DOI : https://doi.org/10.26034/cm.iptic.2023.11737

LE JEU ET L'APPRENTISSAGE DES MATHÉMATIQUES AU PRIMAIRE : UN ENSEIGNEMENT BONIFIÉ PAR L'USAGE COMPLÉMENTAIRE D'UN ENVIRONNEMENT NUMÉRIQUE

Thomas Rajotte, Université du Québec à Rimouski, thomas_rajotte@uqar.ca;

Charlaine St-Jean, Université du Québec à Rimouski, , charlaine_st-jean@uqar.ca;

Marilyn Dupuis Brouillette, , marilyn_dupuisbrouillette@uqar.ca

et Émilie Boivin, Université du Québec à Rimouski, emilie_boivin@uqar.ca.

Résumé

Dans le cadre de cet article, une réflexion sera mise en œuvre afin d'approfondir le rôle complémentaire découlant de l'usage des jeux numériques pour des fins d'enseignement et d'apprentissage des mathématiques au primaire. Un regard spécifique sera porté à la plus-value et aux bénéfices pédagogiques découlant de l'utilisation de jeux numériques, présentés par le biais d'un support informatique. Les avantages et les défis découlant de la mise en œuvre de sept jeux numériques seront détaillés au regard des différents domaines des mathématiques au primaire, soit : l'arithmétique, la géométrie, la régularité et l'algèbre, la mesure ainsi que la statistique et les probabilités.

Positionnement sur le métro du jeu (Rebord et Rodrigues, 2017, repris par Rebord et Mabilon dans ce numéro)

Principalement situé sur la station « Jeux de règles » de la ligne *Jean Château (1908-1990)*, ce texte présentera quelques allers-retours avec la station « Jeux de hasard » de la ligne *Édouard Claparède (1873-1940).*

Ce positionnement à la station « Jeux de règles » se traduit par une présentation d'une diversité de jeux numériques en mathématiques répondant aux différentes caractéristiques du jeu de règles (règles, but, système, dimension ludique, activité mathématique). Par ailleurs, les allers-retours avec la station « Jeux de hasard » de la ligne Édouard Claparède se justifient par la présentation d'un simulateur d'expériences aléatoires visant à développer la pensée probabiliste des joueurs impliqués.

Mots-clés : jeu numérique, mathématiques, apprentissage, enseignement, primaire.

Introduction

Au courant des dernières décennies, l'utilisation pédagogique des technologies de l'information et de la communication (TIC) est devenue un sujet de préoccupation qui a amené les décideurs politiques à mettre en place le *Plan d'action numérique en éducation et en enseignement supérieur* (Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur [MEES] du Québec, 2018) afin de reconnaître le rôle du numérique dans la réussite éducative des élèves. Ainsi, de manière à offrir aux jeunes de nouvelles façons d'apprendre, de communiquer, de partager, de collaborer, ce *Plan d'action* a comme objectif premier de créer un environnement propice au déploiement du numérique à des fins pédagogiques, de l'exploiter comme valeur ajoutée, et ce, en permettant de bonifier les pratiques d'enseignement et d'apprentissage. La pierre d'assise de la mise en œuvre de ce plan ministériel se rapporte à la formation ainsi qu'à l'accompagnement des enseignants et de l'ensemble du personnel scolaire.

Afin d'atteindre cet objectif rassembleur, il est demandé aux institutions universitaires québécoises de s'assurer que les programmes de formation (initiale et continue) à l'enseignement soutiennent le développement de la douzième compétence professionnelle associée à la mobilisation du numérique dans le milieu scolaire (MEES, 2020). Par une considération du contexte culturel à l'intérieur duquel elles sont partagées, l'utilisation des technologies numériques est mobilisée, de manière transversale, dans la totalité des pratiques enseignantes. La vision sous-jacente au développement de cette compétence professionnelle se rapporte à une intégration efficace et à une exploitation optimale du numérique au service de la réussite de tous les citoyens dans le but de développer et de maintenir leurs compétences tout au long de leur vie (MEES, 2018).

1. Les apports du numérique sur la réussite éducative

Différentes recherches soutiennent les décisions gouvernementales quant à la mise en œuvre d'un virage numérique dans le système scolaire. Cela se justifie notamment par le fait que des effets des TIC ont été relevés au regard de différentes sphères sous-jacentes au développement des élèves.

Concernant le développement socioaffectif, Karsenti et ses collaborateurs (2005) ont relevé un impact des TIC sur le plaisir d'apprendre, l'estime de soi ainsi que sur les aptitudes au travail collaboratif. Ensuite, Ponce et ses collaborateurs (2012) ont relevé un effet des TIC sur les habiletés en littératie des élèves. Pour leur part, Güzeller et Dogru (2011) dégagent un apport des TIC dans le domaine des sciences. Enfin, les TIC peuvent aussi être utilisées afin de développer les habiletés en mathématiques des élèves intégrant des classes régulières (Pilli et Aksu, 2013) et plus particulièrement celles des élèves ayant des besoins particuliers (Li et Ma, 2010). Le Conseil National des Enseignants en Mathématiques (2008) corrobore ces propos en soulignant l'importance d'intégrer les ordinateurs dans les classes de mathématiques, et ce, dans le but d'enrichir la qualité de l'enseignement ainsi que de contribuer au potentiel d'apprentissage des élèves en donnant du sens à diverses notions mathématiques difficiles à assimiler, et ce tout en augmentant la motivation des élèves (Juric et al. 2021; National Council of Teachers of Mathematics [NCTM], 2008).

Une revue critique des méta-analyses traitant des apprentissages scolaires et des technologies numériques, dirigée par Leroux et ses collaborateurs (2017), a permis de relever que les effets bénéfiques de l'usage des technologies apparaissent davantage importants en mathématiques et en sciences par rapport à la lecture ou à l'écriture. Selon ces auteurs, les apports du numérique sur le plan des apprentissages pourraient s'expliquer par l'effet médiateur de la motivation. Par ailleurs, il est mentionné que l'utilisation spécifique des jeux numérique [1] peut engendrer une plus-value sur le plan des possibilités d'apprentissage qui vont au-delà des effets bénéfiques de la motivation scolaire (Wouters et al. 2013).

2. L'utilisation des jeux numériques dans l'enseignement : regard issu de deux paradigmes qui s'opposent

Bien que l'utilisation des jeux numériques puisse constituer une valeur ajoutée à la qualité de l'enseignement dispensé dans les classes du primaire (MEES, 2018), il importe de rappeler que les bienfaits sous-jacents à l'utilisation de ce média ne pourront émerger que si la planification des activités d'enseignement, reposant sur celui-ci, est réalisée de manière rigoureuse. Pour dégager l'importance de

[1] Traduction libre de « serious games » tel qu'utilisé dans le cadre de l'étude de Wouters et al. (2013).

considérer la qualité de la planification pédagogique concernant l'utilisation des jeux numériques, il est pertinent de se référer aux contradictions idéologiques soulignées par Karsenti et Collin (2011) concernant l'usage pédagogique des TIC. À cet effet, en se référant aux écrits scientifiques abordant les TIC, il est possible de relever deux paradigmes qui s'opposent. La conception issue du premier paradigme se rapporte à une perspective déterministe de l'enseignement par les TIC. Cette approche, qui a dominé les recherches et les pratiques des technologies en éducation au début du 21e siècle (Collin et Karsenti, 2012 ; Selwyn, 2010), considère que la simple utilisation pédagogique des TIC engendre nécessairement des effets sur le développement de l'enfant. Les principales conséquences de cette perspective sont de sous-estimer la contribution de l'enseignant au regard de la qualité des apprentissages (Selwyn, 2012) et de ne pas distinguer les usages technologiques en éducation ainsi que les usages éducatifs des technologies permettant de donner du sens à un savoir spécifique (Furlong et Davies, 2012).

