questions a été construit à partir de ces outils, ciblant spécifiquement sept concepts fondamentaux et sept conceptions erronées fréquemment observées en cinématique.

Ainsi, la présente recherche a pour but d'examiner de manière empirique l'apport d'un jeu vidéo éducatif conçu spécifiquement pour l'enseignement de la cinématique. Elle cherche à déterminer si ce type d'outil peut contribuer à un apprentissage plus profond des concepts de la mécanique newtonienne. Plus précisément, deux questions guidaient la recherche, d'une part, l'examen de l'effet du jeu sur les gains conceptuels par rapport à un enseignement traditionnel, et d'autre part, l'analyse de son influence sur la persistance ou la correction des conceptions erronées.

La méthodologie adoptée dans ce mémoire reposait sur une approche empirique quantitative de type quasi-expérimental. Deux groupes d'élèves de cinquième secondaire ont été comparés. La population totale de 117 élèves a été répartie en quatre classes, formant ainsi un groupe expérimental, ayant bénéficié d'un enseignement intégrant le jeu sérieux *La Remorqueuse de l'Espace* et un groupe témoin, ayant suivi uniquement un enseignement traditionnel.

Le déroulement expérimental prévoyait la passation d'un prétest et d'un post-test dans les deux groupes, permettant de comparer les gains conceptuels et l'évolution des conceptions erronées. L'analyse statistique a porté à la fois sur les résultats globaux, sur les catégories conceptuelles et sur les questions individuelles, ce qui a permis d'identifier les conceptions erronées persistantes et celles ayant été corrigées. Enfin, des considérations éthiques ont été respectées tout au long de la recherche, notamment la confidentialité et l'anonymat des participants, ainsi que le recueil d'un consentement éclairé.

Les résultats de cette recherche montrent que l'utilisation du jeu *La Remorqueuse de l'Espace* a eu un effet positif sur l'apprentissage des élèves en cinématique. Dans l'ensemble, le groupe expérimental a obtenu de meilleurs gains moyens au post-test que le groupe témoin, confirmant ainsi la première hypothèse de l'étude. Bien qu'une légère amélioration des performances ait été observée chez les élèves-joueurs, celle-ci n'a pas atteint le seuil de signification statistique ( $p > 0.05$ ), indiquant que l'intégration du jeu seule ne garantit pas une augmentation immédiate et mesurable des notes.

Toutefois, l'analyse approfondie a mis en évidence le rôle du jeu dans le changement conceptuel. L'examen des mauvais choix les plus fréquemment observés, au-delà du seuil de 20 %, a confirmé que plusieurs erreurs sont attribuables à des conceptions robustes, partagées par de nombreux élèves. Par exemple, plusieurs conceptions erronées se sont révélées particulièrement persistantes, notamment celles liées à la distinction entre la vitesse et l'accélération surtout dans le thème de la chute libre. En revanche, l'analyse détaillée des conceptions erronées a mis en évidence certains progrès dans la distinction entre les concepts clés, tels que la différenciation entre la position et la vitesse ou entre le déplacement et la distance parcourue.

Ces observations rejoignent les conclusions de McDermott *et al.* (1987) et de Potvin (2018), qui soulignent que la remédiation conceptuelle ne peut se limiter à une activité interactive. Elle nécessite un cadre pédagogique structuré, comprenant des discussions guidées, des rétroactions ciblées et un temps suffisant pour permettre aux élèves de reconstruire leurs représentations. Dans cette optique, le jeu sérieux apparaît davantage comme un outil de soutien et de motivation que comme une stratégie autonome de changement conceptuel. Il importe de mentionner certaines limites de la présente recherche telles que l'échantillon restreint à un seul enseignant, la

participation variable des élèves, les contraintes techniques et l'intégration partielle du jeu qui limite la généralisation des résultats. Les résultats de la recherche montrent aussi la nécessité d'envisager des dispositifs plus complets, dans lesquels le jeu est intégré à une séquence didactique planifiée et accompagné de conditions matérielles adéquates.

Sur le plan pédagogique, une approche hybride combinant le jeu sérieux à des activités régulières de classe pourrait accroître l'efficacité de l'apprentissage. Cette combinaison favoriserait à la fois la motivation des élèves et l'ancrage des connaissances. Sur le plan scientifique, il serait pertinent de poursuivre les recherches avec des échantillons plus larges, impliquant plusieurs enseignants et divers contextes scolaires. L'utilisation de méthodes mixtes, alliant des analyses quantitatives et qualitatives, permettrait de mieux cerner l'impact réel des jeux sérieux sur le long terme. Enfin, il serait également intéressant d'explorer l'articulation des jeux éducatifs avec d'autres approches innovantes, comme l'apprentissage par projet ou les approches numériques en enseignement, afin de construire des dispositifs d'enseignement cohérents et durables.

ANNEXE A  
POST-TEST SUR LA CINÉMATIQUE

# Post-test sur la cinématique


Prénom :	_____
Nom :	_____
Groupe :	_____
Date :	_____ Février 2025

Ce questionnaire s'inscrit dans le cadre de recherches menées à l'*Université du Québec à Montréal* sur l'apprentissage des sciences à l'école secondaire. Il vise à connaître l'état de vos connaissances en cinématique. Ce n'est pas un examen et le résultat ne sera pas pris en compte pour votre évaluation dans le cadre du cours de physique.

TOUTEFOIS, Il est très important de faire de votre mieux et de tenter de produire les meilleures réponses possibles, afin que le projet puisse obtenir le portrait le plus fidèle possible de vos connaissances.

😊 Merci de votre participation à ce projet ! 😊

Consigne : Lisez attentivement chacune des quinze questions. Chacune d'elles est suivie de plusieurs options de réponse. Pour chaque question, encerclez la réponse que vous croyez être la bonne. N'encerclez qu'une seule option pour chaque question.

 Avant de commencer le test, nous aimerions en savoir un peu plus sur votre expérience du jeu vidéo "La remorqueuse de l'espace".  
Merci de répondre aux questions suivantes :

A. Combien d'étapes avez-vous déjà complétés dans ce jeu ?

- 1 à 5 étapes
- 6 à 10 étapes
- 11 à 15 étapes
- 15 à 20 étapes
- Plus de 20 étapes

B. En moyenne, combien de temps avez-vous passé à jouer à ce jeu par semaine, durant les dernières semaines?

- Moins de 1 heure,
- 1 à 2 heures
- 2 à 3 heures
- 3 à 4 heures
- 5 à 8 heures
- Plus de 8 heures

 Merci beaucoup pour vos réponses ! Bonne chance pour le test !

