UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN ÉDUCATION

PAR
ANTHONY SIMARD

UNE ÉTUDE THÉORIQUE SUR LA CONTRIBUTION DU JEU SÉRIEUX À LA PENSÉE GÉOMÉTRIQUE DES ÉLÈVES

DÉCEMBRE 2022

REMERCIEMENTS

Je souhaite exprimer toute ma gratitude envers ma direction de recherche composée d'Anne Roy et Sylvain Vermette. Tout au long de l'aventure, ils ont été disponibles et d'une grande compréhension à mon égard. Lors de questionnements, leurs judicieux conseils m'ont été d'une aide incalculable. Nous avons su créer une belle dynamique au cours de discussions lors desquelles j'ai énormément appris. Pour les enseignements et la bienveillance à mon endroit, je les remercie infiniment!

Merci aux évaluatrices, Helena Boublil-Ekimova et Isabelle Deshaies, pour leurs commentaires qui ont participé à améliorer considérablement ce mémoire.

Lors de mon passage à la maîtrise, j'ai eu la chance de côtoyer de merveilleuses personnes. Merci à mes collègues à l'UQTR et au Centre d'éducation des adultes. Ils ont sans cesse dynamisé et égayé mon quotidien. Merci également aux personnes professeures à la maîtrise. Leurs cours m'ont initié à la rigueur scientifique et ont reconfirmé ma passion de l'enseignement. Merci à mes amis, notamment Benoit-Claude, David, Luc et Vincent. Ils ne peuvent pas réaliser toute l'estime que j'ai pour eux et toute l'ampleur de l'influence qu'ils ont sur ma vie.

Je dois tout ce que j'accomplis à mes parents, Huguette et Jean-Marie. Mes qualités et valeurs personnelles, je les tiens d'eux. Leur compagnie contribue à mon bonheur au quotidien et apaise mon âme dans les périodes plus difficiles. À mes deux grandes sœurs, Marie-Soleil et Émilie, je leur porte une grande admiration. Merci pour l'écoute et le soutien qu'elles m'offrent lorsque j'en ai besoin. Avec les enfants, la famille s'agrandit de belle façon. Je les aime sans limite et je leur dédie ce mémoire.

Enfin, un merci spécial à ma conjointe, Marie-Laurence. Je la remercie d'être qui elle est. Embarquer dans la maîtrise a impliqué des sacrifices, ce qui a entraîné des répercussions dans sa vie aussi. Merci pour son écoute, sa compréhension, son soutien et son amour, que je lui retourne.

À vous tous et toutes, merci!

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

RÉSUMÉ

Dans une perspective d'identifier de nouvelles pratiques pédagogiques complémentaires aux méthodes traditionnelles, plusieurs technologies numériques sont mises à profit. Le jeu sérieux éducatif fait partie de ces outils de plus en plus utilisés.

Plusieurs éléments indiquent que les mécaniques et possibilités du jeu sérieux pourraient en faire un cadre prometteur pour s'intéresser à la pensée géométrique chez les élèves. Toutefois, confirmer cela peut s'avérer complexe, puisque peu de jeux sérieux visent des notions géométriques et peu de recherches sont effectuées sur ces deux sujets à la fois. Cependant, puisque les recherches portant sur le jeu sérieux et les recherches portant sur l'apprentissage de la géométrie sont très nombreuses, il est possible d'aller chercher beaucoup d'éléments pour analyser la question de la contribution du jeu sérieux à la pensée géométrique des élèves. Éclaircir ces liens permettrait d'abord de promouvoir l'utilisation de jeux sérieux en géométrie, mais également de faciliter la conception de jeux sérieux en géométrie.

Puisque cela implique de partir d'énoncés théoriques pour en émettre de nouveaux, nous avons produit une anasynthèse, issue de la recherche théorique. Nos résultats indiquent que sous certaines conditions, le jeu sérieux s'avèrerait très efficace pour l'apprentissage de la géométrie, car il place la personne apprenante dans des situations-problèmes significatives où elle interagit activement avec des objets et des environnements virtuels, et cela aide notamment au développement de la visualisation.

Ces résultats nous ont permis d’en arriver à des recommandations pour la conception de jeux sérieux visant l’apprentissage de la géométrie. Deux scénarios de jeu sérieux, Géo-Party et Architectes, ont été formulés pour illustrer les résultats de notre recherche.

INTRODUCTION

Depuis quelques années, notre expérience enseignante de géométrie nous amène, comme bon nombre de personnes enseignantes, à nous questionner sur nos approches pédagogiques et didactiques afin de tirer le meilleur de nos élèves. En début de carrière, nous sommes parfois dépendants du manuel et influencés par un enseignement plutôt formel de la géométrie. Toutefois, au fil des années, nous ouvrir à de nouvelles alternatives pédagogiques nous fait découvrir des façons efficaces et stimulantes pour faire apprendre. Un bon exemple est l'apprentissage par le jeu. Par intérêt de recherche, nous avons récemment décidé de le tester en classe au secondaire et nous pouvons constater plusieurs bienfaits. Nos élèves attendent ce moment avec impatience. Peu importe leur personnalité, ils sont plus attentifs et participent en interagissant entre eux et en se posant eux-mêmes des questions. Nous avons remarqué qu'ils investissent plus facilement les notions dans ce type d'activité que lorsqu'ils effectuent des exercices ou lorsqu'ils résolvent tout simplement des situations-problèmes. Dans le même ordre d'idées, étant donné que nos élèves sont de grands amateurs de jeux vidéo, il nous est venu l'idée d'en utiliser en classe pour soutenir l'apprentissage de la géométrie tout en suscitant la motivation. Nous avons donc commencé à nous interroger sur ce qui se fait, autant du côté pratique que de la recherche.

Malheureusement, du côté de la pratique, les jeux vidéo éducatifs, également appelés jeux sérieux éducatifs, se font rares en géométrie. Il est en effet difficile de trouver des exemples lorsqu'une notion précise à faire apprendre aux élèves est ciblée. Même lorsqu'un jeu sérieux correspond à cette notion ciblée, il est souvent indisponible selon notre pays, notre langue, notre budget ou nos appareils technologiques. Un plus grand choix de jeux sérieux en géométrie serait donc souhaité.

Nous avons identifié beaucoup de recherches portant sur l'apprentissage de la géométrie et beaucoup de recherches portant sur le jeu sérieux éducatif, mais très peu, portant sur les deux sujets en même temps, soit l'apprentissage de la géométrie à l'aide d'un jeu sérieux éducatif. En ce sens, peu de tests sont effectués en classe. Les liens théoriques existant entre ces deux sujets sont également méconnus. Dans cette recherche, nous tenterons d'étudier comment ces deux sujets peuvent être reliés en faisant appel à l'anasynthèse, issue de la recherche théorique, qui permet d'analyser les données de ces deux sujets. Comme nous pourrons le constater dans le premier chapitre, des ressorts issus du jeu sérieux éducatif semblent concorder avec d'importants besoins de l'apprentissage de la géométrie, ce qui nous pousse à approfondir une recherche allant dans ce sens.

Dans le premier chapitre, nous présenterons comment les technologies éducatives sont conçues de façon générale, en mathématiques et dans le cas plus particulier de la géométrie. Cela nous amènera à déboucher sur l'outil éducatif à l'étude dans ce mémoire, soit le jeu sérieux. Nous chercherons du côté de la recherche en didactique de la géométrie des besoins cruciaux à son apprentissage, puis du côté de la recherche sur le jeu sérieux éducatif des avantages et possibilités perçus, tout cela afin d'étoffer notre intuition que le jeu sérieux éducatif pourrait contribuer à l'apprentissage de la géométrie. Nous présenterons finalement notre question de recherche.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons le cadre conceptuel relié à chacun des deux sujets, soient l'apprentissage de la géométrie et le jeu sérieux. Le cadre conceptuel de l'apprentissage de la géométrie traitera surtout du modèle des niveaux de pensée géométrique de Van Hiele, mais également d'autres modèles, antérieurs à ce dernier, qui l'ont rendu possible. Nous dégagerons aussi des difficultés souvent rencontrées pendant l'apprentissage de la géométrie. Puis, dans la deuxième partie du cadre conceptuel, nous étudierons le jeu sérieux éducatif. Nous partirons de la définition du jeu et de distinctions pouvant être faites pour saisir intuitivement ce qu'est un jeu sérieux éducatif. Nous présenterons des définitions plus formelles et des composantes du jeu sérieux. Nous terminerons ce chapitre en présentant nos objectifs de recherche.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons la méthodologie de notre recherche. Nous décrirons ce qu'est la recherche théorique avant d'expliquer en quoi consiste l'anasynthèse dans sa forme prototypique. Nous poursuivrons ensuite avec notre adaptation de la méthode d'anasynthèse selon nos besoins de recherche. Nous indiquerons les étapes qui seront effectuées dans notre recherche.

Dans le quatrième chapitre, nous présenterons le processus des différentes étapes de l'anasynthèse ainsi que les résultats, que nous analyserons. Deux champs notionnels, deux corpus de textes, une liste d'énoncés, des explications et une synthèse de l'anasynthèse seront donc exposés. Une analyse approfondie ciblant des difficultés en particulier en suivra, ce qui nous permettra d'en dégager deux idées de jeux sérieux ayant le potentiel de contribuer à l'apprentissage de la géométrie. Une conclusion fera office de retour réflexif sur la recherche effectuée et sur les opportunités de prolongement de recherche.

CHAPITRE I

LA PROBLÉMATIQUE

Ce premier chapitre sera divisé en quatre sections. La première section traitera de la place des technologies en enseignement, d'abord de façon générale, puis appliquées aux mathématiques et enfin, plus spécifiquement en ce qui a trait à la géométrie. Dans la seconde section, le lien entre le jeu et l'apprentissage sera abordé pour déboucher sur le concept de jeu sérieux. Dans la troisième section, il sera démontré pourquoi nous considérons que le jeu sérieux se prêterait bien à l'apprentissage de la géométrie. Nous exposerons aussi le manque de jeux sérieux en géométrie et le manque de recherche concernant l'apprentissage de la géométrie par le jeu sérieux. Finalement, la quatrième et dernière section présentera la question de recherche retenue.

1.1 Les technologies en enseignement

De façon générale, plusieurs technologies numériques sont utilisées en éducation. Les technologies éducatives s'avèrent très nombreuses et ont le potentiel d'améliorer l'enseignement (Moussa-Tessa, 2011). Leur utilisation se fait via Internet, le tableau numérique interactif, l'ordinateur, la technologie mobile ou d'autres moyens (Freiman et al., 2004 ; Gagnon, 2015 ; Awedh et al., 2014 ; Tangney et Bray, 2013). Cependant, ces technologies ne s'appliquent pas forcément à toutes situations, d'où l'importance de s'interroger sur les différentes technologies et leur synergie par rapport aux particularités des apprentissages ciblés pour les élèves par les personnes enseignantes, chercheuses ou prenant les décisions (Koehler et Mishra, 2009).

Dans le cas des mathématiques, plusieurs technologies ont émergé au cours des dernières décennies. L'enseignement primaire et secondaire des mathématiques a pu considérablement bénéficier de l'arrivée des calculatrices modernes (Goupil, 2012), du tableau numérique interactif (Gagnon, 2015 ; Lefebvre et Samson, 2015 ; Chatry, 2019), des plateformes accessibles sur Internet comme Desmos et NetMath, ainsi que des applications mobiles comme PhotoMath (Ebert, 2014 ; Liang, 2016 ; King, 2017 ; Pochtoviuk, Vakaliuk et Pikilnyak. 2020). Les documents ministériels considèrent leur valeur pédagogique et les recommandent fortement (MELS, 2006, p. 232), entre autres pour supporter la démarche de résolution de problèmes (MELS, 2006, p. 238). En géométrie, les logiciels de géométrie dynamique incarnent des environnements informatiques simulant parfaitement la géométrie euclidienne et sont donc utilisés en classe de géométrie comme « moyens de construire des concepts géométriques » (MELS, 2006a, p. 260).

> Ces logiciels permettent à l'élève de manipuler plus facilement certaines figures, d'explorer différentes situations, de découvrir certaines propriétés des figures ou encore d'en construire à partir de leurs définitions et de leurs propriétés et, ainsi, de consolider ses savoirs géométriques. (MELS, 2006, p. 238)

De nombreuses études vantent leurs mérites concernant le développement du raisonnement géométrique (Soury-Lavergne, 2013 ; Gousseau-Coutat, 2006 ; Bokosmaty et al., 2017; Damboise, 2019). Cependant, les logiciels de géométrie dynamique sont des environnements numériques qui ne permettent pas la représentation d'objets réels. Lai et al. (2016) suggèrent ainsi de combiner le logiciel de géométrie dynamique avec la réalité virtuelle pour interagir avec des formes 3D.

1.2 Le jeu sérieux

Cela fait des siècles que le jeu s'inscrit dans l'apprentissage (Sauvé et al., 2007 ; Berry, 2011), et cela se manifeste sous différentes formes, comme en sports (Marchand, 2004 ; Griffin et Butler, 2005) ou avec des jeux de société (Silva et Brougère, 2016 ; Daniau et Bélanger, 2010 ; Numa-Bocage et Bieri, 2015). En effet, selon Berry (2011), la compréhension du jeu s'est développée en éducation autant chez des philosophes, comme Platon, que dans les théories de l'éducation (froebélienne, piagétienne ou vygostkienne), au point tel que plusieurs considèrent le jeu comme un vecteur naturel de l'apprentissage. De plus, selon Van Nieuwenhoven et De Vriendt (2010), le jeu serait présent tout au long de la vie de l'enfant et en serait même « le moteur de développement » (p. 93).

En parallèle, depuis près de 50 ans, les jeux vidéo gagnent en popularité et s'implantent de plus en plus dans la culture de la population en général, et en particulier celle des adolescents et adolescentes (Sauvé, 2006 ; Muratet, 2010 ; Berry, 2011 ; Cohard, 2015 ; Merraky, 2015 ; Muratet et al., 2011). Les jeux vidéo exploitent différentes technologies numériques et se jouent sur plusieurs plateformes, ce qui ouvre de nouvelles opportunités en éducation et actualise le débat autour de l'apport du jeu en apprentissage (Berry, 2011 ; Galand, 2020). Alors que la plupart des jeux vidéo ne visent que le divertissement, certains possèdent également d'autres objectifs, comme la sensibilisation à des causes, l'amélioration de l'état mental ou corporel, la publicité ou l'éducation (Amato, 2011). Ces jeux vidéo sont appelés jeux sérieux.

Le domaine des jeux sérieux éducatifs se développe aujourd'hui autant du côté de la conception que de l'implantation dans le milieu scolaire et de la recherche, tout cela afin de venir complémenter les pratiques traditionnelles d'enseignement (Sanchez et al. 2011 ; Berry, 2011 ; Bouvier et al., 2014 ; Olivier, 2018). Plusieurs personnes auteures établissent des liens entre le concept de jeu sérieux et les principales théories de l'apprentissage (Plass et al., 2012 ; Merraky, 2015). En effet, beaucoup d'éléments seraient communs au jeu vidéo et à l'apprentissage : l'exploration, la découverte, la résolution de problèmes complexes, les contraintes et obstacles, le développement de compétences et d'habiletés, la représentation d'espaces tridimensionnels, la gestion simultanée de tâches multiples, la déduction, l'adoption de stratégies à partir d'observation, les aptitudes visuelles et spatiales, le rôle d'acteur, l'engagement et l'implication (Sauvé, 2008 ; Marks Greenfield, 2014 ; Merraky, 2015).

La question du jeu sérieux éducatif interpelle un des aspects les plus cruciaux de l'apprentissage qu'est la motivation scolaire. Pour certains élèves, les mathématiques représentent une discipline peu appréciée (Adihou, 2011, Ouellette, 2013). De plus, il semble que la motivation de ces élèves envers les mathématiques diminue généralement pendant le parcours scolaire, et même au cours d'une année (Chouinard, 2001). Cette baisse de motivation engendre des conséquences graves (échec, abandon, etc.) sur l'apprentissage des mathématiques (Adihou, 2011), ce qui accentue l'importance de redonner du plaisir à faire des mathématiques (Steinmayr et Spinath, 2009). La motivation scolaire peut être augmentée par les méthodes d'enseignement. Il existe plusieurs façons de susciter la motivation, dont l'utilisation des TIC, comme celles nommées à la section 1.1 (Collin et al., 2012). Une technologie comme le jeu sérieux peut donc être envisagée comme l'une des solutions à cette problématique. En effet, le jeu sérieux est communément reconnu pour la motivation qu'il entraîne (Sutter Widmer 2017 ; Baccot, 2019). Bien que la motivation scolaire soit très importante pour l'apprentissage, elle a déjà été étudiée à de nombreuses reprises (Chouinard, 2001 ; Steinmayr et Spinath, 2009 ; Adihou, 2011 ; Ouellette, 2013). Nous faisons donc le choix de concentrer notre recherche sur d'autres aspects du jeu sérieux éducatif que la motivation. Il n'est toutefois pas impossible que le sujet revienne dû à son omniprésence dans le champ d'études du jeu sérieux.

1.3 Le jeu sérieux en géométrie

Si plusieurs recherches ont permis de mettre en lumière des liens pouvant être établis entre le jeu sérieux et l'éducation de façon générale, les recherches visant à comprendre l'apport réel ou potentiel des jeux sérieux à l'enseignement de la géométrie tardent à paraître. Pourtant, plusieurs éléments mènent à penser qu'il est légitime d'appréhender le jeu sérieux comme une technologie particulièrement pertinente pour le développement de la pensée géométrique des élèves. Les prochains paragraphes portent donc sur ces éléments et sur l'état du jeu sérieux en géométrie.