Par ailleurs, le paradigme en opposition avec cette conception des technologies se rapporte à la perspective socioculturelle. Selon Collin et Karsenti (2012), les tenants de cette perspective reconnaissent la responsabilité et le rôle des acteurs éducatifs dans la mise en œuvre de situations pédagogiques impliquant les technologies. L'adoption de cette approche vise non pas la réalisation d'activités conventionnelles (de type « papier- crayon »), mais plutôt d'un enseignement signifiant des mathématiques permettant une compréhension profonde des concepts en jeu par le biais de manipulations virtuelles (Barmby et al. 2009). De plus, dans la visée de cette approche, en effectuant un usage réfléchi des TIC, Karsenti et Fiévez (2014) mentionnent que l'enseignant peut faire preuve d'innovation dans son acte d'enseigner et ainsi piloter des activités pédagogiques qu'il n'aurait pas été apte à diriger sans l'apport des technologies.

3. L'utilisation du jeu numérique dans une perspective socioculturelle

Considérant le potentiel spécifique sous-jacent à l'utilisation des jeux numériques sur la réussite éducative des élèves (Wouters et al. 2013), nous nous sommes intéressés aux conditions particulières permettant d'innover et de favoriser une compréhension riche et profonde des concepts issus du domaine des mathématiques. En adoptant une perspective socioculturelle de l'enseignement, par ce texte, nous poursuivons l'objectif de décrire de quelle manière certains jeux numériques peuvent être utilisés afin de permettre aux enseignants de piloter des activités pédagogiques qui ne pourraient pas être réalisées sans l'usage des technologies.

Plus spécifiquement, dans le cadre de cet article, nous approfondirons sept jeux numériques se rapportant aux différents domaines des mathématiques, soit : l'arithmétique, la géométrie, la mesure, la statistique et les probabilités ainsi que les régularités et l'algèbre. Cette analyse approfondie des jeux numériques permettra de relever la plus-value et les bénéfices pédagogiques découlant de l'utilisation de ceux-ci. De plus, afin de permettre aux enseignants de réaliser un choix éclairé quant aux jeux numériques pouvant être utilisés, cet article pose aussi un regard sur les freins et les défis découlant de l'implantation des jeux au sein des salles de classe.

4. Regard sur sept jeux numériques permettant de consolider les apprentissages en mathématiques

Dans le cadre des prochaines sections, sept jeux numériques seront présentés. La sélection de ceux-ci découle de leur apport spécifique quant à l'acquisition de concepts et processus relevant de différents domaines des mathématiques.

4.1 La calculatrice défectueuse : une plus-value à l'enseignement des stratégies de calcul mental

Dans le but de développer les stratégies de calcul mental, le jeu La calculatrice défectueuse peut être utilisé dans les classes du primaire. Le fonctionnement du jeu est relativement simple. Les joueurs doivent trouver le plus grand nombre de façons de réaliser une opération arithmétique dans un délai imparti (par exemple, dans un délai de 45 secondes, trouver le plus grand nombre de manières de réaliser l'opération 35 x 40). La principale contrainte associée à la réalisation du jeu La calculatrice

défectueuse découle du fait qu'une ou plusieurs touches du jeu sont inaccessibles (par exemple, pour effectuer l'opération 35 x 40, les élèves ne peuvent pas utiliser la touche « 4 » sur la calculatrice). Cette contrainte de la tâche force les élèves à mettre en œuvre différentes stratégies de calcul mental ainsi qu'à appliquer la propriété de la distributivité afin de relever le plus grand nombre possible de solutions à une opération proposée (Rajotte et al. 2021). Voici trois exemples de solutions proposées par des élèves afin de réaliser l'opération 35 x 40 sans utiliser la touche « 4 » :

1) 35 x (20 x 2) = 1400;
2) 35 x (10 x 2 x 2) = 1400;
3) 35 x (80 ÷ 2) = 1400.

Figure 1. Exemple d'une calculatrice défectueuse restreignant l'utilisation de la touche « 7 » [image tirée de Rajotte et al. (2021)]



Source : Shany Muchnik/Shutterstock.com

Le site Internet suivant permet d'utiliser gratuitement le jeu de La calculatrice défectueuse https://www.mathsisfun.com/games/broken-calculator.html. Le fait d'utiliser une version numérique du jeu engendre différents avantages sur le plan pédagogique qu'il n'est pas possible d'obtenir en travaillant uniquement avec une calculatrice traditionnelle. Ceux-ci sont énumérés à l'intérieur du tableau 1.

Tableau 1. Bénéfices pédagogiques découlant de l'utilisation d'une version numérique du jeu La calculatrice défectueuse	
1	La version numérique du jeu permet à l'enseignant d'implanter une contrainte presque instantanément : - Il est possible de restreindre l'accès à une touche de la calculatrice en un seul « clic » de souris.
2	Cette modalité de jeu permet une rétroaction rapide aux participants quant à la justesse de l'équation proposée : - Instantanément, le joueur sait si l'opération qu'il a proposée est adéquate ou non.
3	L'interface de la version numérique du jeu La calculatrice défectueuse permet aux élèves de s'impliquer non seulement en tant que joueurs, mais aussi à titre de superviseurs du jeu : - La simplicité de l'interface permet à aux élèves d'inventer des défis (en restreignant l'usage de certaines touches) et de proposer ceux-ci aux élèves de la classe.

Par contre, concernant l'utilisation de La calculatrice défectueuse dans les salles de classe, il importe de souligner un frein à l'implantation que les enseignants se doivent de considérer. Pour que ce jeu numérique ait des bénéfices pédagogiques, il est primordial que les élèves qui utilisent cet outil mettent en

œuvre un processus de dévolution [2] comme entendu par Brousseau et Balacheff (1998). Cette acceptation de l'élève quant à sa responsabilité dans la situation d'apprentissage lui permettra d'utiliser le jeu *La calculatrice* défectueuse en respectant les contraintes qui lui sont associées. Si l'élève n'accepte pas les contraintes du jeu, il risque d'utiliser une calculatrice numérique conventionnelle qui lui est plus accessible et familière, mais dénature totalement l'apprentissage visé.

4.2 Slice Fractions : une séquence d'apprentissage visant l'appropriation du concept de fraction

Le jeu *Slice Fractions* a été conçu afin d'introduire le concept des fractions aux enfants par le biais d'activités de résolution de problèmes. À partir d'une séquence de tâches de résolution de problèmes préconçue par une équipe de didacticiens des mathématiques, le jeu amène les enfants à s'approprier graduellement le concept de fraction.

Plutôt que de pousser les élèves à élaborer leur compréhension du concept de fraction en opérant sur des représentations symboliques de celles-ci (exemple : ½+ ½ = ?), le contexte ludique de Slice fractions les amène à incarner un jeune mammouth qui doit effectuer un parcours en réalisant différents défis.

Figure 2. Image de présentation du jeu Slice Fractions [capture d'écran du jeu Slice fractions accessible par l'intermédiaire du site https://ululab.com/fr/dossier-de-presse/]



Pour cheminer au travers des obstacles, le mammouth doit résoudre différents problèmes impliquant la manipulation de représentations imagées : des chaînons, des bulles à faire éclater ou encore de la glace qui annule une quantité équivalente de lave. Les défis proposés au joueur sont pensés de manière à favoriser un apprentissage graduel du concept de fraction, soit :

- La compréhension du sens partie-tout;
- L'acquisition du sens numérateur et dénominateur ;
- La compréhension de la notion de fractions équivalentes ;
- L'ordonnancement des fractions ;
- La soustraction et l'addition de fractions.

Les apports du jeu *Slice fractions* ont été relevés par Cyr et ses collaborateurs (2016). Afin d'assurer une compréhension riche et profonde du concept de fraction, les données permettent de relever que l'apport du jeu est perceptible après une période de trois heures. Sur le plan des apprentissages, la plus-value et les bénéfices pédagogiques de *Slice fractions* sont synthétisés à l'intérieur du Tableau 2.

[2] Le principe de dévolution se caractérise par l'acte à partir duquel l'enseignant fait accepter à l'élève la responsabilité découlant de son implication au sein d'une situation d'apprentissage.