1. Les positions de deux blocs à des intervalles de temps successifs de 0,20 seconde sont représentées par les carrés numérotés dans la figure ci-dessous. Les blocs se déplacent vers la droite. Les blocs ont-ils déjà la même vitesse ?

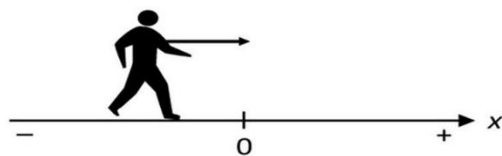


- (A) Non.
- (B) Oui, à l'instant 2.
- (C) Oui, à l'instant 5.
- (D) Oui, aux instants 2 et 5.
- (E) Oui, à un moment donné entre les instants 3 et 4.

2. Lorsqu'une personne est en train de marcher autour d'une piste d'athlétisme, quelle affirmation est toujours correcte concernant le déplacement et la distance parcourue par cette personne ?

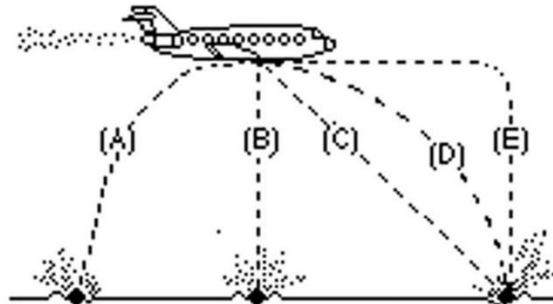
- (A) La grandeur de la distance parcourue est égale à la circonférence de la piste, tandis que le déplacement est nul.
- (B) La distance parcourue est nulle, tandis que la grandeur du déplacement est égale à la circonférence de la piste.
- (C) La distance parcourue et le déplacement sont toujours identiques, quel que soit le chemin emprunté.
- (D) La grandeur de la distance parcourue est toujours supérieure ou égale à la grandeur du déplacement.
- (E) Le déplacement est toujours positif, tandis que la distance parcourue peut être négative ou positive.

3. Joe marche à une vitesse constante le long de l'axe des coordonnées. Sa marche est représentée dans la figure ci-dessous. Laquelle des affirmations concernant la vitesse de Joe décrit le mieux la situation ?



- (A) La vitesse est nulle.
- (B) La vitesse est toujours négative.
- (C) La vitesse est d'abord négative, puis positive.
- (D) La vitesse est toujours positive.
- (E) Il n'est pas possible de déterminer le signe (positif ou négatif) de la vitesse.

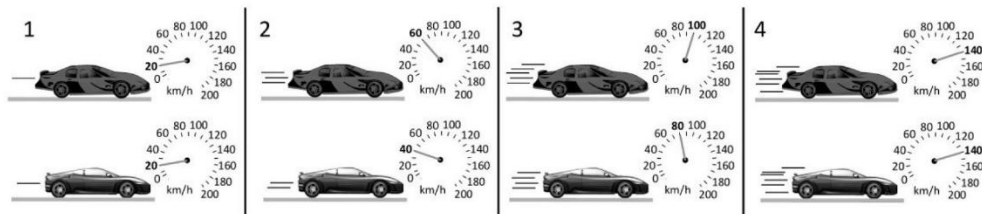
4. Une boule de bowling tombe accidentellement du compartiment à bagages d'un avion commercial qui vole en ligne droite. Selon l'observation d'une personne se tenant au sol et voyant l'avion comme indiqué dans la figure ci-dessous, quel chemin la boule de bowling suivra-t-elle le plus fidèlement après avoir quitté l'avion ?



5. La direction de l'accélération d'un objet est vers la droite. Que pouvez-vous dire sur le mouvement de l'objet à ce moment-là ?

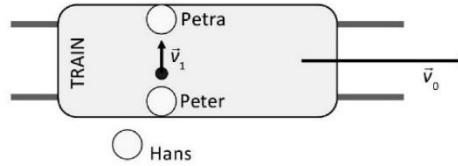
- (A) Il se déplace vers la droite et sa vitesse augmente.
- (B) Il se déplace vers la droite et sa vitesse diminue.
- (C) Il se déplace vers la gauche.
- (D) Les options A et B sont possibles.
- (E) Les options A et C sont possibles.

6. Deux voitures se déplacent en ligne droite le long d'une route horizontale. Les valeurs des compteurs de vitesse des voitures à des intervalles de temps constants sont indiquées dans la figure ci-dessous. Y a-t-il un instant où les deux voitures ont la même accélération ?



- (A) Non.
- (B) Oui, à l'instant 1.
- (C) Oui, aux instants 1 et 4.
- (D) Oui, à un moment donné durant l'intervalle 1 à 2.
- (E) Oui, à un moment donné durant l'intervalle 2 à 3.

7. Peter voyage dans un train qui se déplace à une vitesse constante  $V_0$ . Il roule une balle vers Petra, dans le compartiment à côté de lui. La balle se déplace perpendiculairement à la direction du mouvement à une vitesse  $V_1$  par rapport au train. Hans se tient à côté des voies ferrées et regarde le train passer. Quelle est la vitesse de la balle par rapport à Hans ?



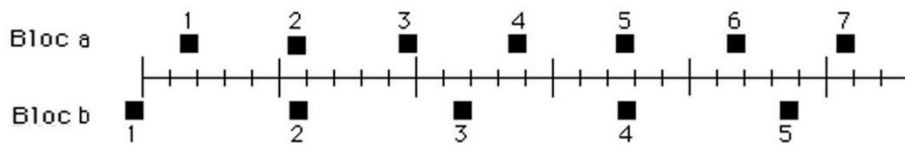
- (A) C'est  $V_0$ .
- (B) C'est  $V_1$ .
- (C) Elle est supérieure à  $V_0$  et  $V_1$ , mais inférieure à la somme de  $V_0$  et  $V_1$ .
- (D) C'est la somme de  $V_0$  et  $V_1$ .
- (E) Aucune de ces réponses. La vitesse de la balle est indépendante de  $V_0$  et  $V_1$

8. Une voiture se déplace vers la gauche et sa vitesse diminue pendant son mouvement. Laquelle des affirmations suivantes décrit le mieux l'accélération de la voiture ?