1.3.1 Des avantages du jeu sérieux en géométrie

Premièrement, la structure d'un jeu sérieux et d'une situation-problème coïncident selon une vision constructiviste (Van Nieuwenhoven et De Vriendt, 2010[1] ; Merraky, 2015). En effet, l'essence d'un jeu vidéo – et d'un jeu sérieux par extension – est de placer la personne joueuse dans une situation lors de laquelle elle devra atteindre un but, et ainsi mettre en œuvre ses compétences à jouer. L'idée est donc de trouver des situations lors desquelles les compétences à mettre en œuvre et à développer seraient surtout de nature géométrique. En outre, il est primordial de contextualiser l'apprentissage des mathématiques dans des situations-problèmes authentiques pour, entre autres, illustrer leur importance et leur utilité (MELS, 2006a, 2006b)[2]. La géométrie est souvent perçue comme un champ des mathématiques désigné et propice pour la résolution de telles situations-problèmes (Lai et al., 2016). En effet, historiquement, la géométrie a d'abord été une discipline très pratique ayant pour but de résoudre des problèmes concrets[3] (Yu, 2004). Nous pouvons par exemple penser à la construction d'un abri, de routes ou de monuments. Du point de vue de l'apprentissage, l'étude des figures et objets de l'espace permet de réfléchir à propos de situations de la vie courante, ce qui est central dans le développement de la pensée

[1] Ces auteures font référence à la structure du jeu de façon générale.
[2] Dans le Programme de formation de l'école québécoise, la résolution de situations-problèmes est une des trois compétences disciplinaires en mathématiques.
[3] Après cette période où les découvertes géométriques étaient réalisées intuitivement, d'autres découvertes ont été faites moins intuitivement, en faisant appel à des raisonnements plus abstraits. À noter que ces nouvelles découvertes n'en étaient pas nécessairement moins utiles pour autant.

spatiale, géométrique et métrique [4] (Marchand et Bisson, 2017). Ainsi, une technologie comme le jeu sérieux qui simule des situations réelles semble une voie très intéressante à explorer. De plus, le jeu sérieux plonge et immerge la personne apprenante dans ces situations-problèmes, ce qui amène celle-ci à être plus active et engagée dans ses actions et son apprentissage de plusieurs manières (Molinari et al., 2016 ; Bouvier et al., 2014 ; Sutter Widmer, 2017). Cet aspect est important pour toutes les branches des mathématiques, dont la géométrie.

Deuxièmement, un jeu sérieux a le potentiel d'être efficace pour l'apprentissage de la géométrie grâce aux possibilités graphiques du jeu vidéo. En effet, la littérature scientifique perçoit un lien profitable et intuitif entre la géométrie et la visualisation (Duval, 2005), en ce sens qu'une bonne visualisation aide à l'apprentissage de la géométrie et qu'il est possible et même nécessaire de la développer par des activités géométriques (El Habib, 2015). À ce sujet, plusieurs aspects sont en jeu. Mithalal (2014) mentionne que « [l'enseignement] de la géométrie dans l'espace est jugé difficile en raison de problèmes de vision dans l'espace. » (p. 51). Selon Saint-Bauzel (2011), les représentations mentales, associées à la visualisation, agissent d'abord en tant qu'images des connaissances antérieures. Ce support-image permet ensuite aux élèves d'intégrer de nouvelles informations à ce système de connaissances et de se faire une meilleure représentation mentale, conduisant à la fois à une compréhension et une mémorisation accrues. Dans le même sens, Marchand (2004) souligne le

[4] Marchand et Bisson (2017) mentionnent que l'apprentissage de la géométrie se réalise lorsque les élèves créent des ponts entre l'espace réel et l'espace abstrait. Ces concepts seront définis dans la section 2.1.

caractère essentiel de la création d'images mentales en géométrie. Piaget et Inhelder (1947, cité par Marchand et Braconne-Michoux, 2013) spécifient que ces images ou représentations mentales peuvent être statiques, cinétiques et transformatrices. Or, le support papier-crayon seul ne permet que la diffusion d'images statiques. L'impossibilité de représenter des images cinétiques et transformatrices pousse à déroger du support papier-crayon en utilisant les représentations multimédias des technologies numériques modernes. Certaines technologies, comme la réalité virtuelle, permettent de mieux illustrer, percevoir, concrétiser et manipuler les phénomènes mathématiques (Dumont et al., 2011 ; Saint-Bauzel, 2011) et même scientifiques (Doat, 2013). Ainsi, selon Dumont et al. (2011), un jeu sérieux pourrait plus facilement stimuler la visualisation géométrique grâce aux possibilités graphiques des nouvelles technologies.

Troisièmement, le jeu sérieux peut être perçu comme un moyen de stimuler la manipulation d'objets, de figures et de concepts géométriques, qui est très importante en géométrie. En effet, Grenier et Tanguay (2008) avancent que la plupart des études didactiques de la géométrie promeuvent une phase de travail avec des objets géométriques manipulables. Plus précisément, Corriveau et Jeannotte [5] (2018) relèvent le caractère incontournable de la manipulation, sans quoi les élèves ne peuvent faire des mathématiques. Elles mentionnent également que le discours sur la manipulation en mathématiques tire son origine de plusieurs théories (cognitivisme,

[5] Toutefois, leur recherche visait à mieux comprendre le discours relié à la manipulation, pas forcément à la recommander.

Piaget, Bruner, Diènes, Dewey et Kolb), qui rationalisent son utilisation. Kubicki et al. (2014) ajoutent la théorie de Montessori à cette liste. Selon ces théories, la manipulation d'objets géométriques stimulerait le développement de la visualisation, du sens spatial et de la construction d'images mentales, des éléments clés de l'apprentissage de la géométrie. Bokosmaty et al. (2017) mentionnent que les manipulations permettent une meilleure rétention et un meilleur transfert que les méthodes conventionnelles, mais en insistant sur le fait que les élèves devaient effectuer eux-mêmes les manipulations, et non pas seulement les observer. Ils soulèvent aussi que ces manipulations peuvent se faire numériquement (par exemple avec un logiciel de géométrie dynamique) et ainsi supporter l'apprentissage de la géométrie. Finalement, Venant et Migneault (2017) précisent qu'au travers des jeux sérieux *Dragon Box Numbers* et *Dragon Box Algebra 5+*, les élèves manipulent avec leurs doigts des personnages et des cartes. Cela leur permet de basculer rapidement de la méthode essais et erreurs à un raisonnement analytique, par une évolution des représentations des nombres, des opérations, de l'égalité et des quantités inconnues. Le jeu sérieux serait donc particulièrement efficace pour le développement du raisonnement puisqu'ils permettent justement de manipuler des concepts mathématiques abstraits d'une façon inédite, mais naturelle, ce qui rejoint en quelque sorte les idées d'Ascher (1998)[6]. Il reste toutefois à vérifier que ces résultats puissent s'appliquer à la géométrie.

---

[6] Ascher (1998) explique que le jeu, de façon générale, est central dans le développement du

1.3.2 Le manque de jeux sérieux et de documentation théorique

Les raisons énumérées ci-dessus nous amènent à étudier la possibilité que le jeu sérieux puisse être un moyen tout désigné pour l'apprentissage de la géométrie. Toutefois, peu de jeux sérieux existent dans le domaine de la géométrie. Il faut savoir que la conception d'un jeu sérieux est une tâche relativement colossale. De même, nous avons repéré très peu d'études visant à tester des jeux sérieux en classe de géométrie ou à expliquer comment se réalise l'apprentissage de la géométrie à l'aide d'un jeu sérieux. Autrement dit, les liens explicites entre ces deux sujets, l'apprentissage de la géométrie et le jeu sérieux sont pratiquement inexistants du côté de la recherche. Éclaircir ces liens à l'aide d'une étude théorique pourrait permettre d'abord de promouvoir l'utilisation de jeux sérieux en géométrie, mais également de faciliter la conception de jeux sérieux en géométrie en donnant des pistes de réflexion. Toutefois, le manque de jeux sérieux repérés et de documentation complique cette tâche. Dans la prochaine section, nous revenons sur les aspects principaux de ce chapitre pour résumer le raisonnement qui mène à la question à laquelle nous tenterons de répondre dans cette recherche.

---

raisonnement mathématique (combinatoire, logique, démonstrations et probabilité).

1.4 La question de recherche

En vue de trouver des façons de complémenter les pratiques d'enseignement traditionnelles qui sont parfois insuffisantes pour un apprentissage significatif, plusieurs personnes enseignantes se tournent vers les technologies numériques. Le jeu sérieux éducatif s'inscrit dans cette tendance. En effet, depuis sa création, il gagne en popularité et de plus en plus de recherches vantent ses mérites.

Dans le domaine de la géométrie, le fait qu'il plonge la personne apprenante dans une situation-problème authentique, qu'ils disposent d'éléments graphiques variés pouvant supporter la visualisation géométrique et qu'ils imposent la manipulation d'objets et de figures en 2D ou 3D invite à le considérer comme une technologie pouvant très bien se prêter à l'apprentissage de la géométrie. Cependant, comme il a été dit plus haut, les jeux sérieux portant sur la géométrie se font rares et peu de recherches sont réalisées pour étudier l'effet des jeux sérieux sur le développement de la pensée géométrique des élèves. Nous souhaitons donc éclaircir les liens existant entre le jeu sérieux et l'apprentissage de la géométrie. Cela nous amène donc à la question générale suivante: comment le jeu sérieux peut contribuer à mettre de l'avant la pensée géométrique chez les élèves ?

Répondre à cette question s'annonce complexe, car la documentation concernant l'intersection de ces deux sujets est pratiquement inexistante. Toutefois, il existe beaucoup d'écrits sur l'apprentissage de la géométrie et beaucoup d'écrits sur le jeu sérieux, séparément. Dans le cadre conceptuel, grâce aux modèles didactiques de la géométrie et aux théories concernant le jeu sérieux, différents thèmes appartenant à ces deux sujets seront identifiés. Des objectifs de recherche viendront préciser notre question et les lignes directrices de la recherche à la fin du cadre conceptuel.

CHAPITRE II

LE CADRE CONCEPTUEL

Ce cadre conceptuel est divisé en trois sections. La section 2.1 servira à présenter trois modèles didactiques de la géométrie, ainsi que des difficultés pouvant être rencontrées par les élèves pendant l'apprentissage de la géométrie. La section 2.2 servira quant à elle à présenter le concept de jeu sérieux. La section 2.3 présentera finalement les objectifs de recherche qui découlent des deux premiers chapitres.

2.1 La didactique de la géométrie

La géométrie est un domaine complexe faisant intervenir plusieurs types de représentation de façon simultanée (Duval, 2005). En ce sens, les activités d'enseignement-apprentissage qui en ressortent sont variées. Il n'est donc pas surprenant que son apprentissage puisse être conçu de différentes façons. Ainsi, depuis plus de 100 ans, beaucoup de recherches portent sur l'analyse, la comparaison et la création de modèles didactiques de l'apprentissage de la géométrie et de variantes de ces modèles. Deux lignées de modèles se sont développées et ont profondément influencé la compréhension de l'apprentissage de la géométrie. Une lignée tire son origine du courant cognitiviste. Une autre lignée est de nature constructiviste, avec des auteurs comme Henri Poincaré, Jean Piaget et Pierre et Dina Van Hiele. Des raisons méthodologiques, qui seront expliquées dans le chapitre 3, ainsi que le fait que certaines recherches établissant des parallèles entre le jeu sérieux et le constructivisme (Merraky, 2015), incitent à choisir cette deuxième lignée de modèles didactiques de la géométrie.

2.1.1 Des modèles didactiques de l'apprentissage de la géométrie

2.1.1.1 La théorie de Poincaré (1898)

Il y a d'abord la théorie de Poincaré (1898), un penseur ayant contribué aux domaines de la géométrie, de la physique, de la philosophie et de l'épistémologie. Dans le domaine de la géométrie, il est notamment connu pour avoir étudié, analysé et vulgarisé l'axiomatisation des géométries non euclidiennes. Poincaré s'intéressait aux phénomènes physiques et alimentait le débat entourant les liens fondamentaux existant entre la géométrie et la physique. Ces discussions ont mis en lumière le statut spécial que possède la géométrie en tant que science.

Le concept d'espace a émergé au cœur de ces discussions, puisqu'il était « à la fois le concept primordial de la géométrie dont il héritait la forme et la structure, et un concept réel ayant un contenu physique » (Boi, 1991, p. 67). Dès lors, la géométrie pouvait être étudiée de deux façons, théorique ou pratique. Cela a donc amené Poincaré à établir l'existence de deux espaces très différents en géométrie : l'espace sensible et l'espace géométrique.

Par rapport à l'espace sensible, Poincaré explique que par les espaces visuel, tactile et moteur, la personne apprenante fait l'expérience de sensations et de variations de sensations[7] concernant son propre corps et des objets autour. L'espace géométrique

---

[7] Paty (1992) et Bächtold (2013) rapportent des textes de Poincaré que nous attribuons aux sensations et à leurs variations des propriétés, qui nous permettent par la suite de réfléchir sur les figures uniquement par l'utilisation logique d'axiomes et de définitions.

est quant à lui la représentation commune et idéalisée de l'espace physique, c'est-à-dire une conception théorique de la forme des objets réels.

En plus d'introduire ces deux espaces, Poincaré amène une réflexion en lien avec la façon de passer de l'espace sensible à l'espace géométrique, abordant ainsi le développement de la pensée géométrique. En effet, en travaillant dans l'espace sensible, la personne apprenante se représente et reproduit des sensations et leurs variations par l'expérience pour ensuite les organiser dans une structure de groupe[8], auquel elle attribuera des propriétés (Bächtold, 2013).

Pour la suite des choses, retenons de la théorie de Poincaré deux idées qui sont à la base d'autres modèles didactiques de l'apprentissage de la géométrie : 1) il existe deux espaces, l'espace sensible et l'espace géométrique ; 2) la personne apprenante approche l'espace géométrique en expérimentant dans l'espace sensible.

2.1.1.2 Piaget et Inhelder (1948)

Le modèle du développement spatial de Piaget et Inhelder[9] (1948) s'inscrit dans le courant du constructivisme. Piaget et Inhelder ont adapté les idées principales du modèle de Poincaré à la théorie développementale de l'intelligence. Selon eux, l'enfant développera deux espaces : l'espace perceptif et l'espace représentatif[10], associés respectivement à l'espace sensible et à l'espace géométrique de Poincaré. Ils

---

[8] Nous faisons ici référence au concept mathématique de groupe en tant que structure algébrique.

[9] Les noms de Jean Piaget et Bärbel Inhelder sont souvent associés, avec raison, au constructivisme puisque ce sont principalement eux qui ont développé les assises de cette théorie de l'apprentissage et qui ont contribué à la faire accepter et comprendre du monde de l'éducation.

[10] L'espace représentatif est parfois appelé espace opératoire.

notent une interinfluence de ces deux espaces (Pallascio et al., 1990) et s'intéressent à l'évolution de l'espace perceptif à l'espace représentatif (Bächtold, 2013).

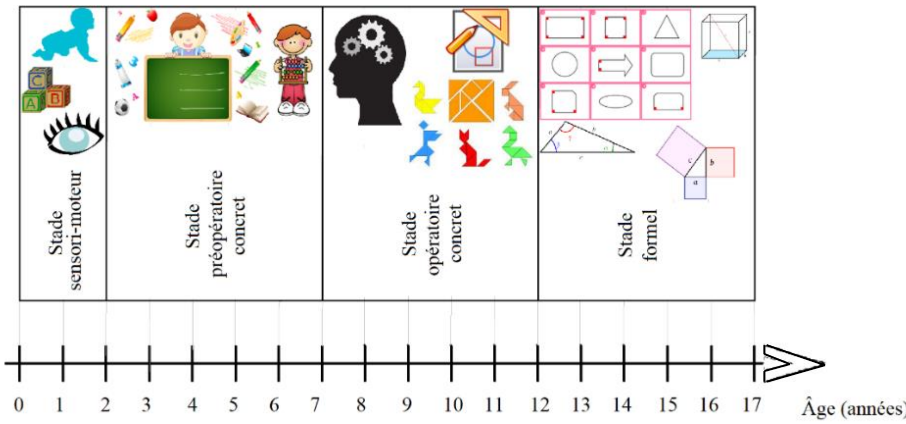


Figure 1 – Une illustration du modèle de Piaget et Inhelder

Toutefois, si les deux modèles se ressemblent sur ces idées fondamentales, le modèle de Piaget et Inhelder (1948) est plus détaillé et complet. En effet, Piaget et Inhelder décrivent le développement spatial de l'enfant selon quatre stades (voir figure 1) : sensori-moteur (1), préopératoire concret (2), opératoire concret (3) et formel (4).

Lors du stade sensori-moteur (entre la naissance et deux ans), l'enfant perçoit grâce à ses sens, ce qui permet la naissance de l'espace perceptif et de l'espace représentatif. Lors de ce stade, les représentations mentales que l'enfant se fait des objets environnants sont statiques et fragmentaires (Pallascio et al., 1990). En géométrie, ce stade est beaucoup lié à l'observation des objets.

De deux à sept ans, il se situe au stade préopératoire concret et peut développer l'espace figuratif et la fonction symbolique de sa pensée de manière parallèle[11]. Une action éducative permet alors de développer plus rapidement l'espace représentatif. En géométrie, ce stade est marqué par la représentation des objets et l'apprentissage d'un vocabulaire de base avec lequel il pourra s'exprimer sur des caractéristiques intuitives des objets.

Vers l'âge de 7 ans, l'enfant réfléchit de plus en plus sur ses actions. Il évolue alors d'une pensée intuitive à une pensée opératoire, ce qui caractérise le passage au stade opératoire concret. Un changement marquant se situe sur le plan de la visualisation. En effet, les images mentales s'avèrent plus dynamiques et structurées, et les opérations sont quant à elles réversibles (Pallascio et al., 1990). Appelé « abstraction réfléchissante », ce niveau de pensée alors atteint permet d'effectuer des opérations logico-mathématiques et infra-logiques[12][13] (Piaget et Inhelder, 1948 ; Marchand, 2004). Ce stade s'étend jusqu'à 12 ans. En géométrie, ce stade est marqué par le début d'un travail réfléchi sur les figures géométriques en deux et trois dimensions.

Le stade formel s'étale de 12 ans à 17 ans. La nouveauté à ce stade est le raisonnement hypothético-déductif, c'est-à-dire que l'enfant est amené à émettre des hypothèses selon les indices mis à sa disposition, mais aussi à défendre son point de

---

[11] Dans le cadre du développement de la pensée géométrique, l'espace figuratif est ce qui permet de reproduire des objets réels avec des représentations, comme un dessin ou une figure géométrique, tandis que la fonction symbolique est principalement reliée à l'apprentissage du langage, ce qui permet à l'enfant de confronter sa pensée à celle des autres et lui exige l'articulation de cette même pensée.