Tableau 2. Bénéfices pédagogiques découlant de l'utilisation du jeu Slice Fractions	
1	Le jeu Slice Fractions implique activement les élèves à l'intérieur d'une séquence hiérarchisée d'activités de résolution de problèmes sur les fractions accessibles aux élèves de troisième année du primaire : - En enregistrant la progression de l'apprenant au sein de la séquence proposée, l'élève peut cheminer à son propre rythme dans les activités de résolution de problèmes.
2	Le caractère ludique associé à l'univers du jeu amène l'élève à réaliser la séquence d'activités de manière à habiller le personnage du mammouth : - En acquérant des badges et des chapeaux pour son personnage, l'élève réalise des activités de résolution de problèmes sur les fractions, et ce, sans forcément s'aperce voir de la nature des apprentissages qu'il réalise dans le cadre du jeu.

Par ailleurs, une limite est identifiée en lien avec l'utilisation du jeu *Slice Fractions*. En fait, l'interface du jeu ne permet pas à l'enseignant d'identifier explicitement les concepts ou les processus sous-jacents à la notion de fraction, impliqués à l'intérieur de chacun des défis réalisés par l'élève. Ce manque d'information risque d'entraver la qualité de l'accompagnement et du soutien offerts par l'enseignant souhaitant diriger l'élève vers des tâches répondant à ses besoins spécifiques concernant l'apprentissage des fractions.

4.3- 50 50 - The Slicing Game : une rétroaction instantanée sur la justesse de l'acte de partition réalisé

L'application numérique intitulée *50 50 – The Slicing Game* constitue une plus-value dans l'apprentissage du concept de fraction. En effet, les principaux défis sous-jacents l'acquisition d'une compréhension riche et profonde de la notion de fraction découlent de la coordination des actions de partition et de réunions des parts d'un entier ou d'un ensemble (Rajotte, 2018). À titre d'exemple, la figure 3 présente de quelle manière la partition d'une pomme en 4 peut être réalisée, tandis que la figure 4 traduit l'acte de réunion de 3 parts de la pomme.

Figure 3. Partition d'une pomme en 4 parts

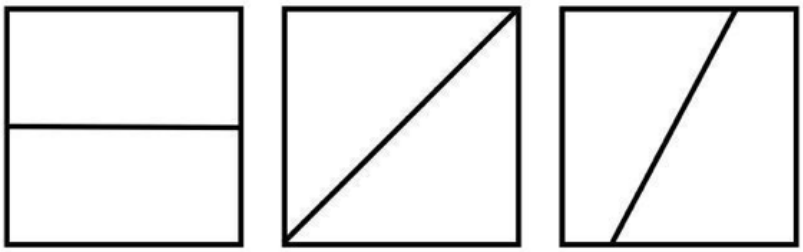


Figure 4. Réunion de 3 parts de la pomme



Afin de développer une compréhension riche et profonde de la notion de fraction, il importe d'apprendre aux élèves à partitionner ou à réaliser l'opération de fractionnement de différentes façons. À cet effet, la figure 5 permet de percevoir qu'il est possible de partitionner une même surface de différentes manières.

Figure 5. Différents fractionnements d'une surface en 2



L'un des défis concernant le partitionnement d'un entier ou d'un ensemble est de créer des parts d'une même dimension (fractionner en parts égales) (Hébert-Bédard et Rajotte, 2016a). En travaillant par le biais de représentations imagées de surface sur lesquelles des traits sont marqués au crayon ou en procédant par le pliage ou le découpage d'une feuille de papier, les élèves reçoivent peu de rétroaction concernant la justesse de l'acte de partition qu'ils réalisent. À ce sujet, l'application *50 50 - The Slicing Game* constitue une réelle plus-value à l'apprentissage en démontrant aux élèves la justesse de l'acte de partition réalisé afin de fractionner une diversité de surfaces. Les figures 6, 7 et 8 constituent des exemples de rétroaction instantanée que reçoivent les élèves concernant la justesse de la partition de surfaces qu'ils ont réalisée.

Figure 6. Rétroaction offerte suite au fractionnement d'un carré en 2 parts [capture d'écran effectuée à partir de l'application 50 50 – The Slicing Game]

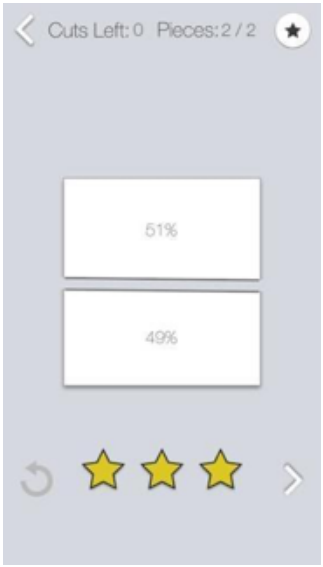


Figure 7. Rétroaction offerte suite au fractionnement d'un pentagone en 2 parts [capture d'écran effectuée à partir de l'application 50 50 – The Slicing Game]

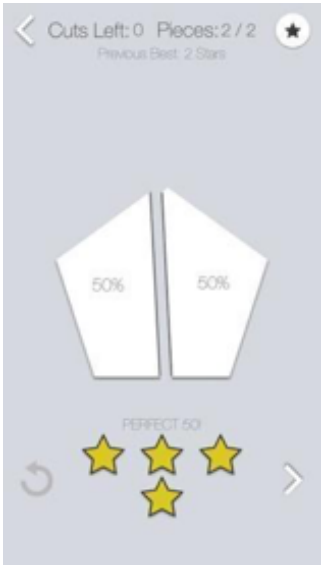


Figure 8. Rétroaction offerte suite au fractionnement d'un polygone en 2 parts [capture d'écran effectuée à partir de l'application 50 50 – The Slicing Game]



Bien que le contexte ludique du jeu amène l'apprenant à réaliser un fractionnement en parts égales afin d'obtenir le plus grand nombre d'étoiles possibles, il importe de mentionner que l'élève s'approprie implicitement l'un des principes essentiels de la notion de fraction selon lequel l'entier doit être divisé en parties égales, mais pas nécessairement identiques (en référence aux différents fractionnements possibles pour une même surface). Cet apport du numérique dans l'apprentissage de la notion de fraction constitue une plus-value non négligeable pouvant permettre de consolider la compréhension d'un concept fréquemment réinvesti au sein du curriculum scolaire du primaire ainsi que du secondaire.

Le principal frein à considérer concernant la mise en œuvre de l'application *50-50 The Slicing Game* découle du fait que le jeu développe la pensée mathématique des élèves en impliquant exclusivement ceux-ci à l'intérieur d'une tâche de fractionnement d'une surface (ou de l'aire d'une figure en deux dimensions). Sur le plan didactique, lorsque l'on implique les élèves dans des activités de partition, il importe de présenter aussi des activités impliquant le fractionnement de collection d'objets ou le fractionnement d'une mesure (d'une longueur).

4.4- L'utilisation de simulateurs : des bénéfices pédagogiques permettant de réaliser le jeu probabiliste des rondelles

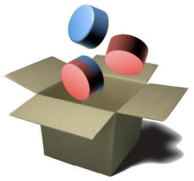
Parmi l'ensemble des fonctions permettant d'apprendre les probabilités, le simulateur d'expériences aléatoires constitue l'outil le plus répandu et utilisé (Savard et al. 2013). Sur le plan pédagogique, l'avantage de ce type d'outil découle du fait qu'il engendre une réduction du temps d'expérimentation et de calcul permettant à l'élève de se concentrer sur les concepts probabilistes des tâches d'enseignement (Kapadia et Borovcnik, 2010). Cet avantage peut aisément être mis à profit afin de réaliser le *Jeu des rondelles* (ou tout autre jeu probabiliste). L'encadré ci-dessous présente la mise en situation pour la réalisation du *Jeu des rondelles*.

Mise en situation pour la réalisation du Jeu des rondelles

Une boîte contient trois rondelles de même format.
- La première rondelle est bleue sur ses deux faces;
- La deuxième rondelle est rouge sur ses deux faces;
- La troisième a une face bleue et une face rouge.