- (A) L'accélération est dirigée vers la gauche.
- (B) L'accélération est dirigée vers la droite.
- (C) La direction de l'accélération n'est pas définie.
- (D) L'accélération n'a pas de direction.
- (E) L'accélération est nulle.

9. Les positions de deux blocs à des intervalles de temps successifs de 0,20 seconde sont représentées par les carrés numérotés dans la figure ci-dessous. Les blocs se déplacent vers la droite. Les accélérations des blocs sont liées comme suit :



- (A) L'accélération du bloc « a » est supérieure à l'accélération du bloc « b ».
- (B) L'accélération du bloc « a » est égale à l'accélération du bloc « b ». Les deux accélérations sont supérieures à zéro.
- (C) L'accélération du bloc « b » est supérieure à l'accélération du bloc « a ».
- (D) L'accélération du bloc « a » est égale à l'accélération du bloc « b ». Les deux accélérations sont nulles.
- (E) Les informations fournies ne suffisent pas pour répondre à la question.

10. Deux locomotives se déplacent dans la même direction sur une voie horizontale. Les positions des locomotives à des intervalles de temps successifs de 1,0 seconde sont représentées par les blocs numérotés dans la figure ci-dessous. Y a-t-il un moment où les deux locomotives ont la même vitesse?



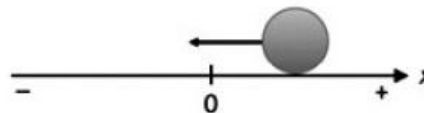
- (A) Non.
- (B) Oui, à l'instant 3.
- (C) Oui, à l'instant 6.
- (D) Oui, aux instants 3 et 6.
- (E) Oui, à un moment donné pendant l'intervalle 4 à 5.

11. Un hélicoptère s'approche pour un atterrissage. Il se déplace verticalement vers le bas avec une vitesse (par rapport au sol) décroissante. Laquelle des affirmations décrit le mieux l'accélération de l'hélicoptère ?



- (A) L'accélération est nulle.
- (B) L'accélération est dirigée vers le bas.
- (C) L'accélération est dirigée vers le haut.
- (D) La direction de l'accélération n'est pas définie.
- (E) L'accélération est horizontale.

12. Une balle roule à une vitesse constante vers la gauche. L'axe des coordonnées est défini comme indiqué dans la figure ci-dessous. Laquelle des affirmations décrit le mieux la vitesse de la balle ?



- (A) La vitesse est nulle.
- (B) La vitesse est toujours positive.
- (C) La vitesse est d'abord positive, puis négative.
- (D) La vitesse est toujours négative.
- (E) Il n'est pas possible de déterminer le signe (positif ou négatif) de la vitesse.

Les questions **13-15** se rapportent à une pièce qui est lancée verticalement vers le haut. Après avoir été relâchée, elle monte, atteint son point le plus élevé et redescend. Utilisez l'un des choix de réponse pour décrire l'accélération de la pièce durant chaque phase du mouvement décrite dans chacune des questions ci-dessous.

**13.** Lorsque la pièce se déplace vers le haut après avoir été relâchée... (complétez).

- (A) ... l'accélération est vers le bas et constante.
- (B) ... l'accélération est vers le bas et diminue.
- (C) ... l'accélération est nulle.
- (D) ... l'accélération est vers le haut et constante.
- (E) ... l'accélération est vers le haut et augmente.

**14.** La pièce est à son point le plus élevé... (complétez).

- (A) ... l'accélération est vers le bas et constante.
- (B) ... l'accélération est vers le bas et diminue.
- (C) ... l'accélération est nulle.
- (D) ... l'accélération est vers le haut et constante.
- (E) ... l'accélération est vers le haut et augmente.

**15.** La pièce se déplace vers le bas... (complétez).

- (A) ... l'accélération est vers le bas et constante.
- (B) ... l'accélération est vers le bas et diminue.
- (C) ... l'accélération est nulle.
- (D) ... l'accélération est vers le haut et constante.
- (E) ... l'accélération est vers le haut et augmente.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adams, D. M., Pilegard, C. et Mayer, R. E. (2016). Evaluating the cognitive consequences of playing *Portal* for a short duration. *Journal of Educational Computing Research*, 54(2), 173-195. <https://doi.org/10.1177/0735633115620431>
- Aguirre, J. M. (1988). Student preconceptions about vector kinematics. *The Physics Teacher*, 26(4), 212-216. <https://doi.org/10.1119/1.2342490>
- Anderson, J. et Barnett, M. (2011). Using video games to support pre-service elementary teachers learning of basic physics principles. *Journal of Science Education and Technology*, 20(4), 347-362. <https://doi.org/10.1007/s10956-010-9257-0>
- Appova, A. et Berezovski, T. (2013, 21-23 février). Commonly identified students' misconceptions about vectors and vector operations. Dans S. Brown, G. Karakok, K. Hah Roh et M. Oehrtman (dir.), *Proceedings of the 16<sup>th</sup> annual conference on Research in Undergraduate Mathematics Education (RUME)*, Denver, Colorado (Vol. 2, p. 8-17). <http://sigmaa.maa.org/rume/RUME16Volume2.pdf>
- Astolfi, J.-P. (2002, 15 mai). *Les nouveaux « mots de l'apprendre »*. *Le métier d'enseignant entre deux figures professionnelles* [Conférence]. Journée des Préfets, Université Libre de Bruxelles (ULB). <http://jenn02as.free.fr/EPS/Agreg/E2/COURS%20E2/Astolfi.pdf>
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology : A cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston inc.
- Aziz, Z., Nor, S. H. M. et Rahmat, R. (2011). Teaching strategies to increase science subject achievement: Using videos for year five pupils in primary school. *World Applied Sciences Journal*, 14, 8-14. [https://www.idosi.org/wasj/wasj14\(LIDDL\)11/2.pdf](https://www.idosi.org/wasj/wasj14(LIDDL)11/2.pdf)
- Bada, S. O. et Olusegun, S. (2015). Constructivism learning theory: A paradigm for teaching and learning. *IOSR Journal of Research & Method in Education*, 5(6), 66-70. <https://iosrjournals.org/iosr-jrme/papers/Vol-5%20Issue-6/Version-1/I05616670.pdf>
- Beaufils, D. (2009). Le modèle et son phénoénographe. *Aster*, (48), 15-38. <https://doi.org/10.4267/2042/30419>
- Beaufils, D. et Richoux, B. (2003). Un schéma théorique pour situer les activités avec des logiciels de simulation dans l'enseignement de la physique. *Didaskalia*, (23), 9-38. <https://doi.org/10.4267/2042/23925>