[12] Plus exactement, il développe graduellement son raisonnement inductif, déductif et de catégorisation sur des ensembles d'objets, et il tire parfois des conclusions de ce raisonnement.

[13] À ce stade, l'enfant est capable de le faire, ce qui ne veut pas dire qu'il le fait.

vue à l'aide d'arguments. C'est également à ce stade que l'enfant se détache du réel et pense les objets en dehors de leur présence. En géométrie, l'introduction à la démonstration est associée à ce stade. L'enfant doit alors faire des inférences en ayant recours aux définitions et aux propriétés des objets géométriques.

2.1.2 Le modèle des niveaux de pensée géométrique de Van Hiele

Environ une décennie après que Jean Piaget et Bärbel Inhelder (1948) eurent pensé le développement de la pensée géométrique et spatiale chez l'enfant, un autre modèle a vu le jour, celui de Van Hiele (1959). Ce modèle est devenu un des modèles les plus utilisés en didactique de la géométrie. Tout comme le modèle de Piaget et Inhelder, le modèle de Van Hiele s'intéresse au développement de la pensée géométrique et spatiale à travers des étapes successives. Dans le cas des stades de développement de Piaget et Inhelder, ils étaient au nombre de quatre, et presque tous les enfants, sans problème majeur, les atteignent environ aux mêmes âges[14]. Dans le cas des niveaux de pensée géométrique de Van Hiele, il y en a cinq et ils ne sont pas assignés à des âges précis, mais plutôt à des étapes du développement de la pensée géométrique. Au fil des prochains paragraphes, une définition des cinq niveaux de pensée géométrique sera donnée. Ensuite, quelques idées complémentaires en lien avec le modèle de Van Hiele suivront.

---

[14] Toutefois, il y a une nuance à apporter concernant le dernier stade, auquel certains élèves n'arrivent jamais.

Le modèle des niveaux de pensée de Van Hiele (1959) stipule que la compréhension de la géométrie s'étale sur cinq niveaux : 1) identification-visualisation ; 2) analyse ; 3) déduction informelle ; 4) déduction formelle ; 5) rigueur[15]. Ces niveaux sont hiérarchiques, dans le sens qu'un niveau de pensée supérieur est plus complexe et abstrait que les niveaux précédents. Les niveaux sont également séquentiels, ce qui signifie qu'un élève ne peut maîtriser un niveau de pensée s'il ne maîtrise pas préalablement les niveaux de pensée inférieurs. Un élève ne peut donc pas sauter un niveau de pensée.

Il importe de dire qu'un objet géométrique n'est pas nécessairement associé à un niveau de pensée (Burger et Shaughnessy, 1986). Les figures géométriques sont abordées à plusieurs niveaux scolaires, mais différemment, de façon à assurer le développement de la pensée géométrique pour chaque objet géométrique. En ce sens, chaque niveau de pensée a son propre langage mathématique. Des exemples de l'évolution du langage au travers des niveaux de pensée seront présentés dans les prochains paragraphes.

Un élément particulièrement utile de ce modèle réside dans une explicitation plus pointue de comment un élève peut passer d'un niveau de pensée au suivant. En effet, alors que le modèle de Piaget et Inhelder (1948) stipule que les stades de développement évoluaient avec l'âge pour presque tous les élèves sans problème de développement grave, Pierre et Dina Van Hiele considèrent plutôt qu'il est possible

[15] C'est une traduction libre, mais plusieurs autres existent. Il existe une variante dans laquelle un niveau est ajouté et certaines variantes pour laquelle les numéros de chaque niveau sont décalés (0 à 4 ou 0 à 5).

de passer d'un niveau au suivant, sans tenir compte de l'âge, par le biais de cinq phases : information, orientation dirigée, explication, orientation libre, intégration.

Niveau 1 : identification-visualisation

C'est le premier niveau de pensée à acquérir. Certains élèves entrent au primaire en maîtrisant déjà ce niveau de pensée, mais ce n'est pas nécessairement le cas de tous. Ce niveau de pensée concerne l'apparence des figures. L'élève sait identifier des figures selon leur aspect global en les associant souvent à des objets réels, comme un tableau pour un rectangle ou une horloge pour un cercle (Fuys et al., 1988 ; Braconne-Michoux, 2014a). Dans certains cas, il est capable d'identifier des parties d'une figure dans la résolution d'un problème simple, mais pas de l'analyser selon ses propriétés. À ce niveau de pensée, l'élève est également en mesure de construire une figure avec du matériel, en dessiner une imprécisément ou en copier une lorsqu'elle lui apparait visuellement. Le langage employé à ce niveau de pensée concerne la perception qu'il a des objets géométriques. Par exemple, un élève pourrait dire qu'une figure est un carré parce qu'il le voit, ou d'une autre figure qu'elle ressemble à un cercle, et donc qu'il est très probable que cette figure soit un cercle.

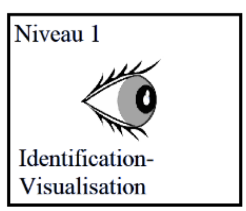


Figure 2 – Une représentation du premier niveau de Van Hiele

Niveau 2 : analyse

À partir du moment où l'élève maîtrise le niveau d'identification-visualisation, il peut expérimenter des activités exploratoires qui visent la découverte des propriétés. Il navigue alors dans le deuxième niveau de pensée : l'analyse[16]. En effet, une figure peut être comprise comme un ensemble de composantes, comme des sommets ou des côtés. L'élève sera amené à étudier individuellement ou dans leur ensemble les composantes des figures. Cette exploration est communément appelée l'étude des propriétés des figures. Par exemple, il apprendra que dans un losange, les côtés sont de même longueur. Il saura aussi que dans un losange, les diagonales se croisent à angle droit. Ainsi, en observant et en comparant plusieurs ensembles de figures, il découvrira et discernera ce qui est propre à chacune. Il sera également attendu de l'élève qu'il se serve des différentes représentations de ces propriétés pour construire des figures, pour formuler des généralisations ou pour résoudre des problèmes géométriques de façon analytique. Le langage associé à ce niveau concerne les composantes des figures.

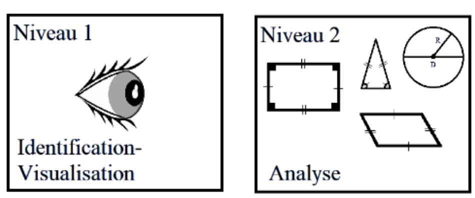


Figure 3 – Une représentation des deux premiers niveaux de Van Hiele

[16] Le Larousse en ligne (s. d.) définit l'analyse comme suit : « [l'] opération par laquelle l'esprit décompose un ensemble constitué, pour en déceler l'autonomie des parties, pour en apprécier mieux la congruence ou la finalité, ou simplement pour rendre accessible chacun de ses éléments » (s. d.). C'est exactement ce sens qu'il faut attribuer à ce niveau de pensée.

Niveau 3 : déduction informelle

Ce niveau est associé à l'apprentissage de la déduction. Comme mentionné précédemment, cela se fait en deux temps : d'abord la déduction informelle (niveau 3), puis la déduction formelle (niveau 4). Illustrons l'évolution de la pensée à ce niveau à l'aide de quelques exemples.

Alors qu'au niveau 2, un élève peut énoncer qu'un rectangle ou un carré a quatre angles droits, ce n'est qu'au niveau 3 qu'il est en mesure de faire des liens entre les figures ou les classes des figures (par exemple, comprendre qu'un carré est un rectangle). Une organisation dans les propriétés des figures se réalise, et l'élève parvient à déduire que certaines classes de figures font partie de classes de figures plus larges. Par exemple, il comprend qu'il existe certains rectangles dont tous les côtés sont de même longueur et qu'il s'agit des carrés. Les carrés font donc partie de la classe de figures plus large que constituent les rectangles. Autrement dit, il sait la définition de quelques objets géométriques. Toutefois, il ne saisit pas encore la portée et l'importance de de la définition des objets géométriques et il ne réfléchit pas profondément sur son rôle. C'est ce qui explique l'aspect informel et la déduction.

De plus, au niveau 3, les propriétés servent maintenant à une activité discursive plus élaborée, qui est l'argumentation. Un type d'activité reliée à ce processus serait de proposer une figure géométrique assortie d'un énoncé géométrique. L'élève devrait d'abord déterminer si l'énoncé est vrai, puis expliquer les raisons géométriques lui permettant de statuer. Par exemple, il pourrait être demandé à l’élève de déterminer si un carré est rectangle, et pourquoi, puis si un rectangle est un carré, et pourquoi.

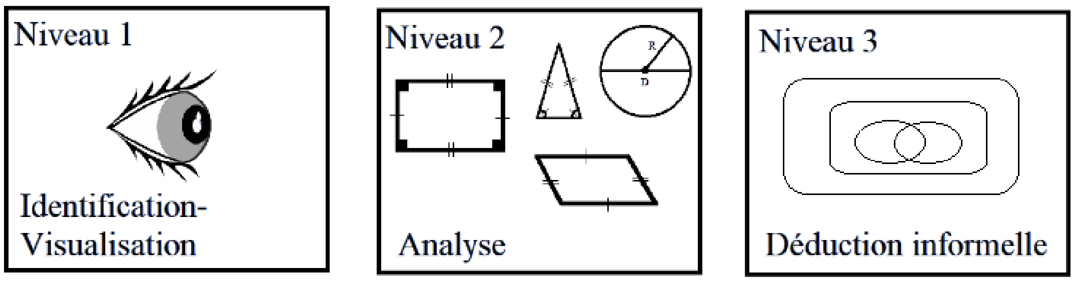


Figure 4 – Une représentation des trois premiers niveaux de Van Hiele

Niveaux 4 : déduction formelle

Le niveau 4 est visé à la fin des études secondaires. À ce niveau de pensée géométrique, il est maintenant demandé à l’élève de distinguer ou de nommer les différents concepts d’une démonstration, comme un axiome, un postulat, un théorème, etc. Il est également demandé de connaitre les différentes formes de raisonnement, comme la preuve par l’absurde, par induction, etc. C’est pendant l’apprentissage de la géométrie au niveau 4 que l’élève acquiert ces concepts et les exprime formellement à l’oral ou à l’écrit. Il est question de la démarche de démonstration par l’axiomatisation. C’est par ce processus qu’Euclide a rassemblé toutes les connaissances géométriques de l’époque pour « construire » le modèle de la géométrie euclidienne, toujours utilisé aujourd’hui.

Il pourrait être demandé à un élève de déterminer si dans la configuration suivante, l’angle DAB est droit, et pourquoi :

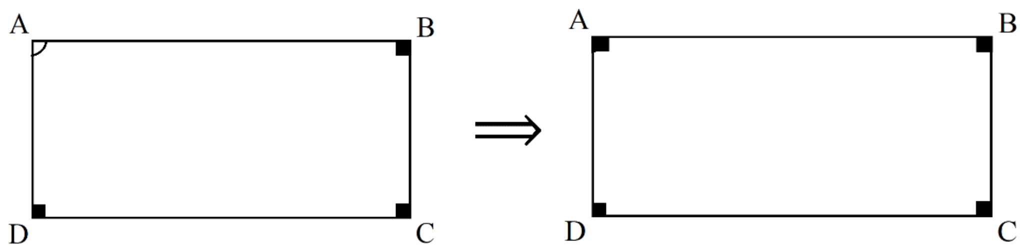


Figure 5 – Un exemple pratique d'une activité de déduction formelle

Une solution de l'élève qui pourrait être jugée adéquate au niveau 4 serait : il s'agit d'un angle droit puisque dans un quadrilatère, la somme des angles intérieurs est de 360°. Si la somme des angles ABC, BCD et CDA est de $90° + 90° + 90° = 270°$, alors l'angle restant doit mesurer $360° - 270° = 90°$, soit un angle droit.

On peut remarquer dans cette solution l'usage de la forme traditionnelle d'une implication logique en démonstration mathématique, soit *Si … , alors …* . Celle-ci consiste à partir d'un ensemble d'informations que nous savons vraies pour en déduire une nouvelle qui servira au cours de la démonstration ou dans un problème quelconque. C'est ce type d'argumentation qui est travaillé au niveau 4.

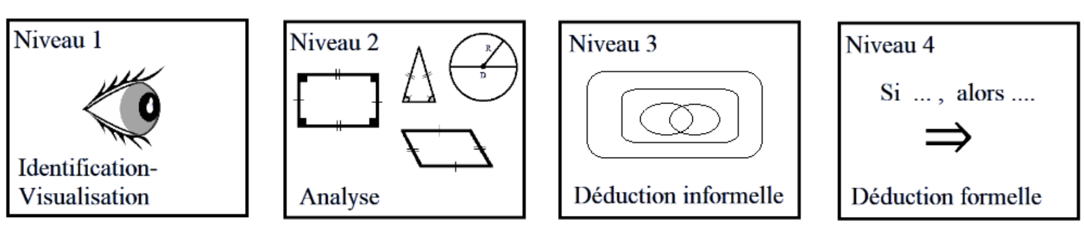


Figure 6 – Une représentation des quatre premiers niveaux de Van Hiele

Quant au cinquième niveau, Braconne-Michoux (2014a) mentionne qu'il a probablement été intégré à cette théorie à des fins de complétude. Le cinquième niveau est celui de la rigueur, c'est-à-dire de comprendre la géométrie euclidienne en tant qu'un tout cohérent découlant d'un jeu d'axiomes, mais également l'existence des autres géométries.

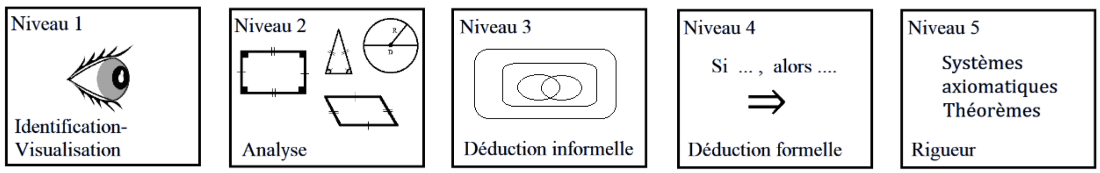


Figure 7 – Une représentation des 5 niveaux de Van Hiele

Alors que le niveau 5 dépasse largement les exigences du programme au secondaire, le niveau 4 n'est qu'effleuré avec des démonstrations géométriques très élémentaires. Autrement dit, les élèves terminent leur scolarité obligatoire sans maîtriser totalement le niveau 4. Notre recherche n'a pas comme but la compréhension de l'enseignement de la géométrie postsecondaire. C'est pourquoi les niveaux 4 et 5 ne seront pas abordés plus profondément dans cette recherche.

Informations complémentaires au modèle :

Premièrement, Burger et Shaughnessy (1986) relèvent que le niveau de pensée d'un élève peut varier d'un sujet (ou d'un objet géométrique) à un autre. Par exemple, advenant le cas où un élève a plus travaillé une figure qu'une autre, il pourrait avoir atteint un niveau supérieur pour cette première. Les élèves atteignent le niveau d'analyse plus rapidement pour le carré que pour le losange, puisque le carré est généralement plus abordé que le losange au début de la scolarité. Sur cette question, si un élève doit apprendre un nouveau sujet, même s'il est déjà à un niveau élevé (3-4-5) pour la plupart des sujets, il doit souvent d'abord l'apprivoiser selon les premiers niveaux. Fuys et al. (1988) considèrent toutefois que l'écart de niveau entre les différents sujets est rapidement réduit à la suite de l'enseignement des sujets où le niveau de pensée atteint est plus bas. Autrement dit, si l'élève a déjà atteint des niveaux élevés pour d'autres sujets, il ne devrait pas rester longtemps aux niveaux inférieurs pour un nouvel apprentissage.

Ensuite, les niveaux semblent discontinus, c'est-à-dire que des élèves passent par un moment de transition entre deux niveaux consécutifs (Shaughnessy et Burger, 1985). Cette transition se réalise par petites étapes et des difficultés peuvent survenir. Ces difficultés varient selon les particularités des élèves et les deux niveaux en question. Une transition a été observée entre le niveau 1 et 2 (Lunkenbein, 1980) et entre le niveau 2 et 3 (Burger et Shaugnessy, 1986). Selon ces auteurs, un phénomène d'oscillation entre deux niveaux est parfois remarqué. Celui-ci se résout souvent par une évolution sur le plan métacognitif ou en rendant explicite ce qui a été appris au niveau inférieur (Fuys et al., 1988), ce qui corrobore l'importance accordée au langage.

Finalement, Gutiérrez et al. (1991) ont quantifié l'acquisition des niveaux de pensée sur 100 et associé ce « pourcentage d'acquisition » aux degrés d'acquisition suivants : inexistant, bas, intermédiaire, haut et complet. Leurs travaux ont également concerné l'évaluation des niveaux de pensée de Van Hiele en fonction de leur modèle. Grâce à un test de géométrie spatiale comportant des questions ouvertes, ils peuvent assigner un élève à un niveau de pensée et à un degré d'acquisition.

2.1.3 Association de certaines difficultés en apprentissage de la géométrie aux niveaux de pensée géométrique de Van Hiele

De façon générale, une difficulté est définie comme une condition qui rend une situation difficile. C'est un obstacle à vaincre ou à surmonter. Une difficulté d'apprentissage est ce qui bloque l'intégration d'un savoir par une personne apprenante. Bien que les difficultés puissent avoir toutes sortes d'origines, l'accent sera mis sur difficultés d'ordre didactique dans cette section.

Dans l'apprentissage de la géométrie, les difficultés sont inévitables. Plusieurs personnes enseignantes souhaitent donc identifier et anticiper les principales lacunes pouvant être rencontrées et mettre en place des moyens pour permettre aux élèves de les surmonter. De plus, beaucoup de recherches portent sur ces difficultés, dans le but de les expliquer et d'apporter des pistes de solution (Detheux-Jehin et Chenu, 2000 ; Ekimova-Boublil, 2005; Özerem, 2012 ; Gauthier, 2015). Cela fait partie d'une tradition en didactique de la géométrie (Balacheff, 1988 ; Berthelot-Salin, 1992). Notre recherche nous amène également vers cette voie, puisque pour savoir si et comment le jeu sérieux peut contribuer à mettre de l'avant la pensée géométrique chez les élèves, il est judicieux de d'abord déterminer certains points qui seraient sujets à l'amélioration.