On brasse la boîte, on tire une rondelle au hasard, puis on regarde l'une de ses faces seulement. Le jeu consiste à prédire la couleur de l'autre face de cette rondelle.

Quelle stratégie permet d'optimiser la chance de gagner ?



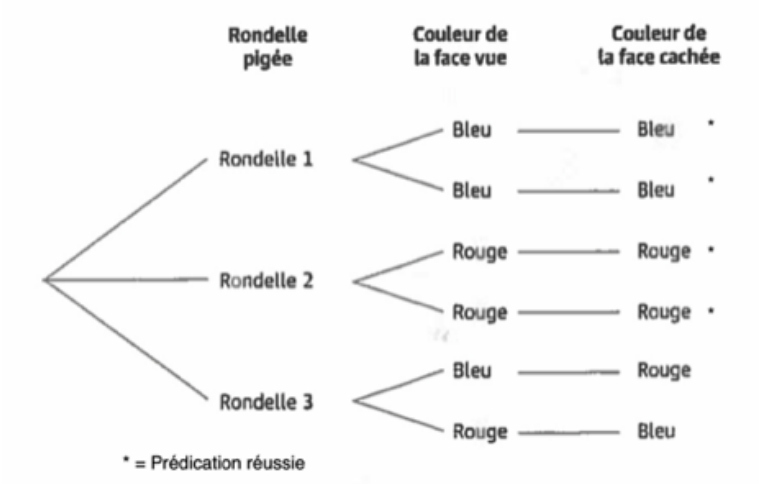
Source : Thibault (2019)

Différentes stratégies peuvent être utilisées afin de permettre aux élèves de prédire la couleur de l'autre côté de la rondelle qu'ils ont choisie. Voici quelques exemples de stratégies pouvant être utilisées :

1- Toujours choisir le côté bleu ;
2- Toujours choisir le côté rouge ;
3- Alterner le côté rouge et le côté bleu chaque tour de jeu ;
4- Sélectionner la couleur au hasard ;
5- Nommer la couleur pour annoncer l'autre côté de la rondelle ;
6- Choisir systématiquement la couleur contraire à celle qui est vue.

Bien que l'intuition d'un individu puisse l'amener à penser que la majorité des stratégies proposées peut permettre de prédire le côté de la rondelle dans la moitié des cas, il importe de mentionner que le *Jeu des rondelles* s'inscrit dans une tâche de mathématiques contre-intuitive (Thibault, 2019). En effet, en choisissant d'opter pour la stratégie « toujours choisir la couleur vue », l'élève sera en mesure de prédire la couleur de la face cachée de la rondelle 2 fois sur 3 (dans une proportion de 66,6%). L'efficacité de cette stratégie, dite optimale, se traduit dans le raisonnement probabiliste illustré dans le diagramme en arbre de la figure 9.

Figure 9. Diagramme en arbre des choix favorables de la stratégie « toujours choisir la couleur vue » au Jeu des rondelles



4.4.1 La plus-value du simulateur pour réaliser le Jeu des rondelles : un regard sur la loi des grands nombres

Dans les jeux probabilistes, il est impossible de prédire avec certitude les résultats obtenus dans le cadre d'une expérience aléatoire. Par exemple, en jouant à pile ou face à 10 reprises, bien que cela soit peu probable, il est possible d'obtenir 9 ou 10 piles à la suite de l'ensemble des lancers réalisés. Ce type de résultat ne devrait pas amener un élève à penser qu'il est plus probable d'obtenir un côté pile qu'un côté face lorsqu'on lance une pièce de monnaie. À ce sujet, afin d'accompagner les élèves dans le développement de leur pensée probabiliste, il peut être pertinent de porter un regard sur la *loi des grands nombres*.

La loi des grands nombres

Comme mentionné par Thibault (2019), la fréquence observée dans une expérience aléatoire est si instable pour 10 essais consécutifs qu'il est difficile de se fier aux résultats de l'expérience réalisée afin de mettre en œuvre un raisonnement probabiliste. À cet effet, il est préférable d'en référer à un plus grand échantillon de résultats (100, 200, 500 ou 1000 lancers) afin de prendre position concernant les probabilités qu'un événement se produise dans un contexte donné. Cela réfère à l'idée de *la loi des grands nombres* qui soutient que les résultats obtenus par le biais d'une expérimentation empirique convergent vers la probabilité théorique lorsque la taille de l'échantillon tend vers l'infini (Thibault, 2019).

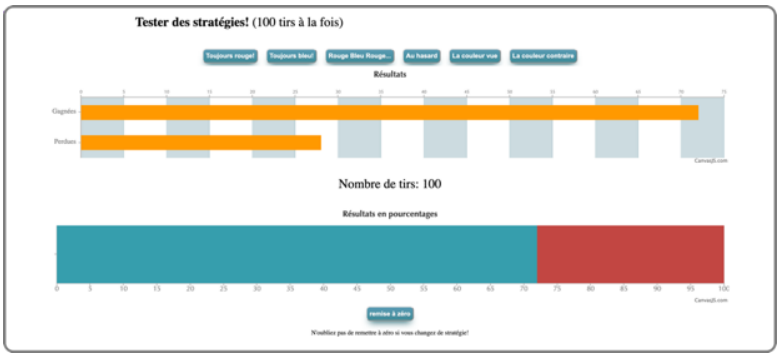
Ainsi, il est préférable de générer le plus grand nombre d'essais possible pour se faire une idée claire des probabilités qu'un événement se produise dans un contexte donné. Par ailleurs, puisque la réalisation d'un nombre élevé d'essais peut demander un peu trop de temps, il est fort pertinent d'opter pour l'utilisation d'un simulateur d'expériences afin de réaliser un jeu se rapportant au domaine mathématique des probabilités.

4.4.2 La pertinence du simulateur pour jouer au Jeu des rondelles

Le site https://www.jfmaheux.net/r/3rondelles/ permet de jouer au *Jeu des rondelles* en ligne et de faire des prédictions sur la couleur de l'autre côté de chacune des rondelles piochées. La plateforme Web fournit une rétroaction instantanée concernant la justesse du choix réalisé.

L'avantage pédagogique se rapportant à cette plateforme vient du fait que celle-ci est accompagnée d'un simulateur de résultats permettant de mettre à l'épreuve les six principales stratégies sous-jacentes à la réalisation du jeu. En quelques secondes seulement, le simulateur permet de réaliser 100 expériences et de relever la fréquence à laquelle la stratégie était adéquate en comparaison avec le nombre de reprises pour lesquelles celle-ci a été inefficace. La figure 10 permet de voir de quelle manière se traduisent les résultats obtenus.

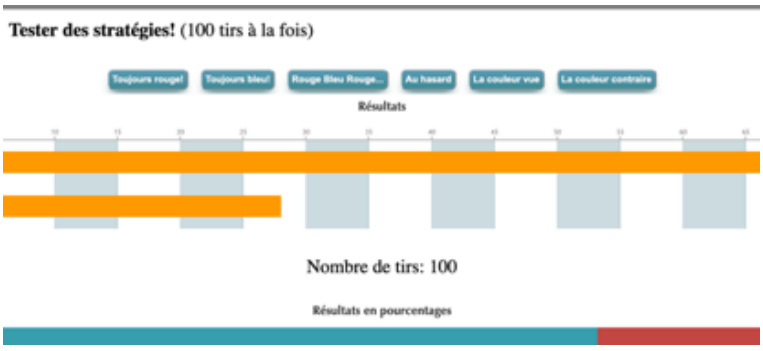
Figure 10. Exemple de 100 résultats obtenus en appliquant la stratégie « toujours choisir la couleur vue »



Ainsi, il est possible de relever que l'application de la stratégie « toujours choisir la couleur vue » constitue la stratégie optimale dans la participation au Jeu des rondelles ! À partir d'un échantillon de 100 lancers, le simulateur d'expérience a permis de constater que celle-ci est efficace à 72 reprises (probabilité théorique de 66,6%).