- Beichner, R. J. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62(8), 750-162. <https://doi.org/10.1119/1.17449>
- Bélangier, M. (2008). *Du changement conceptuel à la complexification conceptuelle dans l'apprentissage des sciences* [Thèse de doctorat, Université de Montréal]. Papyrus. <https://doi.org/10.71781/5975>
- Beney, M. et Séré, M.-G. (2001). Entre réussir et comprendre ou de l'effet des consignes opératoires sur la compréhension des procédures de mesurage en TP de physique de premier cycle universitaire. *Didaskalia*, (19), 9-37. <https://doi.org/10.4267/2042/23907>
- Boucher-Genesse, F. (2012). *Étude de différentes utilisations d'un jeu vidéo éducatif conçu spécifiquement pour intervenir sur certaines conceptions en physique mécanique : Mécanika* [Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal]. Archipel. <https://archipel.uqam.ca/5833/1/M12631.pdf>
- Boucher-Genesse, F., Riopel, M. et Potvin, P. (2011, juin). Research results for Mecanika: A game to learn Newtonian concepts. Dans *Proceedings fo the 7<sup>th</sup> international conference on Games, learning and society* (p. 31-38). [https://www.researchgate.net/publication/262159576\\_Research\\_results\\_for\\_Mecanika\\_a\\_game\\_to\\_learn\\_Newtonian\\_concepts](https://www.researchgate.net/publication/262159576_Research_results_for_Mecanika_a_game_to_learn_Newtonian_concepts)
- Bourdieu, P. et Passeron, J. C. (1970). *La reproduction : éléments pour une théorie du système d'enseignement*. Les Édition de Minuit.
- Bransford, J. D., Brown, A. L. et Cocking, R. R. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience and school*. The National Academies Press.
- Brault Foisy, L.-M. (2013). *Comparaison de l'activité cérébrale de novices et d'experts en sciences lors de la réalisation d'une tâche en physique mécanique impliquant une conception fréquente* [Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal]. Archipel. <https://archipel.uqam.ca/6120/1/M13148.pdf>
- Brewer, P. R. et Ley, B. L. (2013). Whose science do you believe? Explaining trust in sources of scientific information about the environment. *Science Communication*, 35(1), 115-137. <https://doi.org/10.1177/1075547012441691>
- Charlot, B. (1997). *Du rapport au savoir: éléments pour une théorie*. Anthropos.
- Chi, M. T. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161-199. [https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402\\_1](https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402_1)

- Clark, D. B., Nelson, B. C., Chang, H.-Y., Martinez-Garza, M., Slack, K. et D'Angelo, C. M. (2011). Exploring Newtonian mechanics in a conceptually-integrated digital game: Comparison of learning and affective outcomes for students in Taiwan and the United States. *Computers & Education*, 57(3), 2178-2195. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.05.007>
- Clark, D. B., Nelson, B., Sengupta, P. et D'Angelo, C. (2009, 6-7 octobre). *Rethinking science learning through digital games and simulations: Genres, examples, and evidence* [Communication]. National research council workshop on gaming and simulations, Washington, DC.
- Clark, D. B., Tanner-Smith, E. E. et Killingsworth, S. S. (2015). Digital games, design, and learning: A systematic review and meta-analysis. *Review of Educational Research*, 86(1), 79-122. <https://doi.org/10.3102/0034654315582065>
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71. <https://doi.org/10.1119/1.12989>
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T. et Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59(2), 661-686. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004>
- Cook, T. D. et Campbell, D. T. (1979). *Quasi-experimentation: Design and analysis issues for field setting*. Rand Mc-Nally College.
- Creswell, J. W. (2009). *Research designs. Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3<sup>e</sup> éd.). SAGE.
- Davis, R. A. (2001). A cognitive-behavioral model of pathological Internet use. *Computers in Human Behavior*, 17(2), 187-195. [https://doi.org/10.1016/S0747-5632\(00\)00041-8](https://doi.org/10.1016/S0747-5632(00)00041-8)
- Demastes, S. S., Good, R. G. et Peebles, P. (1995). Students' conceptual ecologies and the process of conceptual change in evolution. *Science Education*, 79(6), 637-666. <https://doi.org/10.1002/sce.3730790605>
- Denzin, N. K. (2012). Triangulation 2.0. *Journal of Mixed Methods Research*, 6(2), 80-88. <https://doi.org/10.1177/1558689812437186>
- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2-3), 105-225. <https://doi.org/10.1080/07370008.1985.9649008>
- diSessa, A. A. (2000). *Changing minds: Computers, learning, and literacy*. MIT Press.