Nous identifierons donc douze difficultés fréquemment étudiées dans les textes sur l'apprentissage de la géométrie. Cette section sera divisée en trois parties : 1) les difficultés reliées au niveau 1 de Van Hiele (identification-visualisation) ; 2) les difficultés reliées au niveau 2 (analyse) ; et 3) les difficultés reliées au niveau 3 (déduction informelle)[17]. Nous avons associé chacune des difficultés au niveau qui la concernait le plus selon notre compréhension du modèle de Van Hiele, mais il est important de mentionner que certaines difficultés peuvent être vécues à plusieurs niveaux. De plus, certaines difficultés peuvent avoir certaines ressemblances sans toutefois être les mêmes.

Difficultés du niveau 1 (identification-visualisation) :

Beaucoup de difficultés concernent la visualisation, mais la plus centrale d'entre elles est probablement la flexibilité visuelle des élèves (Marchand, 2004 ; Gal et Linchevski, 2010 ; Saint-Bauzel, 2011 ; Gauthier, 2015 ; Sulistiowati et al., 2019 ; Barut et Retnawati, 2020). Bien que les élèves soient souvent en mesure de reproduire des exemples déjà réalisés en classe ou d'autres similaires, les problèmes ou les situations impliquant les mêmes figures, mais dans une disposition différente, sont moins réussis. Les élèves manquant de flexibilité visuelle ne savent pas s'adapter à de nouveaux contextes, même si les concepts impliqués sont les mêmes. Plus particulièrement, la création d'images mentales et les actions intériorisées sont souvent décrites comme difficiles. Imaginer une figure à la suite d'une transformation (développer, bouger, grossir, étirer, tourner, déformer, dédoubler, etc.) peut être difficile pour plusieurs.

[17] Comme mentionné précédemment, les niveaux 4 et 5 ne sont pas approfondis dans le cadre de cette recherche.

Une autre difficulté de base consiste en la reconnaissance visuelle des figures et des transformations géométriques (Ekimova-Boublil, 2005 ; Gal et Linchevski, 2010 ; Özerem, 2012 ; Bansilal et Naidoo, 2012 ; Blin, 2019). En effet, il semble problématique pour plusieurs élèves d'interpréter géométriquement ce qu'ils perçoivent visuellement. Par exemple, dans un problème où il faut trouver le volume d'une maison représentée (voir la figure 8), beaucoup d'élèves ne réussiraient pas à reconnaître qu'il s'agit d'un prisme droit à base rectangulaire surmonté d'un prisme droit à base triangulaire. Dès lors, il devient difficile de poursuivre la résolution du problème. Des difficultés semblables surviennent au moment de reconnaître la bonne transformation géométrique qui a été effectuée dans une représentation figure initiale / figure finale. Dans l'exemple ci-dessous (voir la figure 9a), des élèves pourraient penser que la figure rouge a été obtenue en appliquant une réflexion (voir la figure 9b), alors qu'il s'agit plutôt d'une rotation (voir la figure 9c). D'autres élèves peuvent identifier une transformation géométrique permettant d'obtenir la figure finale ou un axe de symétrie, mais ne sont pas en mesure de trouver d'autres possibilités de transformations arrivant à la même figure ou d'autres axes de symétrie (surtout si les axes sont obliques).

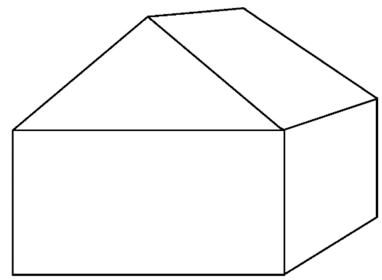
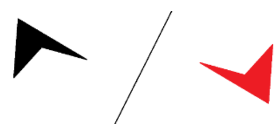


Figure 8 – Une maison représentée par un prisme droit à base rectangulaire surmonté d'un prisme droit à base triangulaire



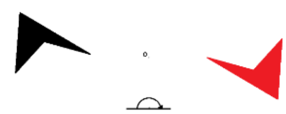


Figure 9a **Figure 9b** **Figure 9c**

Beaucoup de difficultés recensées concernent les habiletés des élèves à dessiner et représenter une figure, une configuration de plusieurs figures ou une situation-problème lors de laquelle la géométrie se manifeste (Mithalal, 2014 ; Özerem, 2012 ; Bansilal et Naidoo, 2012 ; Iori, 2018 ; Sulistiowati et al., 2019). Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces difficultés. Des élèves peuvent avoir une mauvaise conception de ce qu'il faut dessiner/représenter. Certains n'ont pas assez développé leur motricité fine. D'autres peuvent ne pas savoir comment se servir des outils géométriques. Finalement, la précision des dessins/représentations géométriques ferait également défaut chez plusieurs. Soit ils utilisent mal l'échelle, soit ils ne mettent pas assez de détails.

Difficultés reliées au niveau 2 (analyse) :

Quant à la résolution de problèmes, une difficulté générale est qu'après une lecture d'un problème, les élèves ne savent pas par où commencer (Özerem, 2012 ; Sulistiowati et al., 2019 ; Firmansyah et al., 2019). Un problème géométrique est souvent composé, tout comme les autres problèmes de mathématiques, de phrases textuelles et de symboles. Cependant, certains symboles (comme // ou θ) et éléments graphiques propres à la géométrie (comme une échelle ou l'isométrie de segments représentés à l'aide de tirets), de même que la conversion d'unités de mesure et l'utilisation de formules, viennent s'ajouter à la complexité des problèmes, si bien que beaucoup d'élèves ne savent pas quoi traiter en premier. Une cause possible de cette grande difficulté consiste en un apprentissage de la géométrie trop axée sur la mémorisation. En effet, bien des élèves mémorisent des étapes, des formules et des calculs dans l'espoir de les réinvestir tels quels dans les problèmes qu'ils rencontrent. Or, le raisonnement mathématique nécessaire à la résolution des problèmes rencontrés ne se résume évidemment pas à l'application automatique d'étapes apprises. Un raisonnement analytique parfois complexe est requis. Les élèves n'ayant pas suffisamment développé leur pensée critique et créative sont plus limités lors du choix de stratégies de résolution de problèmes. Finalement, leur manque d'habiletés pour faire visualiser le problème et en faire le croquis fait parfois en sorte qu'ils ne sont pas en mesure de trouver un modèle mathématique adéquat, et encore moins de l'utiliser pour résoudre le problème.

Les tâches demandant d'analyser logiquement les figures et les transformations géométriques posent généralement une difficulté (Ekimova-Boublil, 2005 ; Mithalal, 2010 ; Özerem, 2012 ; Bansilal et Naidoo, 2012 ; Gauthier, 2015 ; Andila et Musdi, 2020). Au début de la scolarité, un accent est mis sur la visualisation. Le mode de traitement par défaut devient donc le visuel. Or, les personnes enseignantes leur demandent ensuite de ne plus trop s'y fier et de plutôt s'en remettre aux propriétés des figures et des transformations géométriques. Beaucoup d'élèves ne font pas bien ou encore pas du tout cette transition et se fient toujours à leurs sens, et traitent alors de manière trop superficielle les propriétés figurales.

Lorsqu'il est demandé aux élèves de décrire une figure en particulier, une difficulté possible est qu'ils limitent leur analyse à une seule caractéristique (Ekimova-Boublil, 2005 ; Fujita, 2012 ; Gauthier, 2015). Habituellement, ils nomment la caractéristique la plus marquante en omettant d'autres caractéristiques essentielles.

Beaucoup d'élèves n'auraient pas une bonne connaissance des termes géométriques et les utiliseraient de manière inexacte et imprécise lors de l'identification, la description et la définition des phénomènes géométriques (Ekimova-Boublil, 2005 ; Özerem, 2012 ; Gauthier, 2015 ; Langlois, 2015 ; Blin, 2019 ; Barut et Retnawati, 2020). Il serait également très difficile pour ces élèves de s'exprimer à propos des procédures inhérentes à une construction géométrique. Ils manquent de rigueur, ce qui se traduit souvent par une tendance à baser leur argumentation et leurs conclusions sur l'apparence des figures plutôt que sur la logique pure.

Difficultés reliées au niveau 3 (déduction informelle) :

Au niveau de la déduction informelle, les activités demandant de faire des liens entre les figures et leurs propriétés sont souvent difficiles pour les élèves (Detheux-Jehin et Chenu, 2000 ; Ekimova-Boublil, 2005 ; Langlois, 2015 ; Barut et Retnawati, 2020). Ces difficultés se manifestent au moment de classifier les figures géométriques, de nommer une figure selon ses propriétés ou encore d'énumérer les propriétés d'une figure donnée.

Une difficulté souvent recensée concerne la justification d'un résultat (Detheux-Jehin et Chenu, 2000 ; Ekimova-Boublil, 2005 ; Tanguay, 2010 ; Mithalal, 2010 ; Weber, 2010 ; Gauthier, 2015). Lors du niveau 3[18], l'accent est mis sur l'argumentation. Il est souvent demandé, en plus de répondre à la question, de justifier le résultat obtenu. Bien que des élèves aient parfois une idée intuitive de la raison expliquant un résultat, la justification qui suit est souvent pauvre ou inexistante. Une des causes possibles de cette difficulté est que pour beaucoup d'élèves, ce qui est important, c'est d'arriver à la bonne réponse, et non pas de savoir expliquer ce qui les assure que la réponse est bonne, surtout lorsque le résultat est accessible grâce à l'intuition.

Une des grandes difficultés reliées au raisonnement du niveau 3 de Van Hiele est tout ce qui touche l'axiomatique, la structure logique de la géométrie et les chaînes argumentatives (Detheux-Jehin et Chenu, 2000 ; Gousseau-Coutat, 2006 ; Tanguay, 2010 ; Gauthier, 2015 ; Miyazaki et al., 2017 ; Barut et Retnawati, 2020). À partir du

[18] Il est à noter que l'accent est mis sur l'argumentation aux niveaux 4 et 5 également.

niveau 3, la géométrie s'apprend selon le système axiomatique, qui stipule qu'alentour d'un jeu d'axiomes se construit le savoir géométrique qui prendra la forme de définitions et de théorèmes. Cette nouveauté cause généralement des difficultés aux personnes apprenantes, et ce, même si l'enseignement est très graduel. Même lorsqu'un seul argument est requis, il peut être difficile d'expliquer un énoncé. Lorsqu'une chaîne argumentative de plusieurs arguments est nécessaire, comme lorsqu'il faut prouver que deux triangles sont semblables, c'est encore plus difficile. Il faut alors structurer adéquatement son argumentation pour démontrer chaque élément de la condition d'isométrie dans le bon ordre en faisant les bonnes déductions, en plus de faire des liens entre les différents énoncés et hypothèses. Finalement, les personnes apprenantes ne différencient pas toujours une implication et sa réciproque, et font donc de mauvaises inférences.

Une difficulté récurrente selon les textes consultés est le phénomène de la figure prototypique (Parzysz, 1989[19] ; Detheux-Jehin et Chenu, 2000, Belkhodja, 2007 ; Fujita, 2012 ; Gauthier, 2015). Fujita (2012) a étudié comment la relation d'inclusion des quadrilatères était apprise et les nombreux problèmes pouvant être rencontrés par les élèves. Pour illustrer la relation d'inclusion, considérons l'exemple du carré qui est également un rectangle, mais le rectangle qui n'est pas un carré. Le carré possède toutes les caractéristiques du rectangle. Selon l'auteur, la principale source de

[19] Le « conflit voir/savoir » par Parzysz représente un phénomène très similaire, puisque dans le phénomène de la figure prototypique, il y a prédominance du « voir » sur le « savoir », ce qui cause des difficultés.

difficultés vient du phénomène de la figure prototypique[20]. Par exemple, la figure prototypique du rectangle est l'image qui vient en tête lorsqu'on pense à un rectangle. Celle-ci ressemble souvent à l'un ou l'autre des rectangles de la figure 10. Ce rectangle imaginé possède généralement une paire de côtés parallèle aux bordures de la feuille, et souvent, la longueur est près du double de la largeur. Des élèves en difficulté n'imaginent pas souvent l'exemple de la figure 11, qui est pourtant un rectangle. La difficulté résultante est que les élèves peuvent associer au rectangle (ou autre figure) les attributs de la figure qu'ils s'imaginent. Ils ne font pas la distinction entre les attributs spécifiques d'une figure particulière et les propriétés de la classe de la figure. Plus de 50% des élèves de l'étude de Fujita (2012) ont fait ce type d'erreur. Ils possédaient une image « inflexible » de certaines figures et leur attribuaient des propriétés additionnelles et fausses. Finalement, plusieurs des difficultés rencontrées pour les quadrilatères peuvent également s'appliquer aux autres polygones (exemple de la hauteur du triangle pouvant se situer à l'extérieur de celui-ci).

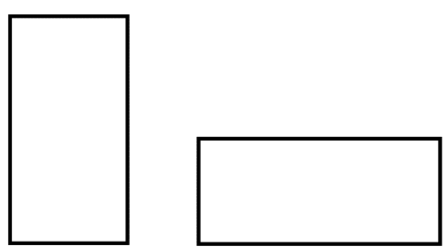


Figure 10 – Le rectangle dans ses représentations prototypiques

[20] Traduction libre.

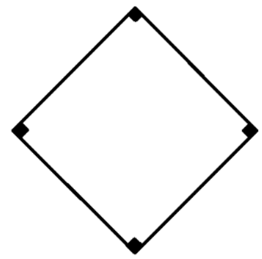


Figure 11 – Un rectangle particulier

Le phénomène de la figure prototypique est présent à la fois en deux dimensions et en trois dimensions. Lorsqu'une figure est dans une disposition « spéciale », ou particulière, les élèves réussissent moins bien à reconnaître les propriétés ou à identifier des paires de segments perpendiculaires, par exemple. Beaucoup d'élèves ont de la difficulté à imaginer la modification d'une figure (déplacement, rotation, etc.), ce qui ferait en sorte qu'ils préfèrent se fier au prototype visuel plutôt qu'à la définition formelle lorsqu'ils identifient et classifient des figures.

Une grande lacune relevée concerne la lecture et l'interprétation, lors desquelles des élèves peinent à extraire l'information pertinente du texte (Detheux-Jehin et Chenu, 2000 ; Ekimova-Boublil, 2005 ; Fujita, 2012 ; Gauthier, 2015 ; Langlois, 2015 ; Sulistiowati et al., 2019 ; Barut et Retnawati, 2020)[21]. En effet, que ce soit dans le cadre d'une situation-problème, d'un énoncé, d'une réponse ou d'une conclusion, le repérage des passages importants pour la suite cause souvent des difficultés. La connaissance du vocabulaire reste parfois apparentée au langage courant, tandis que le langage utilisé en géométrie se complexifie au fil du parcours scolaire. Cette

[21] À noter que cette difficulté peut également être associée à d'autres niveaux de Van Hiele, mais c'est au niveau 3 qu'elle était le plus souvent mentionnée.

difficulté se répercute aussi lorsqu'il faut justifier un énoncé, une démarche ou une réponse. De plus, n'étant pas toujours à l'aise avec le système axiomatique, bien des élèves ne comprennent pas les concepts de définition, théorème ou hypothèse, par exemple, ce qui les limite dans toutes sortes d'activités de nature axiomatique.

Ce cadre conceptuel traite du développement de la pensée géométrique et du jeu sérieux. Dans cette section (2.1), nous avons présenté des modèles de l'apprentissage de la géométrie et des difficultés. Dans la prochaine section (2.2), nous allons discuter du jeu sérieux, que nous avons décrit au chapitre 1 comme un moyen ayant le potentiel de travailler ou même surmonter quelques-unes de ces difficultés, et ainsi contribuer la pensée géométrique des élèves.

2.2 Le jeu sérieux

Cette partie sur le jeu sérieux servira à le définir de manière intuitive, puis formelle, tout en présentant les évènements déterminants dans son histoire. Pour conclure, un modèle théorique illustrera les différentes composantes du jeu sérieux.

2.2.1 Les définitions de jeu, de jeu vidéo et de jeu sérieux

Dans cette section, nous souhaitons éclaircir la façon dont est conçu le jeu sérieux et éviter de confondre le jeu sérieux avec d'autres formes que peut prendre le jeu. Pour y arriver, nous donnerons une définition du jeu, puis nous nous baserons sur deux distinctions, la plateforme et l'utilité.

Définition de jeu

D'abord, il est important, même si cela va de soi, de mentionner que le jeu sérieux fait tout d'abord partie de la catégorie du jeu, comme le montre la figure 13. Un jeu sérieux est donc un jeu, mais un jeu n'est pas nécessairement sérieux. Le jeu sérieux possède ainsi les caractéristiques principales du jeu, ce qui nous amène à partir de la définition du jeu pour ensuite bifurquer sur celles du jeu vidéo et du jeu sérieux en expliquant les spécificités de chaque sous-catégorie.

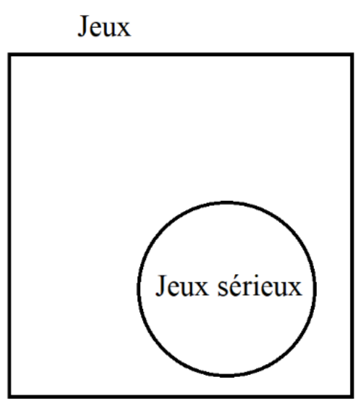


Figure 12 – Les jeux sérieux étant une sous-catégorie de *Jeux*

Cependant, même si le jeu est un concept intuitif, bien compris de tous et profondément ancré dans l'histoire humaine, c'est un concept assez vaste et complexe. Juul (2003) définit ce terme polysémique ainsi :

> Un jeu est un système dynamique formel dont le comportement, délimité par des règles, produit des conséquences variables et ayant des effets quantifiables. Le joueur doit avoir la sensation que ses

> actions influencent de façon contrôlée le comportement du jeu. Il doit être émotionnellement attaché aux résultats observés, mais il est seul à définir quelle est l'importance des résultats dans la vie réelle. (p. 255)[22]

Plateforme informatique (jeu vidéo)

La première distinction à apporter est celle de la plateforme sur laquelle le jeu se joue. En effet, il est possible de jouer sur différentes surfaces avec différents équipements. Alors que pendant longtemps, nous déplacions du vrai matériel physique dans un espace réel (déplacer un pion avec les mains, par exemple), l'arrivée de l'informatique a ouvert de nouvelles façons de jouer. Autour des années 1900, plusieurs découvertes ont permis l'invention des premières télévisions et des premiers ordinateurs. Ces technologies nous ont amené à concevoir des jeux qui pouvaient se jouer sur écran. Nous pouvons désormais commander des actions qui sont effectuées dans un environnement simulé, virtuel. C'est l'humain qui décide de l'action, mais c'est sur un écran qu'elle se réalise. La distinction que nous apportons ici est donc de savoir si la plateforme de jeu est informatique. Si elle l'est, nous pouvons classer le jeu comme étant un jeu vidéo, voir la figure 14.