Par contre, d'autres stratégies, comme celle consistant à « toujours choisir la couleur contraire », peuvent s'avérer moins efficaces. La figure 11 représente les résultats obtenus en appliquant cette stratégie lors de l'utilisation d'un simulateur d'expériences.

Figure 11. Exemple de 100 résultats obtenus en appliquant la stratégie « toujours choisir la couleur contraire »



En appliquant systématiquement la stratégie « toujours choisir la couleur contraire » en simulant 100 expériences de jeu, nous avons relevé que celle-ci est efficace à 34 reprises (probabilité théorique de 33,3%). Ainsi, l'élève qui l'applique est susceptible de se tromper plus fréquemment lorsqu'il participe au *Jeu des rondelles.*

Outre la rapidité à laquelle les simulateurs permettent de réaliser un nombre impressionnant d'expériences aléatoires dans un jeu, un avantage pédagogique issu de l'utilisation de cet outil numérique de simulation provient du fait qu'il permet à l'élève d'élaborer sa pensée probabiliste en s'impliquant dans un jeu mathématique donné. Ainsi, en observant l'efficacité relative des différentes stratégies de jeu à partir d'un nombre élevé d'expérimentations, l'élève est en mesure d'émettre des hypothèses et d'argumenter pour justifier pourquoi certaines stratégies de jeu sont plus efficaces que d'autres. En dernier lieu, ces opérations de pensée et ces raisonnements probabilistes permettront d'être plus compétitif lorsqu'il s'implique dans le *Jeu des rondelles* ou dans tout autre jeu se rapportant au domaine des probabilités.

Tel que mentionné par Nikiforidou et Pange (2010), les enfants développent des notions associées aux probabilités de base par des processus intuitifs dès l'âge de quatre ans. Naturellement, les jeunes enfants ne sont pas disposés à analyser l'aspect aléatoire d'une situation. En effet, leur imaginaire les porte souvent à faire des prédictions erronées. Par contre, ils peuvent émettre des prédictions au sujet d'expériences concrètes en utilisant un langage probabiliste simple (Jones et al., 1997; 1999). Le *Jeu des rondelles* pourrait permettre aux enfants cheminant à l'éducation préscolaire de partir de situations concrètes, en grand groupe, et de déterminer les possibilités que l'autre côté de la rondelle puisse être rouge. Ces situations ont pour but d'amener les enfants à décrire de façon informelle la probabilité de l'événement relié au *Jeu des rondelles* en mobilisant les termes possible et impossible.

Principal frein à considérer pour la mise en œuvre du simulateur pour jouer au Jeu des rondelles

Le principal frein à considérer concernant la mise en œuvre du simulateur permettant de jouer au *Jeu des rondelles* découle du fait que celui-ci permet exclusivement de réaliser des expériences probabilistes se rapportant à un arrimage entre les approches fréquentielle et théorique. Sur le plan didactique, il est important pour un enseignant de présenter aussi des activités se rapportant aussi aux probabilités subjectives (approche subjective).

- Il importe de mentionner que les tâches probabilistes considérées comme étant subjectives demandent aux élèves de formuler une opinion à travers l'expression d'une hypothèse/conjoncture au regard d'un événement probabiliste (Martin et Malo, 2019). Bien que l'utilisation du simulateur d'expériences ne s'inscrive pas dans ce type d'approche, l'enseignant peut piloter l'activité de jeu de manière à amener les élèves à émettre des hypothèses et des conjectures.

4.5- Dragon box algebra: performer dans la réalisation de tâches algébriques dès le préscolaire

Les prochains paragraphes présentent un jeu numérique permettant à l'élève de réaliser ses premiers apprentissages en algèbre. La plus-value du jeu et le principal frein associé à sa mise en œuvre sont ensuite détaillés et explicités.

4.5.1 Les premiers pas vers l'apprentissage de l'algèbre dans un contexte traditionnel d'enseignement

L'apprentissage de l'algèbre peut occasionner d'importantes difficultés chez les élèves du secondaire qui se sentent souvent déstabilisés par le fait de devoir opérer en mathématiques en utilisant des symboles alphanumériques (exemple : y = 2x) plutôt que par la réalisation d'une opération impliquant la mise en œuvre de relations entre deux ou plusieurs nombres (Rajotte, 2015). En effet, la compréhension de la notion de « variable » susceptible de prendre une diversité de valeurs, telle que représentée par une lettre, peut engendrer d'importants défis dans l'apprentissage de l'algèbre.

Dans un enseignement traditionnel des mathématiques, pour effectuer les premiers pas vers l'apprentissage de l'algèbre, il est suggéré de proposer aux élèves des tâches de régularités. La figure 12 représente une tâche de régularité pouvant être résolue par des élèves du primaire et même de la maternelle. En fait, en regardant la succession imagée des blocs emboîtés, l'apprenant peut relever

que chaque représentation successive de la composition des blocs comporte deux cubes unités de plus. Sans que les élèves du primaire en soient conscients, cette régularité peut être représentée par l'expression algébrique suivante : 2x – 1 (x représentant la position des termes de la suite).

Figure 12. Exemple de tâche de régularité



La seconde stratégie à aborder au primaire afin de préparer les élèves à l'apprentissage de l'algèbre consiste à présenter des énoncés mathématiques impliquant la notion de proportionnalité (Rajotte, 2015). En effet, selon Benson (2009), la capacité de l'élève à mettre en œuvre un raisonnement proportionnel constitue un tremplin vers le développement de la pensée algébrique. Dans cet ordre d'idée, des énoncés tels que : « *En pressant une orange, il est possible d'obtenir quatre verres de jus. Combien de verres de jus vais-je obtenir en pressant trois oranges?* » doivent être abordés dans le cadre du cursus scolaire au primaire. S'il est possible de résoudre ce type d'énoncé en utilisant la multiplication, un élève prendra ultérieurement conscience que la mise en relation des oranges et des verres de jus peut se représenter, tel qu'illustré en figure 13, par la formule suivante : y = 4x (le nombre de verres de jus se référant à la variable « y » et le nombre d'oranges pressées se rapportant à la variable « x »).

Figure 13. Représentation d'un énoncé se rapportant à la notion de proportionnalité



4.5.2 Regard sur le potentiel de Dragon Box – algebra pour l'apprentissage de l'algèbre

L'application Dragon Box – *algebra* constitue une réelle plus-value à l'apprentissage de l'algèbre dès l'éducation préscolaire. Dans un contexte éducatif, ce jeu sérieux, comme entendu par Romero et ses collaborateurs (2016), demande à l'élève de s'impliquer dans un environnement de travail séparé en deux et d'isoler une représentation de boîte afin qu'elle se retrouve seule d'un côté de l'écran (espace de jeu délimité). Pour pouvoir isoler la boîte, comme illustré en figure 14, les élèves doivent réunir une carte avec son « anti-carte ».