- diSessa, A. A. (2002). Why “conceptual ecology” is a good idea. Dans M. Limón et L. Mason (dir.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (p. 28-60). Kluwer Academic Publishers.
- diSessa, A. A. (2014). A history of conceptual change research: Threads and fault lines. Dans R. K. Sawyer (dir.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (2<sup>e</sup> éd., p. 88-108). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139519526.007>
- Dreyfus, A., Jungwirth, E. et Eliovitch, R. (1990). Applying the “cognitive conflict” strategy for conceptual change: Some implications, difficulties, and problems. *Science Education*, 74(5), 555-569. <https://doi.org/10.1002/sce.3730740506>
- Driscoll, M. P. (2000). *Psychology of learning for instruction*. Allyn & Bacon
- Driver, R. et Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5(1), 61-84. <https://doi.org/10.1080/03057267808559857>
- Driver, R. et Erickson, G. (1983). Theories-in-action: Some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, 10(1), 37-60. <https://doi.org/10.1080/03057268308559904>
- Durkheim, É. (1968). *Les formes élémentaires de la vie religieuse. Le système totémique en Australie* (5<sup>e</sup> éd.). Livre II : les croyances élémentaires. Les Presses universitaires de France. <http://dx.doi.org/doi:10.1522/cla.due.for2> (Ouvrage original publié en 1912)
- Emploi-Québec. (2021). *Guichet-emplois, physicien/physicienne au Canada, perspectives d'emploi*. <https://www.guichetemplois.gc.ca/rapportmarche/perspectives-profession/2524/ca;jsessionid=E150C11C00F0E9EECA489CD79CC8AD10.jobsearch74>
- Federation of American Scientists (FAS). (2006). *Harnessing the power of video games for learning*. Summit on Educational Games. <https://www.molecularjig.com/wp-content/uploads/2014/02/Summit-on-Educational-Games.pdf>
- Foisy, L. M. B., Potvin, P., Riopel, M. et Masson, S. (2015). Is inhibition involved in overcoming a common physics misconception in mechanics. *Trends in Neuroscience and Education*, 4(1-2), 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.03.001>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H. et Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the national academy of sciences*, 111(23), 8410-8415. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1073/pnas.1319030111>

- Funk J. B., Baldacci, H. B., Pasold T. et Baumgardner, J. (2004). Violence exposure in real-life, video games, television, movies, and the internet: Is there desensitization? *Journal of Adolescence*, 27(1), 23-39. <https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2003.10.005>
- Gaudreau, L. (2011). *Guide pratique pour créer et évaluer une recherche scientifique en éducation*. Guérin.
- Gersten, R., Fuchs, L. S., Compton, D., Coyne, M., Greenwood, C. et Innocenti, M. S. (2005). Quality indicators for group experimental and quasi-experimental research in special education. *Exceptional children*, 71(2), 149-164. <https://doi.org/10.1177/001440290507100202>
- Giessen, H. W. (2015). Serious games effects: An overview. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174, 2240-2244. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.881>
- Girard, C., Ecalle, J. et Magnan, A. (2013). Serious games as new educational tools: How effective are they? A meta-analysis of recent studies. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(3), 207-219. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2012.00489.x>
- Gönen, S. (2008). A study on student teachers' misconceptions and scientifically acceptable conceptions about mass and gravity. *Journal of Science Education and Technology*, 17(1), 70-81. <https://doi.org/10.1007/s10956-007-9083-1>
- Graeske, C. et Sjöberg, S. A. (2021). VR-technology in teaching: Opportunities and challenges. *International Education Studies*, 14(8), 76-83. <https://doi.org/10.5539/ies.v14n8p76>
- Gredler, M. E. (1996). Educational games and simulations: A technology in search of a (research) paradigm. Dans D. H. Jonassen (dir.), *Handbook of research for educational communications and technology: A project of the association for educational communications and technology* (p. 521–540). Simon & Schuster Macmillan.
- Guion, L. A., Diehl, D. C. et McDonald, D. (2011). Triangulation: establishing the validity of qualitative studies: FCS6014/FY394, Rev. 8/2011. *EDIS*, 2011(8), 1-3. <https://doi.org/10.32473/edis-fy394-2011>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Halliday, D., Resnick, R. et Walker, J. (2013). *Fundamentals of physics* (10<sup>e</sup> éd.). John Wiley & Sons.

- Halloun, I. (1997). Views about science and physics achievement: The VASS story. *AIP conference Proceedings*, 399(1), 605-614. <https://doi.org/10.1063/1.53156>
- Halloun, I. (2008). *Technologies de modélisation pour un apprentissage intelligible des sciences*. [Conférence]. Les TIC et l'émergence des stratégies technologiques dans l'enseignement supérieur, Université Antonine, Baabda, Liban.
- Halloun, I. et Hestenes, D. (1998). Interpreting VASS dimensions and profiles for physics students. *Science & Education*, 7(6), 553-577. <https://doi.org/10.1023/A:1008645410992>
- Harrison, A. G. et Treagust, D. F. (2001). Conceptual change using multiple interpretive perspectives: Two cases in secondary school chemistry. *Instructional Science*, 29(1), 45-85. <https://doi.org/10.1023/A:1026456101444>
- Hays, R. T. (2005, novembre). *The effectiveness of instructional games: A literature review and discussion* [Rapport technique] (n° 2005-004). <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA441935.pdf>
- Hestenes, D. (2006, 20-25 aout). Notes for a modeling theory of science, cognition and instruction. Dans E. van den Berg, T. Ellermeijer et O. Sloomen (dir.), *Proceedings of the GIREP conference 2006: Modeling in physics and physics education* (p. 34-65). University of Amsterdam. <https://www.iederkindeentalent.nl/wp-content/uploads/2012/06/Girep-Proceedings-CD.pdf>
- Hestenes, D. et Halloun, I. (1995). Interpreting the force concept inventory: A response to Huffman and Heller. *The Physics Teacher*, 33(8), 502-506. <https://doi.org/10.1119/1.2344278>
- Hestenes, D., Wells, M. et Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Honey, M. A et Hilton M. L. (dir.). (2011). *Learning science through computer games and simulations*. The National Academies Press. <https://ics.uci.edu/~wscacchi/GameLab/Recommended%20Readings/Learning-Science-Games-2011.pdf>
- Juan, A. A., Loch, B., Daradoumis, T. et Ventura, S. (2017). Games and simulation in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 14, Article 37. <https://doi.org/10.1186/s41239-017-0075-9>
- Kaewkhong, K., Mazzolini, A., Emarat, N. et Arayathanitkul, K. (2010). Thai high-school students' misconceptions about and models of light refraction through a planar surface. *Physics Education*, 45(1), Article 97. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/45/1/012>