---

[22] Traduction de l'anglais par Guardiola et al. (2012).

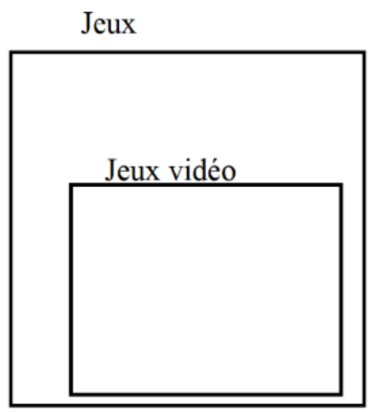


Figure 13 – Les jeux vidéo étant une sous-catégorie de *Jeux*

Tout cela a commencé dans les années 50, avec l'adaptation à l'écran de jeux de plateau statique, comme les dames (1951) et le tic-tac-toe (1952). C'est toutefois dans les années 60 et 70 que le jeu vidéo a vraiment commencé à s'implanter avec le jeu *Pong*[23] (1972), des jeux d'arcade comme Spacewar![24] (1962), Space Invaders[25] (1978) et Asteroids[26] (1979), ainsi qu'avec la création des entreprises spécialisées Atari (1972) et Nintendo (1978).

La popularisation des ordinateurs personnels a ensuite poussé l'industrie du jeu vidéo à diversifier les produits qu'elle développait et à les rendre plus abordables. Ainsi, des jeux vidéo comme Pac-Man (1980), Donkey Kong (1981) et Super Mario Bros (1985) ont vu le jour. Différents types de jeux vidéo ont émergé, comme les jeux en 3D, les

[23] **Pong** (**Atari**), « deviendra un succès dans les salles d'arcade ». C'est un jeu ressemblant à du ping-pong en deux dimensions.
[24] **Spacewar!** est un jeu vidéo conçu par les étudiants du MIT sur la plateforme PDP-1. C'est un jeu de guerre dans l'espace.
[25] **Space Invaders** (**Taito**) est considéré comme un des jeux vidéo les plus influents et célèbres de l'histoire. Des polémiques l'entouraient concernant son utilisation par les personnes joueuses.
[26] **Asteroids** (Atari) est le jeu le plus vendu d'Atari.

jeux de sport, les jeux de stratégie en temps réel et les jeux à monde persistant (souvent associés aux MMORPG[27]), pour n'en nommer que quelques-uns.

Par la suite, d'autres technologies ont été mises à contribution par les entreprises de jeux vidéo. Notons particulièrement les consoles portatives, comme le Game Boy (1989) et le N-Gage[28] (2003), la captation de mouvements avec la Wii (2006) et la caméra Kinect qui permet de jouer sans manette (2008).

Cette évolution a créé beaucoup d'engouement pour l'industrie du jeu vidéo. Les jeux vidéo sont donc de plus en plus populaires. Il y a quelques décennies, c'étaient surtout les jeunes qui y jouaient, mais aujourd'hui, ce sont des personnes de tous les âges qui y jouent. Depuis quelques années, la médiatisation des sports électroniques (Esports) a permis d'organiser des compétitions de jeux vidéo très populaires, atteignant même environ 36 millions de spectateurs pour un évènement en 2015[29].

Puis, dans les décennies 2000 et 2010, nous avons connu l'émergence des jeux vidéo indépendants. Bien que l'industrie soit toujours dominée par les géants Nintendo, Sony et Microsoft, il est maintenant plus facile pour de petites entreprises (ou groupes de personnes) de créer un jeu vidéo sans disposer de sommes astronomiques au départ. Un jeu vidéo indépendant est un jeu vidéo créé dans de telles conditions. Minecraft en est un bon exemple. Ce jeu, qui permet de construire virtuellement des structures à l'aide de blocs, est devenu le jeu vidéo le plus vendu de tous les temps.

---

[27] MMORPG représente « Massive multiplayer online role playing game ».

[28] **N-Gage** (**Nokia**) est un téléphone cellulaire permettant de jouer à des jeux vidéo.

[29] Des stades ont été remplis pour voir l'évènement, en plus de millions de personnes spectatrices qui le visionnaient en ligne.

Utilités (jeu sérieux)

Si nous avons affaire à un jeu vidéo, il y a une deuxième distinction que nous devons faire pour déterminer s'il s'agit d'un jeu sérieux. À sa conception, un jeu vidéo peut avoir plusieurs utilités. La fonction principale et essentielle d'un jeu vidéo est le divertissement. La personne joueuse participe au jeu vidéo pour éprouver du plaisir. Il arrive toutefois qu'un jeu vidéo soit également conçu dans un autre but. Un jeu vidéo peut avoir comme objectif, en plus du divertissement, de diffuser un message (*persuasive game*), de simuler fidèlement une situation ou de faire apprendre. Un tel jeu vidéo est appelé jeu sérieux (voir la figure 14).

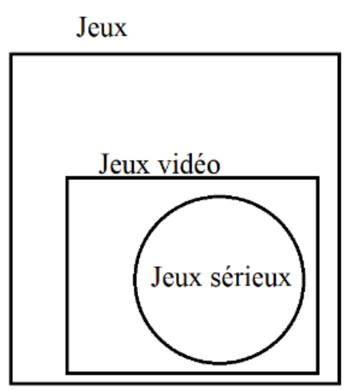


Figure 14 – Un schéma d'inclusion des jeux

Si les premiers jeux vidéo sont apparus dans les années 50 et 60, l'idée même de jeu sérieux est évoquée pour la première fois par Abt (1970)[30] et les premiers jeux sérieux sont plutôt apparus peu après avec *Oregon Trail* (1974), *Army Battlezone* (1980) et *Where in the World Is Carmen Sandiego?* (1985). Ces jeux sérieux sont

[30] Toutefois, pour Clark Abt, dans son livre « Serious Games », un jeu sérieux n'est pas nécessairement un jeu vidéo.

relativement connus puisqu'ils sont parmi les seuls ayant eu un succès avant que d'importants développements n'aient lieu vers la fin des années 90. Parmi ceux-ci, notons la sortie des jeux sérieux *VirtualU* (1999), mais surtout *America's Army*[31] (2002).

Gee (2003), ainsi que Sawyer (2002) et Zyda (2005), qui ont participé au développement et à la mise en marché de *VirtualU* et *America's Army*, ont publié des ouvrages aidant à la croissance et à l'acceptation de ce secteur des jeux vidéo. Du côté francophone, plusieurs recherches ont eu lieu afin d'en arriver à des définitions, typologies et analyses des composantes (Alvarez, 2007 ; Sauvé, 2008 ; Alvarez et al., 2011).

Avec l'historique des jeux vidéo et des jeux sérieux, il est possible de constater que les grandes entreprises de jeux vidéo s'approprient rapidement les technologies lorsqu'elles émergent et qu'elles peuvent être intégrées. C'est toutefois beaucoup plus long avant que les technologies ne soient expérimentées et implantées aux jeux sérieux. Il y a un certain décalage, ce qui est probablement dû au fait que les jeux vidéo (non sérieux) ont généralement le potentiel de générer plus de profits. Néanmoins, nous remarquons que de plus en plus de nouvelles technologies sont appliquées aux jeux sérieux pour promouvoir des apprentissages de diverses manières.

[31] **America's Army** est né d'une initiative du gouvernement des États-Unis, qui a débloqué sept millions de dollars afin de concevoir ce jeu dont le but est d'amener des Américains à s'enrôler dans l'armée américaine en redorant son image.

Quelques jeux sérieux pour l'apprentissage des mathématiques

Quelques jeux sérieux ont été conçus pour l'apprentissage des mathématiques (voir Tableau 1).

Tableau 1 – Différents jeux sérieux répertoriés pour l'apprentissage des mathématiques

Compagnie	Jeu sérieux		
Ululab	Slice Fractions	Slice Fractions 2	
Dragon Box	DragonBox : Éléments	DragonBox : Numbers	DragonBox : Big Numbers
	DragonBox : Algebra 5+	DragonBox : Algebra 12+	
MangaHigh	Minus Miners	A Tangled Web	Bubble Function
	Deepest Ocean	Flower Power	Graphs of the Galaxy
	Ice Ice Maybe	Jabara	Jetstream Riders
	Little Raincloud	Pinata Fever	Pyramid Panic
	Robo Ops	Sigma Prime	Sundae Times
	Transtar	The Wrecks Factor	

Définition formelle du jeu sérieux

La définition de jeu sérieux la plus utilisée dans la littérature scientifique est celle d'Alvarez (2007) :

> Application informatique, dont l'intention initiale est de combiner, avec cohérence, à la fois des aspects sérieux (Serious) tels, de manière non exhaustive et non exclusive, l'enseignement,

> l'apprentissage, la communication, ou encore l'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo (Game). Une telle association, qui s'opère par l'implémentation d'un "scénario pédagogique", qui sur le plan informatique correspondrait à implémenter un habillage (sonore et graphique), une histoire et des règles idoines, a donc pour but de s'écarter du simple divertissement. Cet écart semble indexé sur la prégnance du "scénario pédagogique". (p. 51)

La définition de Sauvé (2008) est également intéressante et utile, puisqu'elle est plus simple, qu'elle met moins l'accent sur les autres utilités du jeu sérieux que l'apprentissage et qu'elle explique la différence entre un jeu sérieux et un jeu de simulation. La définition en question est la suivante :

> Un [jeu sérieux] est un jeu vidéo (avec un environnement réaliste ou artificiel) auquel les auteurs rattachent une composante pédagogique. L'intégration ou non de la composante réaliste rapproche les jeux sérieux des jeux de simulation qui sont définis comme un modèle simplifié et dynamique d'un système réel ou hypothétique, où les joueurs sont en position de compétition ou de coopération, où les règles structurent les actions des joueurs et où le but poursuivi est de gagner. (p. 297)

Pour terminer sur les définitions et distinctions, dans le cas d'un jeu sérieux visant un apprentissage, il sera nommé jeu sérieux éducatif. Dans ce mémoire, l'intérêt sera mis sur ce type de jeu sérieux.

2.2.2 Les composantes du jeu sérieux

Plusieurs modèles font état du jeu sérieux. Parmi tous ceux qui sont disponibles, notre choix s'est arrêté sur celui de Yusoff et al. (2014) puisqu'il nous semble complet, sans être trop complexe. L'idée est simplement de présenter les principales composantes[32] d'un jeu sérieux éducatif avec une brève définition et le schéma conceptuel indiquant les liens entre les composantes (voir Figure 15).

1. Aptitude : C'est ce que la personne conceptrice veut faire développer chez la personne joueuse. L'aptitude est principalement cognitive ou psychomotrice ;
2. Contenu pédagogique : Cela représente les savoirs à transmettre. Ils peuvent être de quatre types : faits, procédures, concepts et principes ;
3. Intentions pédagogiques : Ce sont les buts à atteindre en jouant au jeu. Il s'agit d'une combinaison d'aptitudes et des contenus pédagogiques ;
4. Attributs idéaux d'un jeu[33] : C'est ce qui supporte l'apprentissage et l'engagement ;
5. Activité d'apprentissage : C'est ce que l'élève acte dans l'intervalle de temps lors duquel il joue ;
6. Réflexion : C'est un moment lors duquel la personne joueuse réfléchit à propos des objectifs et décide de la stratégie à appliquer. La réflexion se déroule en plein cœur du jeu ;
7. Genre de jeu : C'est le type ou la catégorie du jeu joué. Par exemple, il peut s'agir d'un jeu de stratégie, d'un jeu d'action, etc. ;
8. Mécaniques de jeu : Ce sont les détails qui définissent la manière de jouer ;

[32] Traduction libre

[33] Selon les théories de l'éducation (béhaviorisme, cognitivisme, constructivisme et neurosciences). Nous approfondirons sur les attributs idéaux qu'un jeu sérieux éducatif doit posséder dans l'analyse des résultats.

9. Facteurs de réussite : Ces derniers indiquent à quel point une personne joueuse a bien accompli ce qu'il devait faire. Ils prennent généralement la forme de points (*score*) et peuvent également être accompagnés d'une rétroaction (*feedback*).

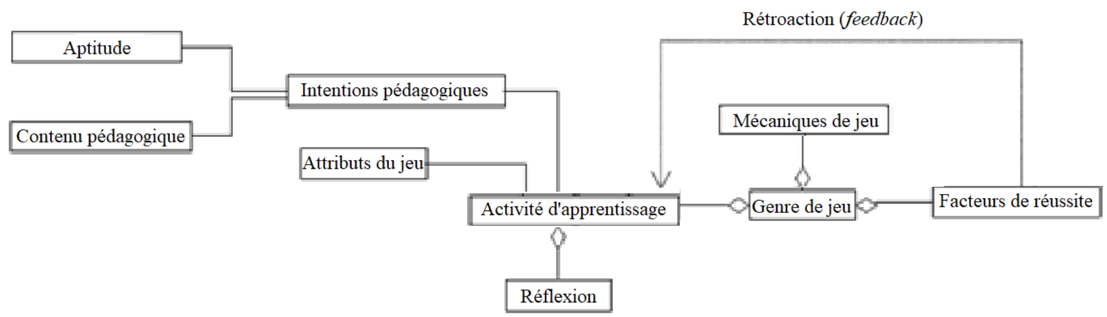


Figure 15 – Un schéma conceptuel du jeu sérieux (traduit de Yusoff et al., 2009)

2.3 Les objectifs de recherche

Jusqu'à présent dans ce mémoire, il a été montré dans le chapitre de la problématique que plusieurs résultats de recherches pointent vers une efficacité des jeux sérieux comme support au développement de la pensée géométrique des élèves. Nous avons cependant nuancé cet argument par le fait qu'il n'y a pas suffisamment de recherches qui portent sur l'apprentissage de la géométrie à l'aide d'un jeu sérieux et qu'il existe peu de jeux sérieux en géométrie. Étant donné que le choix des jeux sérieux en géométrie est limité et que d'en concevoir un serait un exercice d'une trop grande ampleur dans le cadre d'un mémoire, nous décidons plutôt d'étudier le sujet théoriquement. Nous disposons maintenant de meilleures connaissances relatives au développement de la pensée géométrique et du jeu sérieux. Ces informations nous aideront à amorcer une analyse plus profonde et systématique de notre question, qui est : comment le jeu sérieux peut contribuer à mettre de l'avant la pensée géométrique chez les élèves?

En vue de répondre à cette question, les objectifs de recherche sont donc les suivants :

1. Déterminer des avantages du jeu sérieux sur l'apprentissage de notions associées au domaine de la géométrie.
2. Identifier et analyser les moyens susceptibles d'aborder certaines difficultés d'apprentissage en géométrie à l'aide d'un jeu sérieux.
3. Décrire, si l'analyse le permet, des applications du jeu sérieux au développement de la pensée géométrique des élèves.

CHAPITRE III

LA MÉTHODOLOGIE

Alors que les théories entourant l'apprentissage de la géométrie et du jeu sérieux font l'objet de nombreuses recherches, celle qui les lie n'est pas encore approfondie. Dès lors, nous ne pouvons assurer que le jeu sérieux peut contribuer au développement de la pensée géométrique, et dans le cas échéant, comment cette contribution se matérialise. Dans la problématique, nous avons montré que malgré le manque de résultats allant dans ce sens, il est plausible de penser que le jeu sérieux serait un outil tout adapté aux besoins du développement de la pensée géométrique. Cependant, rien n'est prouvé et nous souhaitons faire progresser la connaissance que nous avons de ce phénomène. C'est pourquoi, dans le cadre de ce mémoire, nous optons pour une recherche théorique et spéculative, qui selon Martineau et al. (2001), « vise à produire des énoncés théoriques à partir d'autres énoncés théoriques » (p. 4). Dans ce chapitre, nous définirons d'abord ce qu'est une recherche théorique. Ensuite, l'anasynthèse, une méthode sous-jacente de la recherche théorique, sera décrite. Nous détaillerons les étapes habituelles de l'anasynthèse avant de présenter notre adaptation de l'anasynthèse en fonction des besoins et des contraintes de notre recherche.

3.1 La recherche théorique

Guay (2004) définit la recherche théorique comme une recherche « qui vise la conceptualisation de modèles théoriques (propositions, définitions, typologies, taxonomies, réseaux notionnels, etc.) d'un objet complexe, par l'analyse et la synthèse d'une pluralité de données conceptuelles ou empiriques ou d'autres modèles » (p. 17).

Dans ce type de recherche, ce sont les textes qui constituent le matériel à partir duquel le chercheur pourra engendrer des énoncés. Ces énoncés ne sont pas démontrés à l'aide d'une expérimentation. Ils sont plutôt justifiés à l'aide d'une argumentation qui repose sur l'interprétation des résultats de recherche. Il existe des méthodes limitant la part de subjectivité que l'interprétation de la personne chercheuse pourrait provoquer, de sorte que l'argumentation ne se limite pas à des opinions. En effet, la personne chercheuse (ou l'équipe de personnes chercheuses) soulève de nouveaux énoncés en concordance avec le construit théorique des personnes chercheuses ayant étudié et expérimenté sur le sujet avant elle. Les énoncés ainsi créés possèdent donc une légitimité scientifique. À ce sujet, Martineau et al. (2001) mentionnent que « la construction créée par [la personne chercheuse] n'est pas un objet vécu, ni visible, mais le fruit d'une observation et d'une réflexion qui puisent dans la multiplicité des acteurs et la totalisation de l'histoire [ce qui] vient donner un sens nouveau à un fait, une action, un phénomène » (p. 11).