Figure 14. Exemple d'associations entre des cartes et leurs « anti-cartes » dans l'application Dragon box - algebra [image issue de l'application Dragon Box - algebra]



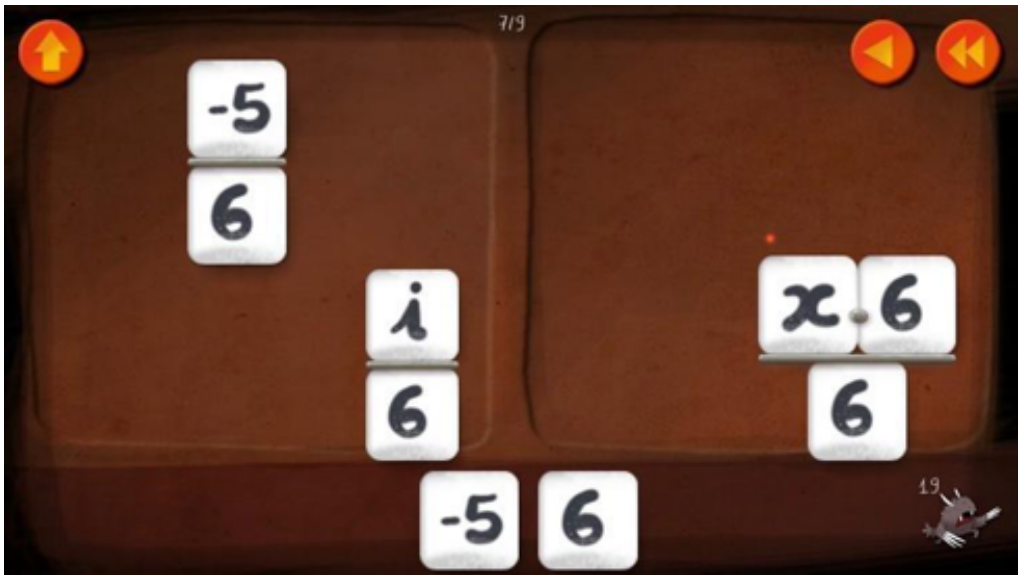
En appliquant ce principe, l'apprenant chemine graduellement dans la résolution de tâches de plus en plus complexes. À un certain moment, présenté en figure 15, les cartes et leurs « anti-cartes » deviennent des chiffres et des lettres.

Figure 15. Exemple d'associations entre une carte représentée par une lettre et son « anti-carte » dans l'application Dragon box - algebra [image issue de l'application Dragon Box - algebra]



En réalisant progressivement ce type de tâche, l'élève apprend à isoler sa boîte d'un côté de la planche de jeu en opérant sur des symboles alphanumériques (figure 16). Cette démarche constitue un tremplin vers l'apprentissage de l'algèbre et la résolution d'équations algébriques. De plus, le caractère ludique de la tâche proposée amène l'élève à s'impliquer activement dans ses apprentissages sans pour autant être conscient des objectifs pédagogiques sous-jacents à l'implication des élèves au sein de ce jeu numérique.

Figure 16. Exemple de tâche de Dragon box - algebra impliquant exclusivement des cartes représentées par des symboles alphanumériques [image issue de l'application Dragon Box - algebra]



Il importe de mentionner qu'il existe une autre version de l'application destinée aux élèves plus âgés (*Dragon box algebra 12 +*). La progression des activités réalisées dans cette version de l'application permet de consolider des processus et de concepts mathématiques diversifiés : décomposition et simplification de fractions, résolution d'équations, application principe de distributivité, additions d'inconnues, etc.

Principal frein à considérer pour la mise en œuvre du jeu Dragon box algebra 12 +
Le principal frein associé à la réalisation du jeu Dragon box algebra 12 + découle du fait que celui-ci implique l'élève dans la résolution d'équations algébriques se rapportant exclusivement à l'interface du jeu. L'utilisation de l'application, si elle n'est pas accompagnée d'activités parallèles sollicitant le raisonnement algébrique, ne garantit pas une compréhension approfondie (compréhension conceptuelle) des fondements associés au domaine de l'algèbre.

4.6- Minecraft : une plus-value à l'enseignement de la géométrie au primaire

Le jeu vidéo *Minecraft* possède de nombreuses similitudes avec les blocs LEGO et correspond, dans une certaine mesure, à son versant numérique (Karsenti et Bugmann, 2017). De la même manière qu'avec des blocs LEGO, les élèves déplacent des solides (cubes), produisent ou reproduisent une diversité de types de construction. Par ailleurs, dans *Minecraft*, le joueur effectue ces manipulations dans un univers virtuel en trois dimensions (Karsenti et Bugmann, 2017).

Les apports du jeu sur le plan des apprentissages ont été mis en lumière par le biais d'une étude mixte dirigée par Karsenti et Bugmann (2016). Les résultats ont d'ailleurs permis d'établir que l'utilisation du jeu *Minecraft* en classe permet de favoriser le développement de plusieurs facteurs associés à la réussite éducative, notamment :

- Créativité de l'élève ;
- Autonomie de l'élève;
- Collaboration et sentiment d'entraide accrus entre les élèves de la classe ;
- Meilleure capacité à résoudre des problèmes et à rechercher de l'information ;
- Meilleure estime de soi.

Sur le plan de l'apprentissage des mathématiques, Roberge (2015) a relevé les principaux concepts et processus mathématiques qui sont développés grâce à l'utilisation pédagogique de *Minecraft* dans les classes du primaire. Ceux-ci sont synthétisés dans le cadre du Tableau 3.

Tableau 3. Les principaux concepts mathématiques qu'il est possible de mettre en œuvre en jouant à *Minecraft* dans les classes du primaire (Roberge, 2015)

Domaines	**Concepts et processus mathématiques développés**
Arithmétique	Opérations : Addition (ajout, réunion, comparaison, somme), soustraction (retrait, complément, comparaison, différence, terme, terme manquant, droite numérique), multiplication (addition répétée, produit cartésien, etc.), division (soustraction répétée, partage, contenance). Nombres décimaux : opération (addition, soustraction, multiplication et division). Nombres naturels : calculs écrits (addition, soustraction, multiplication et division). Fractions : fractions équivalentes.
Géométrie	Mesure : longueurs (estimation et mesurage) unités conventionnelles (km, m, dm, cm, mm), surface (estimation et mesurage), raisonnement spatial (orientation des blocs).

Karsenti et Bugmann (2016) mentionnent, pour leur part, que l'usage pédagogique du jeu Minecraft permet de développer une diversité d'habiletés en mathématique (périmètre, volume, nombre de ressources pour construire quelque chose, nombres de blocs, etc.).

4.6.1 Les activités pédagogiques associées à l'utilisation de Minecraft : une diversité de défis pour les élèves du primaire

Afin de piloter des activités pédagogiques impliquant l'utilisation de Minecraft dans les classes du primaire, il est pertinent de proposer aux élèves une diversité de tâches se rapportant à différents niveaux de difficulté. Par exemple, dans le cadre de leur projet, Karsenti et Bugmann (2016) ont constitué dix niveaux de progression composés, chacun, de 3 paliers amenant à la réussite du niveau comme présenté à la figure 17. Ainsi, 30 tâches distinctes étaient proposées afin de permettre une appropriation progressive du jeu vidéo.

Figure 17. Les 10 niveaux de progression de l'usage éducatif de Minecraft proposés par Karsenti et Bugmann (2016) [image issue de l'article de Karsenti et Bugmann (2016)]



La figure 18 illustre une manière d'utiliser *Minecraft* afin de réaliser la construction d'un bâtiment dans un univers virtuel multidimensionnel.

Figure 18. Exemple de maison réalisée par des élèves du primaire [image tirée de Karsenti et Bugmann (2017)]



4.6.2 Minecraft : une plus-value pour l'enseignement de la géométrie au primaire

Au regard des apprentissages scolaires, un avantage indéniable découlant de l'utilisation de Minecraft dans les classes du primaire se rapporte au développement des habiletés visuospatiales des élèves. En effet, il est reconnu que l'enseignement traditionnel des mathématiques est intimement associé à l'apprentissage de connaissances géométriques (appropriation de concepts essentiellement liés aux figures et aux solides), et ce, au détriment de la mise en œuvre d'activités pédagogiques favorisant le développement de connaissances spatiales des élèves (apprendre à se déplacer, à dessiner et construire des objets en trois dimensions) (Marchand, 2009 ; Hébert-Bédard et Rajotte, 2016b).

La structure multidimensionnelle du jeu Minecraft sollicite implicitement les habiletés visuospatiales. De plus, l'implication active des élèves au sein des tâches proposées permet d'arrimer leur créativité à la mise en œuvre de leurs habiletés visuospatiales. Ces apprentissages, réalisés dans un environnement utilisateur ludique, sollicitent leur engagement dans un contexte de résolution de problèmes concrets et contribuent au développement des habiletés des apprenants à s'approprier différentes sources d'information.