- Khwanda, M. N. (2020, avril). Activities to enhance students' understanding of acceleration: Part A. *Journal of Physics: Conference Series*, 1512(1), Article 012016. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1512/1/012016>
- Klopfer, E., Osterweil, S. et Salen, K. (2009). *Moving learning games forward*. Education Arcade. [https://education.mit.edu/wp-content/uploads/2018/10/MovingLearningGamesForward\\_EdArcade.pdf](https://education.mit.edu/wp-content/uploads/2018/10/MovingLearningGamesForward_EdArcade.pdf)
- Koehler, M. J. et Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60-70. <https://citejournal.org/wp-content/uploads/2016/04/v9i1general1.pdf>
- Kollöffel, B. et de Jong, T. (2013). Conceptual understanding of electrical circuits in secondary vocational engineering education: Combining traditional instruction with inquiry learning in a virtual lab. *Journal of Engineering Education*, 102(3), 375-393. <https://doi.org/10.1002/jee.20022>
- Kuhn, T. S. (1962). *La structure des révolutions scientifiques*. Champs-Flammarion.
- Kuhn, T. S. (1997). *The structure of scientific revolutions* (4<sup>e</sup> éd.). University of Chicago Press.
- Kwok, S. (2018). Science education in the 21st century. *Nature Astronomy*, 2(7), 530-533. <https://dx.doi.org/10.14288/1.0369728>
- Lahire, B. (2005). *L'homme pluriel: les ressorts de l'action*. Armand Colin.
- Lamon, S. J. (2020). *Teaching fractions and ratios for understanding: Essential content knowledge and instructional strategies for teachers*. Routledge.
- Lawson, A. E. (1985). A review of research on formal reasoning and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(7), 569-617. <https://doi.org/10.1002/tea.3660220702>
- Léger, D., Beck, F., Godeau, E. et Richard, J.-B. (2012). La chute du temps de sommeil au cours de l'adolescence : résultats de l'enquête HBSC 2010 menée auprès des collégiens. *Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire*, (44-45), 515-517. <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/sommeil/documents/article/la-chute-du-temps-de-sommeil-au-cours-de-l-adolescence-resultats-de-l-enquete-hbsc-2010-menee-aupres-des-collegiens>
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Ablex Publishing Corporation.

- Lenhart, A., Kahne, J., Middaugh, E., Macgill, A. R., Evans, C. et Vitak, J. (2008, 16 septembre). *Teens, video games, and civics: Teens' gaming experiences are diverse and include significant social interaction and civic engagement* [Rapport]. Pew Research Center. [https://www.pewresearch.org/internet/wp-content/uploads/sites/9/media/Files/Reports/2008/PIP\\_Teens\\_Games\\_and\\_Civics\\_Report\\_FINAL.pdf.pdf](https://www.pewresearch.org/internet/wp-content/uploads/sites/9/media/Files/Reports/2008/PIP_Teens_Games_and_Civics_Report_FINAL.pdf.pdf)
- Lenihan, F. (2007). Computer addiction – A sceptical view. *Advances in Psychiatric Treatment*, 13(1), 31-33. <https://doi.org/10.1192/apt.bp.106.003004>
- Lichtenberger, A., Wagner, C., Hofer, S. I., Stern, E. et Vaterlaus, A. (2017). Validation and structural analysis of the kinematics concept test. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), Article 010115. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010115>
- Lyons, T. (2006). Different countries, same science classes: Students' experiences of school science in their own words. *International Journal of Science Education*, 28(6), 591-613. <https://doi.org/10.1080/09500690500339621>
- Ma, X., Jia, Y., Fan, C. et Jiang, X. (2021). An empirical study on improving the learning effect of physics experiments in high school by simulation experiment software. *Open Journal of Social Sciences*, 9(11), 309-331. <https://doi.org/10.4236/jss.2021.911023>
- Mayer, R. E. (2014). *Computer games for learning: An evidence-based approach*. MIT Press.
- McDermott, L. C. (1991). Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned—Closing the gap. *American Journal of Physics*, 59(4), 301-315. <https://doi.org/10.1119/1.16539>
- McDermott, L. C., Rosenquist, M. L. et Van Zee, E. H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), 503-513. <https://doi.org/10.1119/1.15104>
- Merki, E. B. (2025). *Evaluating an interactive 360-degree learning environment for Galilean transformation of uniform motion in graphs developed on the basis of analyzed peer discussions* [Thèse de doctorat, ETH Zurich]. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000738033>
- Miller, L. M., Chang, C. I., Wang, S., Beier, M. E. et Klisch, Y. (2011). Learning and motivational impacts of a multimedia science game. *Computers & Education*, 57(1), 1425-1433. <https://www.sfu.ca/~jcnabit/EDUC220/ThinkPaper/MillerChang2011.pdf>
- Mortimer, E. F. et Scott, P. H. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. McGraw-Hill Education.

- National Science Board. (2004). *Science and Engineering Indicators 2004* (Volumes 1 [NSB04-1] et 2 [NSB04-1A]). National Science Foundation.
- Nazry, N. N. M. et Romano, D. M. (2017). Mood and learning in navigation-based serious games. *Computers in Human Behavior*, 73(1), 596-604.  
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.03.040>
- Neidorf, T., Arora, A., Erberber, E., Tsokodayi, Y. et Mai, T. (2020). *Student misconceptions and errors in physics and mathematics: Exploring data from TIMSS and TIMSS advanced*. Springer.
- Ohlsson, S. (2009). Resubsumption: A possible mechanism for conceptual change and belief revision. *Educational Psychologist*, 44(1), 20-40.  
<https://doi.org/10.1080/00461520802616267>
- Ohlsson, S. (2013). Beyond evidence-based belief formation: How normative ideas have constrained conceptual change research. *Frontline Learning Research*, 1(2), 70-85.  
<https://doi.org/10.14786/flr.v1i2.58>
- Organisation de Coopération et de Développement économiques (OCDE). (2008). *Education at a Glance 2008: OECD Indicators*. <https://doi.org/10.1787/eag-2008-en>
- Organisation de Coopération et de Développement économiques (OCDE). (2025). *Education at a Glance 2025: OECD Indicators*. <https://doi.org/10.1787/1c0d9c79-en>
- Osborne, J., Simon, S. et Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079.  
<https://doi.org/10.1080/0950069032000032199>
- Papert, S. A. (2020). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas* (édition révisée). Basic Books.
- Park, H. J. (2007). Components of conceptual ecologies. *Research in Science Education*, 37(2), 217-237. <http://dx.doi.org/10.1007/s11165-006-9023-8>
- Peirce, C. S. (1878, janvier). How to make our ideas clear. *Popular Science Monthly*, (12), 286-302.  
<https://courses.media.mit.edu/2004spring/mas966/Peirce%201878%20Make%20Ideas%20Clear.pdf>
- Pelletier, M. L. et Demers, M. (1994). Recherche qualitative, recherche quantitative : expressions injustifiées. *Revue des sciences de l'éducation*, 20(4), 757-771.  
<https://doi.org/10.7202/031766ar>