Cette démarche interprétative implique une analyse conceptuelle d'un sujet, qui consiste à dégager le sens d'un concept et à identifier les constituants de celui-ci. Dans le cadre de ce projet de maîtrise, nous procéderons par anasynthèse.

3.2 L’anasynthèse

Pour expliquer la démarche d’anasynthèse, nous nous baserons principalement sur le texte de Messier et Dumais (2016) puisqu’il porte sur son application au domaine de l’éducation. La démarche utilisée dans ce projet de mémoire différera toutefois de celle présentée par ces auteurs. Nous l’adapterons aux contraintes de notre contexte de recherche. La plupart des recherches d’anasynthèse portent sur un seul sujet en particulier, généralement déjà documenté, excepté pour un aspect qui sera l’objet d’étude. Notre recherche d’anasynthèse a plutôt pour ambition d’étudier la dynamique entre deux sujets déjà documentés. Dans cette section, nous décrirons d’abord les étapes de l’anasynthèse dans sa forme prototypique, en abordant également les principes inhérents à cette méthodologie. Ensuite, nous présenterons notre adaptation de l’anasynthèse aux besoins et contraintes de notre recherche.

3.2.1 L’anasynthèse dans sa forme prototypique

L’anasynthèse est généralement composée de sept étapes (Messier et Dumais, 2016) : 1) ensemble de départ; 2) analyse; 3) synthèse; 4) prototype; 5) simulation; 6) modèle; 7) rétroactions. La figure 16 représente les étapes de l’anasynthèse :

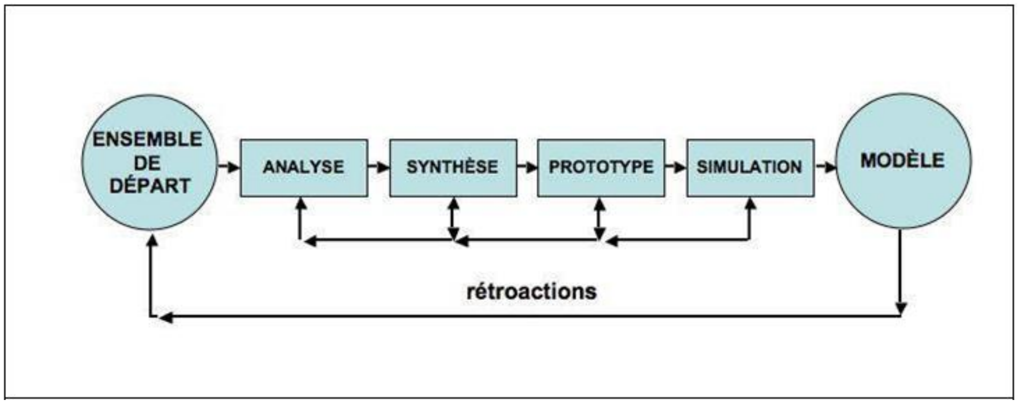


Figure 16 – Un schéma des étapes de l'anasynthèse (Legendre, 2005 ; cité dans Messier et Dumais, 2016)

Avant d'expliquer chacune des sept étapes, il est important de mentionner que l'anasynthèse n'est pas un processus linéaire, c'est-à-dire qu'une fois qu'une étape est réalisée, il est possible et même probable qu'on y revienne en fonction de prises de conscience lors des étapes ultérieures. L'anasynthèse est ainsi un processus itératif[34]. Cela veut dire qu'au cours des étapes, certaines informations recueillies ou élaborées seront mal formulées, incomplètes ou tout simplement fausses. De plus, il se peut que l'ordre des étapes ou encore le degré de précision prévus initialement se révèlent inadaptés à la réalité des recherches dans le domaine ou aux besoins de la recherche. S'il effectue bien sa démarche d'anasynthèse, la personne chercheuse réalisera tôt ou tard ces lacunes lors des étapes qui suivent. À ce moment, elle devra retourner corriger le tir à l'étape où l'erreur a été commise. Ces allers-retours sont les rétroactions (étape 7).

---

[34] Itératif signifie de répéter des étapes plusieurs fois.

La première étape consiste en l'identification de l'ensemble de départ. Cette étape est décomposée en trois sous-étapes, l'établissement du champ notionnel, le recensement des écrits et la recension des écrits (Messier et Dumais, 2016). Le champ notionnel est un ensemble de termes qui sont les principaux éléments de la recherche. Le recensement des écrits signifie de répertorier tous les textes qui ont le potentiel d'aider à la compréhension du sujet de recherche. La recension des écrits consiste quant à elle à faire un tri, grâce à des critères de sélection, des textes pour permettre de réduire le corpus de textes à un ensemble suffisamment petit pour être traitable et suffisamment grand pour s'assurer de couvrir tout ce qui est pertinent par rapport au problème de recherche. Le résultat de cette étape est que la personne chercheuse possède un corpus de textes pertinents et qu'elle a délimité son problème de recherche.

La deuxième étape est celle d'analyse, qui consiste à analyser le corpus de textes pour en retirer les composantes du sujet et les relations entre ces composantes. Plusieurs techniques permettent de réaliser cette étape. Messier et Dumais (2016) proposent cinq sous-étapes, inspirées de L'Écuyer (1987, 1990) : 1) lecture préliminaire des écrits; 2) repérage dans les écrits des unités d'analyse pertinentes; 3) catégorisation et classification des unités d'analyse; 4) quantification et traitement statistique; 5) description scientifique. À la fin de ces sous-étapes, la personne chercheuse a comme résultat les différentes composantes et la dynamique entre celles-ci.

La troisième étape est la synthèse des éléments recueillis et analysés précédemment. Cela permet de les regrouper et les structurer. À cette étape, certaines informations paraîtront superflues, mais il émergera également que d'autres informations manquent. C'est normal et cela amène la personne chercheuse à retourner aux étapes précédentes (rétroactions).

À la fin de la synthèse, la personne chercheuse a les éléments nécessaires pour travailler sur le prototype, qu'est la quatrième étape de l'anasynthèse. Le prototype est une version préliminaire du modèle (Messier et Dumais, 2016). À cette étape, les rétroactions proviennent également du comité de recherche ou par les personnes chercheuses qui encadrent le processus. Cela peut se faire sous forme de commentaires, permettant de bonifier le prototype.

La simulation du prototype (étape 6) consiste à soumettre le prototype à des personnes expertes de l'objet ou du domaine d'étude pour valider certains aspects du prototype et d'en retravailler d'autres par la suite. Les personnes expertes partagent leur analyse critique du prototype avec la personne chercheuse. Cela peut se faire de différentes façons.

Lorsque la personne chercheuse a adapté le prototype aux commentaires des personnes expertes, et que d'autres commentaires ne viennent plus le modifier, « [il] y a saturation et le prototype devient un modèle » (Messier et Dumais, 2016, p. 65). Le modèle est la sixième et dernière étape de l'anasynthèse.

3.2.2 Notre adaptation du processus d'anasynthèse

Dans le cadre de ce mémoire, nous n'opérationnaliserons pas l'anasynthèse exactement de la même façon que Messier et Dumais (2016). D'abord, comme nous l'avons mentionné précédemment, alors que d'habitude, l'objet d'étude est unique et bien documenté (excepté pour une certaine problématique qui est au cœur de la recherche), notre cas est particulier parce que nous avons deux sujets de recherche différents et que notre objectif est plutôt d'étudier la dynamique entre les deux sujets, comme représenté à la figure 17. Cet aspect amène l'ajout de quelques étapes.

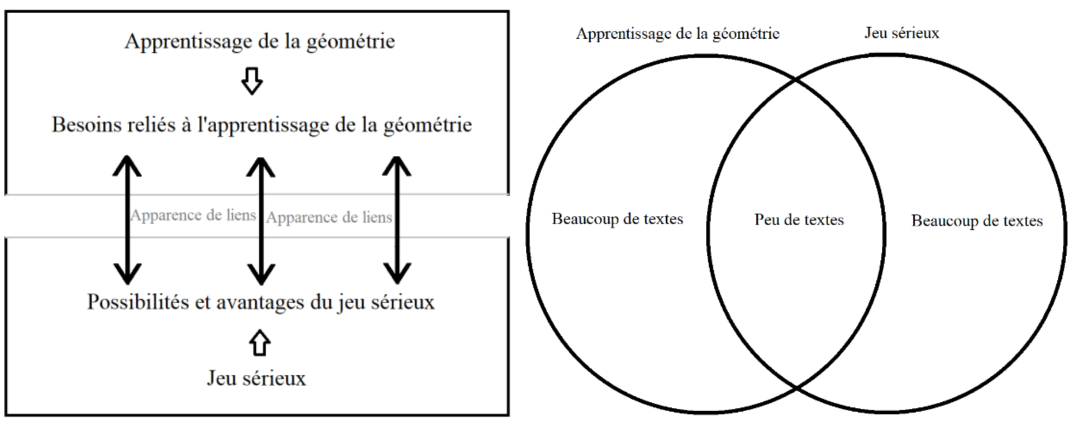


Figure 17 – Une représentation de l'état des connaissances de l'apprentissage de la géométrie[35] et du jeu sérieux

Cependant, faire une anasynthèse complète de chacun des sujets, en plus de faire l'étude de l'intersection des deux sujets, constituerait un projet beaucoup trop

[35] Même si précédemment, nous parlions de *développement de la pensée géométrique*, nous allons parfois utiliser l'expression *apprentissage de la géométrie*, puisque dans les bases de données, cette expression est plus souvent utilisée et nous fournit donc plus de textes pertinents. Il sera donc question des champs notionnels et des corpus de textes de l'apprentissage de la géométrie.

ambitieux dans le contexte d'un projet de maîtrise. Nous ne visons toutefois pas la création d'un modèle théorique en entier. Ce que nous visons, c'est plutôt l'étape 3 de l'anasynthèse, soit la synthèse des éléments. L'objectif n'est pas d'avoir un modèle complet, mais bien de tirer des conclusions et une meilleure compréhension quant à l'intersection des deux sujets, l'apprentissage de la géométrie et le jeu sérieux. La formation d'un modèle n'est donc pas nécessaire, ce qui justifie de nous concentrer sur les premières étapes de l'anasynthèse.

La première étape de notre anasynthèse est de nous documenter sur chacun des deux sujets, c'est-à-dire clarifier les notions et présenter deux modèles, un pour l'apprentissage de la géométrie et un pour le jeu sérieux.

La deuxième étape consiste à établir un champ notionnel pour chacun des deux sujets. Ce sont des termes qui représentent différents aspects ou différentes composantes des sujets[36]. Tout juste avant de commencer cette étape, nous orienterons les champs notionnels en fonction de nos objectifs de recherche, de façon que l'analyse qui en suit puisse bénéficier de ces champs notionnels. Ils devront donc concerner les difficultés de l'apprentissage de la géométrie, les pistes pour aborder ces pistes, ainsi que les avantages perçus du jeu sérieux. De plus, comme nous analyserons des textes en anglais, nous aurons une traduction[37] des champs notionnels.

---

[36] Par exemple, pour l'apprentissage de la géométrie, des termes concernant les niveaux de Van Hiele sont une possibilité. Pour le jeu sérieux, nous pourrions en arriver avec les différentes composantes, comme l'aptitude, le contenu pédagogique, etc.
[37] Il s'agira d'une traduction libre par l'auteur du mémoire.

La troisième étape est de répertorier les textes pertinents pour chacun des deux sujets afin de construire les corpus de textes. Les bases de données seront consultées, avec des critères de sélection prédéterminés. Il y aura des textes en français et en anglais. Les étapes 2 et 3 sont représentées à la figure 18.

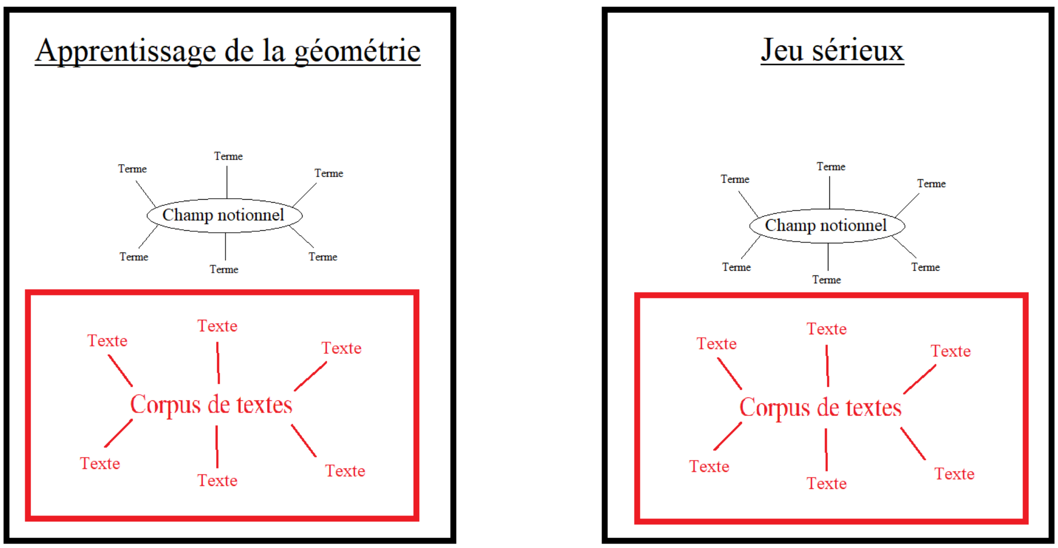


Figure 18 – L'avancement de l'anasynthèse à la suite des étapes 2 et 3

L'étape 4 est l'analyse croisée des corpus de textes (constitués à l'étape 3). Le but est de faire une mise en commun des connaissances issues des textes des deux sujets, tout cela en fonction du problème de recherche. Parmi les différentes façons de réaliser l'analyse, l'analyse de contenu peut être une méthode efficace si le nombre de textes est limité, ce que la personne chercheuse peut s'assurer en adaptant les critères de sélection des textes, pour ne retenir que les textes les plus pertinents. Pour l'analyse de contenu, nous utiliserons le logiciel Atlas.ti. De plus, les champs notionnels (construits à l'étape 2) restent à la disposition de la personne analyste. Par exemple, l'analyse du corpus de textes d'un sujet peut se faire en fonction du champ notionnel de l'autre sujet, tel qu'illustré par les figures 19a et 19b.

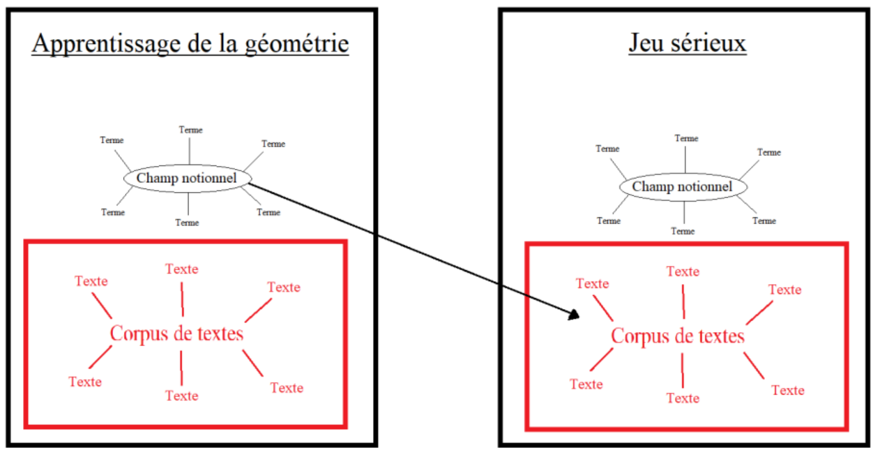


Figure 19a – L'analyse du corpus de textes du jeu sérieux en fonction du champ notionnel de l'apprentissage de la géométrie

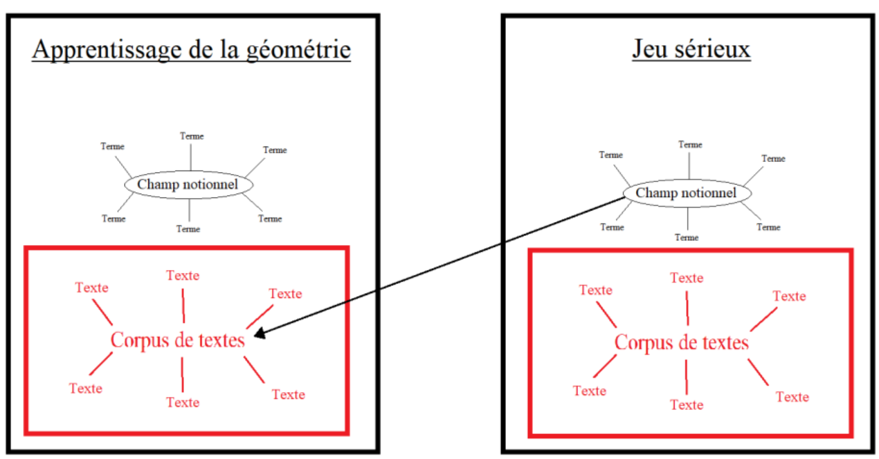


Figure 19b – L'analyse du corpus de textes de l'apprentissage de la géométrie en fonction du champ notionnel du jeu sérieux

L'étape 5 consiste à décrire scientifiquement les données recueillies. Il résultera de l'étape 4 une liste d'éléments d'analyse (voir la figure 20a). Au regard de la recherche scientifique sur nos sujets, nous chercherons à apporter une explication scientifique aux éléments soulevés lors de l'analyse croisée (voir la figure 20b). L'explication pourra provenir des modèles utilisés dans le cadre conceptuel, mais il est possible que d'autres modèles se révèlent pertinents à la compréhension des phénomènes.