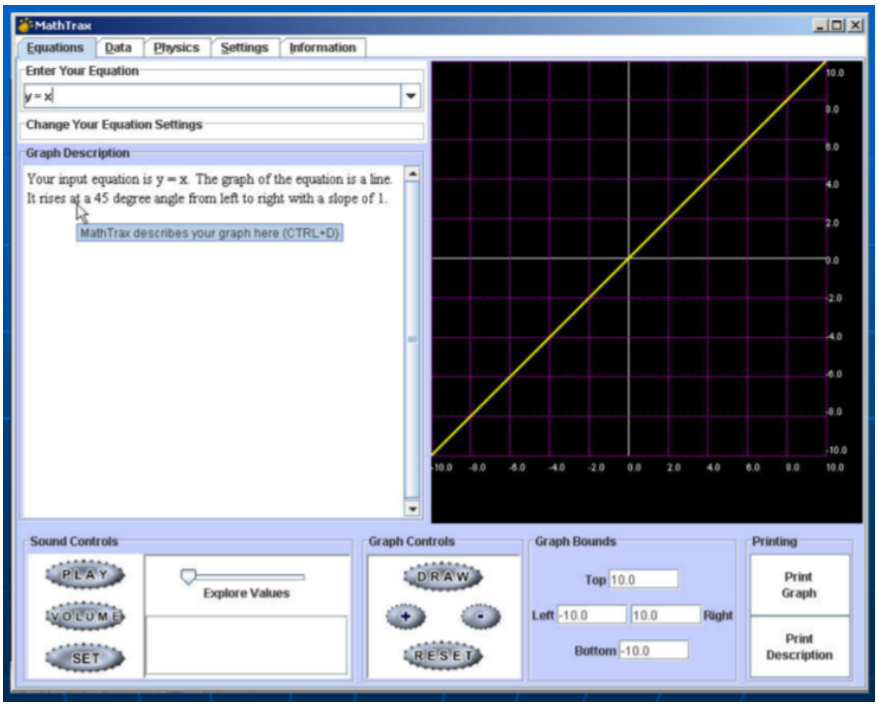
Finalement, un dernier avantage issu de l'utilisation du jeu Minecraft dans les classes du primaire résulte du fait que ce dernier permet de mettre en œuvre une approche interdisciplinaire d'enseignement. En effet, la mobilisation des compétences des élèves liées aux technologies de l'information et de la communication peut se réaliser dans des tâches impliquant à la fois des concepts et des processus, issus du curriculum scolaire en mathématique, ainsi que des compétences se rapportant à la lecture et à l'écriture. D'ailleurs, l'étude exploratoire de Karsenti et Bugmann (2016) a permis d'observer un apport induit par l'utilisation de Minecraft sur le développement des compétences du domaine langagier en lecture et en écriture.

Par ailleurs, il importe de soulever deux principaux freins concernant l'utilisation de Minecraft dans le milieu scolaire. Premièrement, il est important de mentionner qu'afin d'optimiser les apports positifs du jeu, il est nécessaire de répondre au besoin de formation continue des enseignants pour que ceux-ci soient en mesure d'accompagner et de soutenir les élèves adéquatement à l'intérieur de l'interface du jeu. De plus, une autre limite du jeu découle du temps nécessaire à son appropriation. À cet effet, les apports pédagogiques sous-jacents à l'utilisation du jeu Minecraft devraient émerger si l'élève bénéficie de suffisamment de temps pour s'approprier le jeu et réaliser les apprentissages qui en découlent.

4.7 – Math Trax – Comprendre les graphiques pour des individus avec une déficience visuelle

Ce logiciel créé par l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (National Aeronautics and Space Administration – NASA) aux États-Unis et lancé en 2005 s'est vu décerner quelques distinctions pour ses apports innovants. En effet, les concepteurs du logiciel ont voulu utiliser les technologies pour faciliter la représentation graphique d'équations algébriques pour les individus ayant une déficience visuelle (malvoyance ou cécité). La lecture des graphiques était un obstacle considérable pour les individus avec ce type de trouble, et ce, malgré le fait qu'ils puissent avoir une bonne compréhension des concepts mathématiques en jeu. L'innovation technologique peut se présenter de deux façons, soit par la description audible (à haute voix) faite par une synthèse vocale (et non l'enregistrement par une voix humaine) des données du graphique visées ou bien par une trame sonore dont l'intensité change selon les données du graphique. La figure 19 présente un aperçu de la plateforme du logiciel.

Figure 19. Exemple du logiciel Math Trax [capture d'écran issu du logiciel Math Trax]



Ces descriptions sonores constituent une plus-value considérable sachant que les apprenants qui se sont appropriés l'outil acquièrent une certaine autonomie dans la lecture des équations algébriques et dans la résolution de problèmes de ce domaine mathématique. De plus, pour permettre à l'utilisateur de se situer sur l'écran afin d'effectuer la lecture des données, les concepteurs du logiciel proposent également sur plusieurs raccourcis clavier facilitant la navigation sur le graphique. De ce fait, avec un clavier adapté et les descriptions sonores des données représentées sur l'écran, l'apprenant est en mesure de se représenter mentalement le graphique et peut poursuivre ses apprentissages. Bien évidemment, tout apprenant peut bénéficier de ce logiciel même s'il a été conçu pour des apprenants avec une déficience visuelle.

Un désavantage de ce logiciel découle du fait qu'il est offert seulement dans une version anglophone. Ceci peut poser problème pour la description audible (à haute voix), mais ne s'applique pas pour la lecture des données par la trame sonore. De plus, un autre frein à l'utilisation du logiciel découle de la diversité des fonctions disponibles et accessibles. Celles-ci rendent difficile une utilisation autonome de l'interface pour les élèves en début de parcours scolaire. Pour pallier cette lacune, l'enseignement devra fort probablement mettre en œuvre une activité de modelage permettant de faire en sorte que l'apprenant soit en mesure de réaliser l'ensemble des tâches demandées.

En ciblant les concepts mathématiques en jeu, *Math Trax* est pertinent seulement pour des élèves à partir de la fin du primaire. Dans la description du logiciel, les concepts mathématiques du programme d'éducation américain visent les savoirs mathématiques présents entre la sixième année et la douzième année [3] , ce qui se situe environ entre la sixième année du primaire et la première année au cégep [4] dans le cursus scolaire québécois.

Conclusion

Dans les dernières années, de nombreuses recherches ont démontré l'effet découlant de l'utilisation des technologies de l'information et des communications sur la réussite éducative des élèves (Collin et Karsenti, 2012 ; Hattie, 2009 ; Leroux et al. 2017). Par ailleurs, le seul regard aux données probantes pour justifier la mise en œuvre d'une pédagogie axée sur l'utilisation du numérique se rapporte intimement à une perspective déterministe de l'enseignement (Collin et Karsenti, 2012).

Afin d'optimiser l'apport du numérique au sein des apprentissages scolaires, nous recommandons d'adopter une vision se rapportant à l'approche socioculturelle de l'enseignement (Collin et Karsenti, 2012) afin de prendre en considération les contextes favorables aux apprentissages. Par une mise en lumière de la plus-value et des avantages découlant de la mise en œuvre de sept jeux numériques, cet article vise à démontrer la pertinence de considérer cette seconde approche. En réalisant une analyse affinée des principaux concepts et processus impliqués au sein des jeux numériques, il est possible de mettre en évidence tant les bénéfices pédagogiques que les freins de ce support informatique en lien avec la majorité des domaines des mathématiques, soit : l'arithmétique, la géométrie, la régularité et l'algèbre, la mesure ainsi que la statistique et les probabilités. Afin d'assurer un apprentissage de qualité et une compréhension riche et profonde des concepts et processus mathématiques impliqués dans le cadre d'un jeu numérique, nous suggérons la mise en place d'une démarche collaborative entre les équipes de programmation, dédiée à la conception d'outils numériques, et d'un (ou des) didacticien(s) des mathématiques. Cette démarche pourrait permettre d'accroître encore la pertinence des tâches proposées par un jeu numérique au regard du curriculum scolaire et d'éviter certains obstacles relevant de l'apprentissage et de l'enseignement de concepts et processus ciblés en mathématiques.