- Philippon, A. et Spilka, S. (2019, octobre). *Levels of screen use at the end of adolescence in France in 2017* (Mémo n° 2019-02). <https://www.documentation-administrative.gouv.fr/adm-01858991v1/document>
- Phillips, D. C. (1995). The good, the bad, and the ugly: The many faces of constructivism. *Educational Researcher*, 24(7), 5-12. <https://doi.org/10.3102/0013189X024007005>
- Phillips, D. C. et Burbules, N. C. (2000). *Postpositivism and educational research*. Bloomsbury Academic.
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children* (M. T. Cook, trad.). International University Press.
- Piaget, J. (1957). *Construction of reality in the child*. Routledge; Kegan Paul.
- Popper, K. (2014). *Conjectures and refutations: The growth of scientific knowledge*. Routledge.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. et Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3-25. <https://doi.org/10.1080/00335558008248231>
- Potvin, P. (2012). Changement conceptuel et/ou réforme de l'éducation : l'enseignement de la science et de la technologie en contexte de changement de paradigme pédagogique. Dans C. Daviau, S. Cyr, P. Charland et A. Simbagoie (dir.), *Écoles en mouvements et réformes* (p. 65-80). De Boeck Supérieur.
- Potvin, P. (2017). The coexistence claim and its possible implications for success in teaching for conceptual "change". *European Journal of Science and Mathematics Education*, 5(1), 55-66. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1130001.pdf>
- Potvin, P. (2018). *Faire apprendre les sciences et la technologie à l'école. Épistémologie, didactique, sciences cognitives et neurosciences au service de l'enseignant*. Presses de l'Université Laval.
- Potvin, P. et Riopel, M. (2006). « More C; less B » : étude d'intuitions mobilisées par des élèves du secondaire en contexte d'exploration libre des lois de la mécanique. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 6(3), 245-266. <https://doi.org/10.1080/14926150609556701>

- Potvin, P., Malenfant-Robichaud, G., Cormier, C. et Masson, S. (2020). Coexistence of misconceptions and scientific conceptions in chemistry professors: A mental chronometry and fMRI study. *Frontiers in Education*, 5, Article 542458. <https://doi.org/10.3389/educ.2020.542458>
- Prensky, M. (2001). *Digital game-based learning*. McGraw-Hill Education.
- Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223-231. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>
- Putnam, H. et Mounce, H. O. (1996). "Pragmatism". *Philosophical Investigations*, 19(3), 264.
- Pyatt, K. et Sims, R. (2012). Virtual and physical experimentation in inquiry-based science labs: Attitudes, performance and access. *Journal of Science Education and Technology*, 21, 133-147. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9291-6>
- Ramlo, S. (2008). Validity and reliability of the force and motion conceptual evaluation. *American Journal of Physics*, 76(9), 882-886. <https://doi.org/10.1119/1.2952440>
- Rehman, N., Zhang, W., Mahmood, A. et Alam, F. (2021). Teaching physics with interactive computer simulation at secondary level. *Cadernos de Educação Tecnologia e Sociedade*, 14(1), 127-141. <https://doi.org/10.14571/brajets.v14.n1.127-141>
- Reuter, Y. (2007). La conscience disciplinaire. Présentation d'un concept. *Éducation et didactique*, (1-2), 55-71. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.175>
- Richter, K. et Kickmeier-Rust, M. (2025). Gamification in physics education: Play your way to better learning. *International Journal of Serious Games*, 12(1), 59-81. <https://doi.org/10.17083/ijsg.v12i1.858>
- Riopel, M., Nenciovici, L., Potvin, P., Chastenay, P., Charland, P., Sarrasin, J. B. et Masson, S. (2019). Impact of serious games on science learning achievement compared with more conventional instruction: An overview and a meta-analysis. *Studies in Science Education*, 55(2), 169-214. <https://doi.org/10.1080/03057267.2019.1722420>
- Rizzi, L. (2021). *Complexité des structures linguistiques, simplicité des mécanismes du langage*. Fayard.
- Rose, J. (2015). *The gamification of physics education: A controlled study of the effect on motivation on first year life sciences students* [Doctoral dissertation, University of Guelph]. <http://hdl.handle.net/10214/9197>

- Rosenblatt, R. et Heckler, A. F. (2011). Systematic study of student understanding of the relationships between the directions of force, velocity, and acceleration in one dimension. *Physical Review Physics Education Research*, 7(2), Article 020112. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.7.020112>
- Rosenblatt, R., Sayre, E. C. et Heckler, A. F. (2009, 29-30 juillet). Modeling students' conceptual understanding of force, velocity, and acceleration. *AIP Conference Proceedings*, 1179(1), 245-248. <https://doi.org/10.1063/1.3266727>
- Rousseau, J.-J. (1964). *Discours sur l'origine et les fondements de l'inégalité parmi les hommes*. Gallimard.
- Sánchez, J. et Olivares, R. (2011). Problem solving and collaboration using mobile serious games. *Computers & Education*, 57(3), 1943-1952. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.04.012>
- Saputro, S. D., Tamam, B., Rohmah, N., Saputro, A. K., Amil, A. J. U. et Salimi, M. (2025). Improving students' cognitive abilities and motivation in kinematics material through Egamerasi media. *Salud, Ciencia y Tecnologia*, 5, Article 1429. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20251429>
- Sauvé, L., Renaud, L., Kaufman, D. et Marquis, J. S. (2007). Distinguishing between games and simulations: A systematic review. *Journal of Educational Technology & Society*, 10(3), 247-256. <https://www.researchgate.net/publication/220374409>
- Shaffer, D. W., Squire, K. R., Halverson, R. et Gee, J. P. (2004). Video games and the future of learning. *The Phi Delta Kappan*, 87(2), 104-111. <https://doi.org/10.1177/003172170508700205>
- Sitzmann, T. et Ely, K. (2011). A meta-analytic examination of the instructional effectiveness of computer-based simulation games. *Personnel Psychology*, 64(2), 489-528. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.2011.01190.x>
- Smetana, L. K. et Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337-1370. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182>
- Sørensen, H. B. et Meyer, B. (2007, 24-28 septembre). *Serious Games in language learning and teaching – a theoretical perspective* [Communication]. Digital Games Research Association (DiGRA 2007) Conference, Tokyo, Japan. <https://doi.org/10.26503/dl.v2007i1.265>
- Stewart, J. (1985). Cognitive science and science education. *European Journal of Science Education*, 7(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/0140528850070101>