Analyse croisée
Élément d'analyse 1 : _______________________
Élément d'analyse 2 : _______________________
…

Figure 20a – Les résultats de l'analyse croisée

Analyse croisée
Élément d'analyse 1 : __________________________
Explication scientifique : _______________________
Élément d'analyse 2 : __________________________
Explication scientifique : _______________________
…

Figure 20b – L'explication scientifique aux résultats de l'analyse croisée

La sixième et dernière étape de notre processus est de synthétiser les éléments recueillis (regrouper et structurer). Cette étape permet de remarquer quand certaines données sont mal formulées, incomplètes, fausses ou impertinentes. Lorsque ce sera le cas, nous retournerons aux étapes précédentes pour corriger le tir (rétroactions). Lorsque cette étape n'apportera plus de modifications, le processus d'anasynthèse sera complété.

CHAPITRE IV

LA PRÉSENTATION DES RÉSULTATS ET LA DISCUSSION

Comme l'anasynthèse est un processus itératif, des étapes ont été réalisées à plusieurs reprises. Pour éviter une lourdeur de contenu ainsi que de la confusion, seul le résultat final de l'anasynthèse sera présenté. Le tableau suivant indique les différentes étapes, ce qui est ressorti de ces étapes et l'endroit de présentation.

Tableau 2 – Les étapes de notre anasynthèse et l'endroit de présentation dans le mémoire

Étape		Résultat	Endroit de présentation
1	Documentation	Modèle de l'apprentissage de la géométrie (Van Hiele)	Chapitre 2
		Modèle du jeu sérieux (définitions et composantes)	
2	Champ notionnel	Liste de termes reliés à l'apprentissage de la géométrie	Section 4.2.1
		Liste de termes reliés au jeu sérieux	Section 4.2.2
3	Corpus de textes	Liste de textes reliés à l'apprentissage de la géométrie	Section 4.3.1
		Liste de textes reliés au jeu sérieux	Section 4.3.2
4	Analyse	Liste d'énoncés théoriques	Section 4.4
5	Explication scientifique	Explications reliées à chacun des énoncés théoriques de l'étape 4	Section 4.5
6	Synthèse	Réorganisation, regroupement et tri des énoncés théoriques	Section 4.6

Pour atteindre nos objectifs de recherche, une analyse approfondie a été effectuée pour identifier certaines difficultés plus documentées, cibler des notions pouvant leur être associées, puis trouver des pistes d'application lorsque ce qui est proposé pour aborder les notions et les difficultés en géométrie était compatible avec les avantages et les possibilités du jeu sérieux. Pour résumer, l'analyse s'est réalisée en deux temps :

- Une analyse générale des difficultés en géométrie, des pistes pour les aborder et des avantages du jeu sérieux ;
- Une analyse approfondie par rapport à quelques notions géométriques et des pistes d'application du jeu sérieux.

4.1 Étape 1 : La documentation

La première étape de l'anasynthèse consistait à nous documenter sur chacun des deux sujets, c'est-à-dire à clarifier les notions et présenter deux modèles, un pour le développement de la pensée géométrique et un pour le jeu sérieux. Cette étape a déjà été réalisée. Le cadre conceptuel en rend compte. Le modèle des niveaux de pensée géométrique de Van Hiele et les définitions concernant le jeu sérieux représentent ce qui est retenu de cette étape pour la suite de l'anasynthèse.

4.2 Étape 2 : Les champs notionnels

Un champ notionnel consiste généralement en une liste de mots concernant un sujet, et bien que ce soit le cas de la présente recherche également, nous avons cherché à être plus spécifique par rapport à la question et aux objectifs de recherche. Pour mieux illustrer nos propos, rappelons que le but est de vérifier si et comment le jeu sérieux peut contribuer à mettre de l'avant la pensée géométrique chez les élèves. Des termes sur l'apprentissage de la géométrie et sur le jeu sérieux de façon générale auraient peut-être pu permettre de percevoir, à la fin de l'anasynthèse, des liens entre les deux sujets. Cependant, les liens à explorer étaient des liens de contribution. Pour cela, c'était plutôt en explorant en fonction des difficultés en géométrie, des pistes pour les aborder et des avantages du jeu sérieux que nous pouvions le plus efficacement en tirer des applications potentiellement bénéfiques au domaine de la géométrie.

4.2.1 Le champ notionnel de l'apprentissage de la géométrie

À la section 2.1.3, douze difficultés reliées à l'apprentissage de la géométrie ont été identifiées et décrites. Elles constituent le champ notionnel de ce sujet. De la façon dont notre analyse est structurée, les difficultés reliées à l'apprentissage de la géométrie ont été utiles à plusieurs moments. D'abord, elles ont été utiles comme termes de recherche de textes dans les bases de données, dans le but d'avoir à notre disposition un corpus de textes axé sur les besoins de l'apprentissage de la géométrie. Ensuite, elles ont été utilisées lors de l'analyse de contenu pour classer les passages pertinents des textes sur l'apprentissage de la géométrie selon les douze difficultés. En lien avec le deuxième objectif de recherche, nous souhaitions identifier des notions associées au domaine de la géométrie. En ayant sous la main des difficultés souvent rencontrées et des passages les expliquant, déterminer des difficultés ayant le potentiel d'être travaillées à l'aide du jeu sérieux a été plus facile. Cela a également été utile pour identifier des notions à travailler. Voici le tableau des douze difficultés avec quelques exemples :

Tableau 3 – Douze difficultés fréquemment étudiées en géométrie

Difficulté	**Quelques manifestations de la difficulté**
Flexibilité visuelle (Marchand, 2004 ; Gal et Linchevski, 2010 ; Saint-Bauzel, 2011 ; Gauthier, 2015 ; Sulistiowati et al., 2019 ; Barut et Retnawati, 2020)	Ne pas savoir s'adapter lorsqu'une figure est dans une disposition ou un contexte particulier ou différent. Imaginer de façon erronée une figure qui a subi une transformation (dévelopée, bougée, grossie, étirée, tournée, déformée, dédoublée, etc.).
Reconnaissance visuelle des figures et des transformations géométriques (Ekimova-Boublil, 2005 ; Gal et Linchevski, 2010 ; Özerem, 2012 ; Bansilal et Naidoo, 2012 ; Blin, 2019)	Mal interpréter géométriquement ce qu'on perçoit visuellement. Ne pas savoir reconnaître une figure, une partie d'une figure ou une transformation géométrique.
Dessin et représentation d'une figure Dessin et représentation d'une configuration de figures Dessin et représentation d'une situation-problème (Mithalal, 2014 ; Özerem, 2012 ; Bansilal et Naidoo, 2012 ; Iori, 2018 ; Sulistiowati et al., 2019)	Ne pas savoir dessiner et représenter une figure, une configuration de plusieurs figures ou une situation-problème lors de laquelle la géométrie se manifeste. Ne pas savoir comment se servir des outils géométriques. Manquer de précision lors des dessins ou représentations de figures.
Déterminer les étapes dans une résolution de problème géométrique (Özerem, 2012 ; Sulistiowati et al., 2019 ; Firmansyah et al., 2019).	Ne pas savoir par où commencer lors d'un problème géométrique. Ne pas savoir analyser les problèmes géométriques. Ne pas faire preuve de pensée critique et créative lors du choix de stratégies de résolution de problèmes géométriques. Ne pas savoir trouver un modèle mathématique adéquat, et encore moins de l'utiliser pour résoudre le problème géométrique.
Analyser logiquement des figures et des transformations (Ekimova-Boublil, 2005 ; Mithalal, 2010 ; Özerem, 2012 ; Bansilal et Naidoo, 2012 ; Gauthier, 2015 ; Andila et Musdi, 2020)	Trop se fier à l'aspect visuel. Ne pas s'en remettre aux propriétés des figures et des transformations géométriques. Faire une analyse trop superficielle des propriétés figurales.
Décrire une figure de façon complète (Ekimova-Boublil, 2005 ; Fujita, 2012 ;	Limiter la description d'une figure à une seule caractéristique. Omettre des caractéristiques essentielles.

Gauthier, 2015)	
Faire des liens entre figures et propriétés (Detheux-Jehin et Chenu, 2000 ; Ekimova-Boublil, 2005 ; Langlois, 2015 ; Barut et Retnawati, 2020)	Ne pas savoir classifier les figures géométriques. Ne pas savoir nommer une figure selon ses propriétés. Ne pas savoir énumérer les propriétés d'une figure donnée. Ne pas comprendre la relation d'inclusion de figures.
Mauvaise connaissance et utilisation inexacte ou imprécise des termes géométriques (Ekimova-Boublil, 2005 ; Özerem, 2012 ; Gauthier, 2015 ; Langlois, 2015 ; Blin, 2019 ; Barut et Retnawati, 2020)	Lors de l'identification, la description et la définition des phénomènes géométriques : Ne pas savoir s'exprimer à propos des procédures inhérentes à une construction géométrique ; Baser l'argumentation et les conclusions sur l'apparence des figures ; Manquer de rigueur.
Justifier un résultat (Detheux-Jehin et Chenu, 2000 ; Ekimova-Boublil, 2005 ; Tanguay, 2010 ; Mithalal, 2010 ; Weber, 2010 ; Gauthier, 2015)	N'avoir qu'une idée intuitive de la raison expliquant un résultat. Fournir une justification pauvre ou inexacte. Ne pas comprendre le rôle de l'argumentation en géométrie.
Axiomatique, structure logique de la géométrie et chaîne argumentative (Detheux-Jehin et Chenu, 2000 ; Gousseau-Coutat, 2006 ; Tanguay, 2010 ; Gauthier, 2015 ; Miyazaki et al., 2017 ; Barut et Retnawati, 2020)	Ne pas comprendre la structure de la géométrie (axiomes, définitions, théorèmes, etc.) Ne pas savoir justifier un énoncé même lorsque la justification ne requiert qu'un seul argument Ne pas savoir faire ou organiser une chaîne argumentative de plusieurs arguments. Ne pas faire des liens entre les différents énoncés et hypothèses. Confondre une implication et sa réciproque Faire de mauvaises inférences.
Phénomène de la figure prototypique (Parzysz, 1989 ; Detheux-Jehin et Chenu, 2000, Belkhodja, 2007 ; Fujita, 2012 ; Gauthier, 2015)	Attribuer à une classe de figures des attributs de l'image mentale spécifique qu'on se fait de cette classe de figure, mais qui n'appartiennent pas à toutes les figures de cette classe. Posséder une image rigide de certaines figures. Préférer se fier au prototype visuel plutôt qu'à la définition formelle lors de l'identification et la classification des figures.
Extraire l'information pertinente lors de l'interprétation / la lecture en géométrie (Detheux-Jehin et Chenu, 2000 ; Ekimova-Boublil, 2005 ; Fujita, 2012 ; Gauthier, 2015 ; Langlois, 2015 ; Sulistiowati et al., 2019 ; Barut et Retnawati, 2020)	Mauvaise lecture et mauvaise interprétation d'un problème géométrique Considérer des données inutiles d'un problème géométrique alors qu'elles sont nécessaires. Considérer des données nécessaires d'un problème géométrique alors qu'elles sont inutiles. Utiliser un langage courant au lieu d'utiliser un langage géométrique rigoureux.

4.2.2 Le champ notionnel du jeu sérieux

Pour ce qui est du champ notionnel du jeu sérieux, il s'agit d'une liste de catégories d'avantages du jeu sérieux. Cette liste s'est construite au fur et à mesure que nous lisions les textes sur le jeu sérieux. Ce champ notionnel a aussi eu plusieurs utilités. D'abord, il a permis d'associer les passages concernant des avantages du jeu sérieux aux différentes catégories auxquelles ils se rapportaient. Nous pouvions également y associer les passages concernant les pistes de solution dans les textes sur l'apprentissage de la géométrie. Au terme de ces étapes, nous disposions de catégories contenant à la fois des passages concernant des besoins de l'apprentissage de la géométrie (pistes) et des passages concernant les solutions proposées par le jeu sérieux (avantages), avec lesquelles nous avons pu procéder à l'analyse croisée.

Tableau 4 – Des avantages perçus du jeu sérieux

Catégorie d'avantages	**Avantages (exemples de termes utilisés pour catégoriser)**		
Actions	Interactions Manipulations Tactile Tangible Répétition Entraînement Actions authentiques	Bloquer Maintenir Créer Détruire Collecter Gérer Gestes	Apprentissage actif Immersion Déplacer Éviter Positionner Tirer / lancer Dessiner
Fonctions exécutives	Métacognition Contrôle Rappel des connaissances antérieures	Concentration Attention Gestion du temps Organisation	Multitâche Mémoire Rétention
Travail d'équipe	Socialisation Collaboration Interactions entre personnes Habiletés sociales	Entraide Confrontation de perspectives	Échange de données Avoir un rôle dans une équipe

Habiletés	Compétences	Performance	Talents
Objets, environnements et supports	Environnements Trois dimensions (3D) Univers du jeu	Espaces Supports variés	Représentations Graphisme réaliste
Raisonnement	Raisonnement mathématique Anticipation Argumentation scientifique Modèles mentaux Logique Réflexion	Confrontation de perspectives Déduction Induction Généralisation Établissement de liens	Compréhension (ou conception) logique de sujets complexes, compliqués ou abstraits Construction du savoir Analyse
Situations-problèmes	Scénario Résolution Problèmes Tâches Planification de tâches Concret ou concrétisation	Contextualisation Choix Stratégies Découverte Exploration Simulation	Expérimenter Transfert Simulation Essai-erreur Prise de décision
Vue	Perception Visualisation Observation	Coordination spatiale Coordination œil-main Vision	Compréhension spatiale Couleurs Directions
Autres	Sémiotique Règles Présentation de concepts Physique (sciences) Comportements Apprentissages inconscients	Persuasion Personnalisation Gradation de la difficulté Motivation Formes Rétroaction	Créativité Défi Diffusion de message Immersion Évaluation

4.3 Étape 3 : Les corpus de textes

Les textes des corpus contiennent des énoncés théoriques avec lesquels nous avons tenté d'en dégager de nouveaux. Si l'élaboration des champs notionnels a été orientée en fonction de nos objectifs de recherche, il en a été de même avec les corpus de textes, tout cela afin d'en arriver plus efficacement à des éléments de réponse.

4.3.1 Le corpus de textes de l'apprentissage de la géométrie

Pour les textes de l'apprentissage de la géométrie, ils ne devaient pas uniquement concerner la géométrie, mais également ce sur quoi il faut travailler (les difficultés) et comment il est possible de les travailler (les pistes). Des termes comme difficulté, obstacle, défi ou barrière ont permis de trouver des textes pertinents pour répondre à la question de recherche.

Précisions : Avant même de commencer cette étape, plusieurs textes avaient été identifiés pour rédiger la problématique et le cadre conceptuel. Un tri a été réalisé dans notre bibliographie pour ne garder que ceux qui s'appliquent aux futures étapes de notre recherche. Nous nous sommes servis de 33 de ces textes. Ensuite, une première recherche dans les bases de données EBSCO[38] et Érudit[39] a été effectuée pour amorcer l'analyse. 43 textes semblant pertinents à notre recherche ont été repérés dans les bases de données, dont 10 se sont plus tard révélés inadaptés à la recherche.

Tableau 5 – Les textes retenus pour l'apprentissage de la géométrie

Personnes auteures et année		
Andila et Musdi (2020)	Ferrara et Mammana (2014)	Marchand (2004)
Baldy et al.,(2005)	Firmansyah et al. (2019)	Marchand et Braconne-Michoux (2013)
Bansilal et Naidoo (2012)	Fujita (2012)	Mitalal (2010)
Barut et Retnawati (2020)	Fulvi (2010)	Rincon Bahamon (2011)

[38] EBSCO : (*geometr**) dans *Title* ET (*difficult* or challeng* or barrier* or issue* or struggle* or complex* or obstacle**) dans *Title* ET (*learning or education or teaching**) pour *Subject* – Full Text – depuis 2000
[39] Érudit : (*géométr**) dans *Titre, résumé, mots-clés* ET (*diffic* ou obstacle**) dans *Titre, résumé, mots-clés*

Belkhodja (2007)	Furtuna (2008)	Miyazaki et al.(2017)
Bisson (2015)	Fuys et al. (1988)	Nurnberger-Haag et al. (2020)
Blin (2019)	Gagnon (2015)	Ozerem (2012)
Boivin (2019)	Gal et Linchevski (2010)	Saint-Bauzel (2011)
Bokosmaty et al. (2017)	Gauthier (2015)	Schueler et Roesken-Winter (2014)
Braconne-Michoux (2014a)	Gousseau-Coutat (2006)	Sinclair (2005)
Caglayan (2016)	Hwang et al. (2009)	Sosthène Sambote Benazo (2011)
Chen, Li et Zhang (2021)	Iori (2018)	Soury-Lavergne (2013)
Cipolla et al. (2014)	Kambilombilo et Sakala (2015)	Subali Noto et al. (2019)
Corriveau et Jeannotte (2018)	Keener-Chavis et Goodwin (2009)	Sulistiowati et al. (2019)
Courbois (2005)	Kuzniak et Rauscher (2011)	Tessier-Baillargeon (2015)
Damboise (2019)	Lai et al. (2016)	Tremblay (2016)
Detheux-Jehin et Chenu (2000)	Langlois (2015)	Weber (2010)
Dobbins et al. (2014)	Lemay (2011)	Wong et al.(2011)
Duval (2005)	Lin et Lin (2018)	Yu (2004)
Ekimova-Boublil (2005)	Little (2009)	Zeybek (2016)
Ekimova-Boublil (2005)	Magajna (2013)	Zhang (2017)
El Habib (2015)	Mainali (2019)	Zhang et al. (2014)

4.3.2 Le corpus de textes du jeu sérieux

En continuité avec ce qui a été dit auparavant, le but était d'analyser des textes sur le jeu sérieux à l'aide de termes pour en faire ressortir des réponses potentielles aux besoins de la géométrie. Pour y arriver, il était pertinent que les textes sur le jeu sérieux concernent ce pour quoi il est efficace. Nous avons donc cherché des textes concernant les impacts du jeu sérieux, de même que ses effets, ses bénéfices et ses utilités, ou encore l'amélioration, l'influence ou le support qu'il peut apporter.

Précisions : Avant même de commencer cette étape, plusieurs textes ont été identifiés pour rédiger la problématique et le cadre conceptuel. Un tri a été réalisé dans notre bibliographie pour ne garder que ceux qui s'appliquent aux futures étapes de notre recherche. Nous nous sommes servis de 18 de ces textes. Ensuite, une première recherche dans les bases de données EBSCO[40] et Érudit[41] a été effectuée pour amorcer l'analyse. 48 textes semblant pertinents à notre recherche ont été repérés dans les bases de données, dont 12 se sont plus tard révélés inadaptés à la recherche.