[3] En référence aux degrés scolaires se rapportant au « middle and high school» du système scolaire américain.
[4] L'acronyme « cégep » correspond au collège d'enseignement général et professionnel. Les cégeps sont uniques au système scolaire du Québec. Ce programme de formation est inséré entre les études secondaires et universitaires.

Références :

Barmby, P., Bilsborough, L., Harries, T. et Higgins, S. (2009). *Primary Mathematics: Teaching for Understanding.* The McGRaw-Hill Compagnies.

Benson, S.L.D. (2009). *The Influence of Studying Students' Proportionnal Reasonning on Middle School Mathematics Teacher's Content and Pedagogical Content Knowledge*. [mémoire inédit]. Houston University.

Brousseau, G. et Balacheff, N. (1998). *Théorie des situations didactiques : didactique des mathématiques 1970-1990*. La Pensée Sauvage.

Collin, S. et Karsenti, T. (2012). Approches théoriques des usages des technologies en éducation : regard critique. *Formation et profession*, 20(3), 87-99.

Cyr, S., Charland, P. et Riopel, M. (2016). Un jeu vidéo pour l'apprentissage des fractions au primaire. *Les technologies dans l'enseignement des mathématiques. Revue Math-École, 226*(numéro spécial), 8-12.

Furlong, J. et Davies, C. (2012). Young people, new technologies and learning at home: Taking context seriously. *Oxford Review of Education, 38*(1), 45-62.

Güzeller, C.O. et Dogru, M. (2011). The Effect of Computer Use in Science and Technology Lesson on Success and Attitude Towards. *Journal of Social Sciences, 7*(4), 498-503.

Hébert-Bédard, S. et Rajotte, T. (2016a). L'apprentissage des fractions au primaire : un vrai jeu d'enfant! *Vivre le primaire, 29*(4), 29-32.

Hébert-Bédard, S. et Rajotte, T. (2016b). Le développement des habiletés visuospatiales : sept merveilles à découvrir. *Vivre le primaire, 29*(3), 18-21.

Hattie, J. (2009). Visible learning: *A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge.

Jones, G. A., Langrall, C. W., Thornton, C. A et Mogill A. T. (1997). A Framework for Assessing and Nurturing Young Children's Thinking in Probability. *Educational Studies in Mathematics, 32*, 101-125.

Jones, G. A., Langrall, C. W., Thornton C. A. et. Mogill, A. T. (1999). Students' Probabilistic Thinking in Instruction. *Journal for Research in Mathematics Education, 30*(5), 487-519.

Juric, P., Bakaric, M.B. et Matetic, M. (2021). Motivational Elements on Computer Games for Learning Mathematics. *International Journal of Emerging Technologies in Learning, 16*(10), 275-287.

Kapadia, R. et Borovcnik, M. (2010). Reviewing and promoting research in probability education electronically. Dans *Data and Context in Statistics Education: Towards an Evidence-Based Society*. Actes de colloque du Eight International Conference on Teaching Statistics : ICOTS8 (vol.8).

Karsenti, T. et Bugamnn, J. (2016). Transformer l'éducation avec Minecraft ? *Formation et profession, 24*(3), 104-112.

Karsenti, T. et Bugmann, J. (2017). *Transformer l'éducation avec Minecraft ? Résultats d'une recherche menée auprès de 118 élèves*. CRIFPE.

Karsenti, T. et Collin, S. (2011). *Avantages et défis inhérents des ordinateurs au primaire et au secondaire : Enquête auprès de la Commission scolaire Eastern Townships. Synthèse des principaux résultats*. CRIFPE.

Karsenti, T. et Fiévez, A. (2014). *L'iPad à l'école : De l'adoption à l'innovation*. Éditions Grand Duc.

Karsenti, T., Goyer, S., Villeneuve, S. et Raby, C. (2005). *L'impact des technologies de l'information et de la communication (TIC) sur la réussite éducative des garçons à risque de milieux défavorisés.* Rapport de recherche subventionnée déposé auprès du Fonds québécois de recherche sur la société et la culture. CRIFPE.

Leroux, G., Monteil, J.-M. et Huguet, P. (2017). Apprentissages scolaires et technologies numériques : une revue critique des méta-analyses. *L'année psychologique/Topics in Cognitive Psychology, 117*, 433-465.

Li, Q. et Ma, X. (2010). A Meta-analysis of the Effects of Computer Technology on School Students' Mathematics Learning. *Educational Psychology Review, 22*, 215-243.

Marchand, P. (2009). L'enseignement du sens spatial au secondaire : Analyse de deux leçons de troisième secondaire. *Canadian journal of science, mathematics, and technology education, 9*(1), 29-48.

Martin, V. et Malo, M. (2019). L'analyse de tâches probabilistes proposées dans des ressources québécoises utilisées pour l'enseignement des mathématiques au primaire. Dans V. Martin, M. Thibault et L. Theis. (dir.), *Enseigner les premiers concepts de probabilités : Un monde de possibilités !* (p. 71-98). Presses de l'Université du Québec.

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. (2018). *Plan d'action numérique en éducation et en enseignement supérieur.* Gouvernement du Québec.

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. (2020). *Référentiel de compétences professionnelles – Profession enseignante*. Gouvernement du Québec.

National Council of Teachers of Mathematics. (2008). *Principles and standards for school mathematics*. NCTM.

Nikiforidou, Z. et J. Pange (2010). The Notions of Chance and Probabilities in Preschoolers. *Early Childhood Education Journal, 38*(4), 305-311.

Pilli, O. et Aksu, M. (2013). The effects of computer-assisted instruction on the achievement, attitudes and retention of fourth grade mathematics students in North Cyprus. *Computers & Education, 62*, 62-71.

Ponce, H.R., Lopez, M.J. et Mayer, R.E. (2012). Instructional effectiveness of a computer-supported program for teaching reading comprehension strategies. *Computers & Education, 59*, 1170-1183.

Rajotte, T. (2015). Pour un succès en mathématiques : de simples choix qui peuvent faire toute une différence dès le primaire. *Vivre le Primaire, Été 2015*, 22-25.

Rajotte, T. (2018). L'enseignement des fractions au primaire : 8 principes à respecter afin d'assurer un enseignement de qualité. *Vivre le Primaire, Hiver 2018*, 19-21.

Rajotte, T., Héroux, S. et Boivin, É. (2021). *Le jeu en classe de mathématiques : engager activement les élèves et favoriser leur apprentissage*. Chenelière Éducation.

Rebord, N. et Rodrigues, I. (2017). *Le métro du jeu.* Genève : AUPTIC.education.

Roberge, M. (2015). *De Minecraft à « mindcraft » : Comment effectuer le pont entre concepts quotidiens et concepts scientifiques dans des situations d'apprentissage utilisant un jeu vidéo.* [mémoire inédit]. Université de Sherbrooke.

Romero, M., Dumont, L., Daniel, S., Barma, S., Ferrer, M. et Hénaire, V. (2016). *Jeux numériques et apprentissages.* JFD Éditions.

Savard, A., Freiman, V., Theis, L et Larose, F. (2013). Discussing virtual tools that simulate probabilities: What are the middle school teachers' concerns? *McGill Journal of Education, 48*(22), 403-423.

Selwyn, N. (2010). Looking beyond learning: Notes towards the critical study of educational technology. *Journal of Computer Assisted Learning, 26*(1), 65-73.

Selwyn, N. (2012). Making sense of young people, education and digital technology: The role of sociological theory. *Oxford Review of Education, 38*(1), 81-96.

Thibault, M. (2019). Le recours à des simulateurs pour l'enseignement des probabilités. Dans V. Martin, M. Thibault et L. Theis. (dir.), *Enseigner les premiers concepts de probabilités : Un monde de possibilités !* (p. 169-191) Presses de l'Université du Québec.

Wouters, P., Nimwegen, C.V., Oostendorp, H.V. et Spek, E.D. (2013). *A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. Journal of Educational Psychology, 105*(2), 249-265.