- Stewart, J., Zabriskie, C., DeVore, S. et Stewart, G. (2018). Multidimensional item response theory and the Force Concept Inventory. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), Article 010137. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010137>
- Swafford, J. et Bryan, J. (2000). Instructional strategies for promoting conceptual change: Supporting middle school students. *Reading and Writing Quarterly*, 16(2), 139-161. <https://doi.org/10.1080/105735600278006>
- Taşar, M. F. (2010). What part of the concept of acceleration is difficult to understand: The mathematics, the physics, or both? *ZDM*, 42(5), 469-482. <http://doi.org/10.1007/s11858-010-0262-9>
- Tejeda Torres, S. E. et Alarcon, H. (2012). A tutorial-type activity to overcome learning difficulties in understanding graphics in kinematics. *Latin American Journal of Physics Education*, 6(suppl. I), 285-289. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4143.0889>
- Thornton, R. K. (1996). Using large-scale classroom research to study student conceptual learning in mechanics and to develop new approaches to learning [Article de conférence]. Dans R. F. Tinker (dir.), *Microcomputer-Based Labs: Educational Research and Standards conference proceedings* (p. 89-114). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-61189-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-61189-6_5)
- Thornton, R. K. et Sokoloff, D. R. (1997, 10 mars). Realtime physics: Active learning laboratory. *AIP Conference Proceedings*, 399(1), 1101-1118. <https://doi.org/10.1063/1.53111>
- Toulmin, S. (1972, janvier). Rationality and scientific discovery. Dans *PSA: Proceedings of the Biennial meeting of the philosophy of science association* (Vol. 1972, p. 387-406). Springer Nature. <http://www.jstor.org/stable/3698983>
- Treagust, D. F. et Duit, R. (2009). Multiple perspectives of conceptual change in science and the challenges ahead. *Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia*, 32(2), 89-104. [http://recsam.edu.my/sub\\_JSMEESEA/images/journals/YEAR2009/dec2009vol2/89-104.pdf](http://recsam.edu.my/sub_JSMEESEA/images/journals/YEAR2009/dec2009vol2/89-104.pdf)
- Trowbridge, D. E. et McDermott, L. C. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 48(12), 1020-1028. <https://doi.org/10.1119/1.12298>
- Ullah, M., Amin, S. U., Munsif, M., Safaev, U., Khan, H., Khan, S. et Ullah, H. (2022). Serious games in science education. A systematic literature review. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 4(3), 189-209. <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2022.02.001>
- Université de Sherbrooke (2016). Marché du travail, Département de physique <https://www.usherbrooke.ca/physique/la-physique/marche-du-travail>

- van Zee, E. H. et McDermott, L. C. (1987, 26-29 juillet). *Investigation of student difficulties with graphical representations in physics* [Communication]. Second International Seminar in Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Cornell University, Ithaca, NY. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED293686.pdf#page=541>
- van der Linden, A. et van Joolingen, W. R. (2016, 3-4 décembre). A serious game for interactive teaching of Newton's laws. Dans Y. Cai et D. Thalmann (Chairs), *VRCAI'16: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Asia-Europe Symposium on Simulation & Serious Gaming, Shuhai, Chine* (p. 165-167). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3014033.3014040>
- van der Linden, A., Meulenbroeks, R. F. G. et van Joolingen, W. R. (2024). Learning Newtonian mechanics with an intrinsically integrated educational game. *Journal of Computer Assisted Learning*, 40(4), 1500-1510. <https://doi.org/10.1111/jcal.12966>
- van der Linden, A., Meulenbroeks, R. F. G. et van Joolingen, W. R. (2023). Implementing an intrinsically integrated game on Newtonian mechanics in the classroom: Outcomes in terms of conceptual understanding and transfer. *International Journal of Physics and Chemistry Education*, 17(2), 47-59. <https://doi.org/10.51724/ijpce.v17i2.364>
- Vogel, J. J., Vogel, D. S., Cannon-Bowers, J., Bowers, C. A., Muse, K. et Wright, M. (2006). Computer gaming and interactive simulations for learning: A meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 34(3), 229-243. <https://doi.org/10.2190/FLHV-K4WA-WPVQ-HOYM>
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90018-3)
- Vosniadou, S. (2002). On the nature of naïve physics. Dans M. Limón et L. Mason (dir.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (p. 61-76). Kluwer Academic Publishers.
- Wang, L.-H., Chen, B., Hwang, G.-J., Guan, J.-Q. et Wang, Y.-Q. (2022). Effects of digital game-based STEM education on students' learning achievement: A meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 9(1), Article 26.
- Wells, J., Henderson, R., Traxler, A., Miller, P. et Stewart, J. (2020). Exploring the structure of misconceptions in the force and motion conceptual evaluation with modified module analysis. *Physical Review Physics Education Research*, 16(1), Article 010121. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010121>
- Wieman, C. E. (2012). Applying new research to improve science education. *Issues in Science and Technology*, 29(1). <http://issues.org/29-1/carl/>

- Wouters, P., van Nimwegen, C., van Oostendorp, H. et van der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 249-265. <https://doi.org/10.1037/a0031311>
- Yuan, Y., Zhang, Z. et Zhao, Y. (2022, 26-28 février). Technology and education: A study of the impact of educational video games on physics teaching. Dans *2021 International Conference on Education, Language and Art (ICELA 2021)* (p. 382-387). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.220131.070>
- Zhonggen, Y. (2019). A meta-analysis of use of serious games in education over a decade. *International Journal of Computer Games Technology*, 2019, Article 4797032. <https://doi.org/10.1155/2019/4797032>