Tableau 6 – Les textes retenus pour le jeu sérieux

Personnes auteures et année	
Abdusselam (2020)	Lamb (2016)
Amato (2011)	Leblanc (2020)
Baccot (2019)	Lortet (2016)
Bakhuys Roozeboom et al. (2017)	Mandart (2013)
Benmakrelouf (2014)	Merraky (2015)
Berry (2011)	Mildner et al. (2016)
Boukhris (2016)	Muratet (2010)
Bourgault (2014)	Muratet et al. (2011)
Bouvier et al. (2014)	Olivier (2018)
Calvo-Ferrer (2019)	Ouellet (2016)
Chambilla Huarahuara (2019)	Oulhaci et al. (2013)
Charron-Latour (2014)	Perret (2018)
Cohard (2015)	Plass et al. (2012)
Colautti et al. (2018)	Ritterfeld et al. (2009)
Consuelo Sáiz Manzanares et al. (2020)	Sanchez et al. (2011)
De Jans et al. (2019)	Schorer et Protopsaltis (2020)
Doat (2013)	Serrano-Laguna et al. (2016)
Dumont et al. (2011)	Sola (2015)
Fokides et al. (2019)	Sutter Widmer (2017)
Furber (2017)	Tremblay (2011)
García-Redondo et al. (2019)	Tsekleves et al. (2016)
Garneli, Giannakos et Chorianopoulos (2017)	Turbett (2010)
Ghali (2016)	Van der Meij et al. (2020)
Hess et Gunter (2013)	Venant et Migneault (2017)
IJgosse et al. (2018)	Westera (2017)
Király et Balla (2020)	Wouters et al. (2017)
Kubicki et al. (2014)	Yedri et al. (2018)

[40] EBSCO : (*geometr**) dans *Title* ET (*difficult* or challeng* or barrier* or issue* or struggle* or complex* or obstacle**) dans *Title* ET (*learning or education or teaching**) pour *Subject* – Full Text – depuis 2000
[41] Érudit : (*géométr**) dans *Titre, résumé, mots-clés* ET (*diffic* ou obstacle**) dans *Titre, résumé, mots-clés*

4.4 Étape 4 : L'analyse croisée

À cette étape, l'objectif était d'analyser les textes en fonction des champs notionnels. Nous avons donc utilisé le logiciel Atlas.Ti. Ce logiciel permet à la personne utilisatrice d'y téléverser des textes sous format PDF, puis de coder des passages de textes selon différentes catégories qu'elle a préalablement définies et qu'elle peut changer selon le déroulement de son analyse. Nous avons donc téléversé tous les textes de nos deux corpus de textes (4.3). Nous avons également défini des catégories « Pistes » pour analyser les textes sur l'apprentissage de la géométrie, des catégories « Avantages » pour analyser les textes sur le jeu sérieux (4.2).

En prévision d'une analyse plus poussée qui découlera de notre anasynthèse et qui a pour but de vérifier si et comment le jeu sérieux peut permettre de travailler des difficultés fréquentes reliées à l'apprentissage de la géométrie, nous avons défini des catégories pour ces difficultés (2.1.3 et 4.2).

Ensuite, nous avons relu tous les textes de nos corpus en catégorisant des passages selon les champs notionnels correspondants au sujet d'un texte (apprentissage de la géométrie ou jeu sérieux). Après notre lecture, quatre éléments nous paraissaient plus riches de sens selon le nombre de passages reliés à chacune des catégories et selon notre analyse (incluant les rétroactions). Les quatre éléments sont les suivants :

Élément d'analyse 1 : La nature active du jeu sérieux vient répondre au besoin de placer les élèves en action.

Élément d’analyse 2 : Les composantes (objets et environnements) du jeu sérieux correspondent à des éléments clés de l’apprentissage de la géométrie (figures et espace).

Élément d’analyse 3 : Les nombreux contextes et scénarios possibles d’un jeu sérieux se prêtent bien aux situations expérientielles riches dans lesquelles il est recommandé de placer les personnes apprenantes en géométrie.

Élément d’analyse 4 : Les possibilités graphiques du jeu sérieux peuvent contribuer aux besoins de susciter et développer la visualisation des élèves en géométrie.

Chacun des éléments d’analyse a été approfondi dans la section suivante.

4.5 Étape 5 : L’explication scientifique

Comme son nom l’indique, cette étape consiste à expliquer scientifiquement chacun des éléments d’analyse en vue des textes des corpus. Compte tenu de la méthodologie de l’anasynthèse, il importe de mentionner que les références ne seront pas présentées dans les éléments discutés afin de ne pas alourdir inutilement cette section. Il est toutefois possible de les consulter à la section 4.3. Nous avons donc revisité les passages catégorisés en fonction des éléments ciblés à l’étape précédente pour examiner s’ils étaient bel et bien appuyés par des personnes chercheuses étudiant ces domaines. Le cas échéant, nous avons soutenu l’élément d’analyse par les explications mentionnées par ces personnes auteures.

Les explications sont structurées en trois parties en fonction des quatre éléments d'analyse, qui ont été précisés plus haut. La première partie concerne des besoins mentionnés dans plusieurs textes sur l'apprentissage de la géométrie en lien avec l'élément d'analyse. La deuxième partie concerne des apports mentionnés dans plusieurs textes sur le jeu sérieux en lien avec l'élément d'analyse. La troisième partie sert à faire le lien entre les deux premières parties afin d'expliquer en quoi le jeu sérieux pourrait être un bon support au développement de la pensée géométrique des élèves.

Bien entendu, il n'est pas réaliste de s'attendre à combler tous les besoins répertoriés, à pouvoir mettre en œuvre toutes les pistes ou encore à pouvoir bénéficier de tous ces avantages par l'expérience d'un seul et même jeu sérieux. Des choix de conception ont donc dû être faits pour mettre en œuvre certaines pistes de solution, combler quelques besoins jugés importants et profiter d'avantages pertinents à l'apprentissage de notions spécifiques.

Pour chacun des quatre éléments d'analyse, nous avons procédé de la façon suivante. Nous avons fait sortir du logiciel Atlas.ti les passages concernant l'élément d'analyse, séparés en deux documents texte selon le sujet (apprentissage de la géométrie et jeu sérieux). Nous avons relu les passages, noté la piste ou l'avantage décrit, et ensuite passé au passage suivant. Après un certain nombre de passages, nous possédions une liste désordonnée de pistes ou d'avantages. Nous avons donc fait des regroupements, puis poursuivi la lecture des passages pour vérifier si nos regroupements concordaient avec le reste des passages. Ce processus a permis d'identifier les idées principales dégagées par les corpus de textes pour un élément d'analyse. Ensuite, nous avons pu constater ce qui avait le potentiel de combler certains besoins reliés au développement de la pensée géométrique des élèves (1$^{\text{ière}}$ partie de l'analyse[42]) parmi les avantages du jeu sérieux (2$^{\text{ième}}$ partie de l'analyse[43]). Finalement, dans la partie intitulée *Discussion autour de l'élément d'analyse* (3$^{\text{ième}}$ partie de l'analyse[44]), nous avons regroupé les éléments de concordance, mais également des questionnements, reliés à l'élément d'analyse concerné.

4.5.1 L'élément d'analyse 1 : Les actions

D'après une première lecture et le codage des textes, nous remarquons un besoin apparent de placer les personnes apprenantes en action pour l'apprentissage de la géométrie. Nous constatons aussi un lien très fort entre le jeu sérieux et les actions. Nous estimons donc que la nature active du jeu sérieux pourrait répondre au besoin de placer les personnes apprenantes en action. Une deuxième lecture des passages de la catégorie *Actions* nous a permis d'obtenir le portrait décrit dans cette section.

L'apprentissage de la géométrie au regard des actions

Placer les élèves en action est une pratique éducative qui est généralement perçue comme gagnante sur le plan pédagogique. Le principe général derrière cette pratique

---

[42] Cette première partie est identifiée par un titre de la forme « L'apprentissage de la géométrie au regard de/des […] ».
[43] Cette deuxième partie est identifiée par un titre de la forme « Apports et possibilités du jeu sérieux reliés à/aux […] ».
[44] Cette troisième partie est identifiée par un titre de la forme « Discussion autour de l'élément d'analyse […] ».

est l'idée qu'une action physique facilite pour plus tard la même action cette fois-ci accomplie de façon mentale. En géométrie, cette pratique est spécifiquement encouragée. Nous avons décelé trois grandes pistes reliées aux actions : les manipulations, les mouvements et gestes, et la géométrie dynamique.

Les manipulations sont considérées d'une grande aide pour aider à comprendre les concepts géométriques. Les suggestions reliées aux manipulations sont diverses : varier les expériences, faire interagir, faire jouer, faire manipuler des représentations à l'aide d'outils virtuels, faire manipuler les propriétés géométriques des figures et manipuler des symboles[45]. Il est spécifié que seule la présence de la manipulation ne garantit rien. Toutefois, les pistes reliées à une manipulation « raisonnée » possèdent de nombreux avantages : découverte et exploration, développement de la pensée géométrique, de la pensée logique et des capacités spatiales, recours et travail sur les figures géométriques favorisés et facilités, lien vers l'abstrait facilité, développement de stratégies de résolution de problèmes, meilleure compréhension des concepts mathématiques, meilleure rétention, amélioration du transfert des connaissances et plus grande implication des élèves[46].

Les mouvements et les gestes peuvent accompagner efficacement l'enseignement et l'apprentissage de notions géométriques. Des mouvements et gestes du corps en entier, de mains ou de doigts sont souvent promus pour l'apprentissage parce qu'ils entraînent une implication physique et sensorielle de la personne apprenante. Selon

---

[45] D'autres suggestions à l'annexe A(1).
[46] D'autres avantages à l'annexe A(2).

plusieurs personnes auteures, le fait d'inclure le système moteur de la personne apprenante pendant l'apprentissage activerait un canal de mémoire de travail supplémentaire menant à un apprentissage plus complet, puisqu'il permet l'intégration du savoir d'une manière intuitive, sensorielle et diversifiée. Quelques avantages sont reliés à cette piste : effets positifs sur l'acquisition, la consolidation et le transfert des connaissances, facilité de répétition, amélioration des habiletés spatiales, amélioration des habiletés de résolution de problèmes géométriques, élargissement de la capacité de mémoire de travail, meilleure rétention des apprentissages, ainsi que de meilleurs résultats de façon générale qu'avec des méthodes statiques[47].

Finalement, les logiciels de géométrie dynamique sont recommandés puisqu'ils permettent plusieurs actions sur les figures géométriques. L'action la plus citée dans les textes de notre corpus est le déplacement ou glissement de points, de segments et de figures. D'autres actions sont possibles, comme la localisation, la duplication, le tracé, la création ou l'agrandissement. Plusieurs avantages sont reliés à l'utilisation des logiciels de géométrie dynamique[48].

Apports et possibilités du jeu sérieux reliés aux actions

Un jeu, qu'il soit de table, vidéo, sérieux ou autre, est par essence une activité, donc un contexte directement relié à des actions mentales, physiques ou virtuelles. Autrement dit, la nature même d'un jeu sérieux fait en sorte que la personne joueuse

[47] D'autres avantages à l'annexe A(3).
[48] Les principaux avantages à l'annexe A(4).

sera amenée à faire des actions. Le jeu sérieux est donc une approche basée sur l'apprentissage par expérience concrète. De plus, un avantage notoire est la possibilité de faire faire des actions qui seraient difficilement réalisables en classe sans l'aspect « vidéo » du jeu sérieux (exemples : voyager dans l'espace, manipuler des objets minuscules ou gigantesques, construire un bâtiment, utiliser des outils ou machines, expérimenter un laboratoire chimique potentiellement dangereux, revivre des moments historiques, etc.). Le jeu sérieux offre donc une grande variété d'actions.

Le terme « interactions » est aussi beaucoup utilisé dans les textes concernant le jeu sérieux pour expliquer que la personne apprenante ne fait pas seulement des actions, mais que, de façon dynamique, ses actions entrainent une réaction immédiate des éléments du jeu. Le jeu renvoie à la personne apprenante un contexte en évolution dans lequel elle doit agir de nouveau, et ainsi de suite. Il est possible de prédéterminer l'ordre des actions à faire (en instaurant des phases, des missions ou des objectifs, par exemple), mais aussi de laisser la liberté à la personne joueuse de choisir ce qu'elle fait et quand. Ce choix dépend beaucoup du mode de jeu. La personne joueuse peut observer directement les impacts positifs et négatifs de ses actions, ce qui est rarement possible avec des méthodes plus traditionnelles, statiques et passives. Il s'agit d'un avantage important puisque cela l'incite à réfléchir sur sa prise de décision et développer une théorie de l'action. La personne joueuse réfléchit donc dans l'action et sur l'action pour dégager les principes sous-jacents.

Plusieurs manipulations sont possibles dans le cadre d'un jeu sérieux : rotation, déplacement, transformation, agrandissement, rétrécissement, création, dessin, changement de couleur, versement, retournement, etc. Les manipulations réalisables varient selon la plateforme (ordinateur, tablette, consoles, table interactive, réalité virtuelle, réalité augmentée, etc.), le type de jeu (action, stratégie, etc.), ainsi que les objets et les environnements.

Différents avantages des interactions et de la manipulation à l'aide du jeu sérieux sont mentionnés selon les contextes : développement de la réflexion et de la logique, expérimentation active, naturelle et intuitive, rétroactions riches et fréquentes, sentiment de contrôle sur ce qui se déroule, association naturelle entre gestes et concepts, production de sens, activation constante du cerveau, catalyseur d'une approche constructiviste et meilleurs résultats d'apprentissage, particulièrement en sciences et en mathématiques[49].

Discussion autour de l'élément d'analyse *Actions*

En fonction des informations fournies par les textes sur l'apprentissage de la géométrie et le jeu sérieux concernant la catégorie *Actions*, nous pouvons formuler quelques constats à prendre en compte pour la recherche ou la conception de jeu sérieux visant l'apprentissage de la géométrie. Il existe un besoin de manipuler qui peut être comblé par le jeu sérieux. De plus, les actions effectuées dans un jeu sérieux possèdent une valeur ajoutée puisqu'elles deviennent des interactions.

Il y a un besoin de faire manipuler les élèves en géométrie et la manipulation est très présente dans un jeu sérieux. Comme nous l'avons mentionné, la manipulation,

[49] D'autres avantages à l'annexe A(5).

pourvu qu'elle soit raisonnée, est un moyen idéal pour explorer et découvrir la géométrie, au lieu de se la faire expliquer et montrer. Le jeu sérieux est une activité propice à une manipulation variée des objets présents à l'intérieur de l'univers virtuel. Dans un jeu sérieux, il y a des interactions, qui sont considérées comme plus bénéfiques par rapport à des actions. Les interactions mentionnées sont généralement entre la personne apprenante et des objets, des environnements, des personnages du jeu ou d'autres personnes joueuses. Elles correspondent mieux à la manipulation raisonnée qui est souhaitée en géométrie. La réaction du jeu sérieux aux actions de la personne joueuse lui permet d'apprendre par induction.

En réfléchissant dans l'action et sur l'action, la personne joueuse en dégage les principes sous-jacents, les relations et les invariants. Une personne conceptrice de jeu sérieux devrait utiliser cette opportunité de réflexion dans un cadre dynamique pour faciliter le passage à l'abstrait, c'est-à-dire pour faire passer aux niveaux supérieurs de pensée géométrique.

Au travers de nos lectures, nous nous sommes posé la question suivante : les actions virtuelles sont-elles autant pertinentes pédagogiquement que des actions réelles? Notre réponse à cette question se veut nuancée. D'un côté, le contact haptique des actions peut expliquer une partie de leurs avantages, donc sans celui-ci, les actions perdent certains attraits pédagogiques, ce qui est définitivement un souci. D'un autre côté, les manipulations réelles possèdent quelques limites. En classe, il y a une limite d'actions qui peuvent être posées. Par exemple, il est impossible d'utiliser une grue ou de construire un édifice. Les actions virtuelles n'ont pas ces limites. Elles possèdent des avantages par rapport aux actions réelles. Les actions virtuelles peuvent être utilisées en complémentarité des actions réelles. Les deux types d'actions doivent donc être mobilisés pour profiter d'un plus grand nombre de bénéfices. Pour conclure, certaines technologies, comme les écrans tactiles, permettent de profiter des avantages des actions virtuelles, en plus de rapprocher de la sensation du toucher, ce qui pourrait diminuer les impacts négatifs de l'absence d'actions réelles.

En fonction des éléments mentionnés ci-dessus, la personne conceptrice d'un jeu sérieux visant l'apprentissage de la géométrie devrait s'assurer qu'il y ait des options de manipulation et un support visuel et technologique qui rajoute un peu de sensation. Concernant cet élément d'analyse, notre recherche vient mettre en lumière quelques informations importantes autant au niveau théorique que pratique. Nous sommes allés plus loin que les constats qu'il faut faire manipuler et placer les personnes apprenantes en action. Nous avons décodé dans les textes le détail important que la manipulation doit être raisonnée pour qu'elle ait un impact positif substantiel. Nous constatons un effet plus grand que la simple manipulation d'objets, qui est présente dans notre quotidien. Nous notons que la personne apprenante en retire vraiment quelque chose et qu'elle l'intègre efficacement à son système de connaissances. De plus, nous avons analysé le détail important qu'il doit y avoir une réponse de l'objet ou de l'environnement sur lequel une action est commise, pour que l'action devienne une interaction. En rapport avec ces deux détails importants, les nombreuses possibilités du jeu sérieux contribuent définitivement à des apprentissages plus significatifs que la majorité des activités réalisées avec du papier et un crayon. Pour résumer, l'aspect dynamique et une rétroaction efficace du jeu sérieux peuvent guider les personnes apprenantes vers une manipulation plus raisonnée et une réflexion sur les actions commises et les effets observés. Des exemples seront présentés à la section 4.7.3, ainsi qu'en annexe.

4.5.2 L'élément d'analyse 2 : Les objets et les environnements

D'après une première lecture et le codage des textes, nous analysons que l'apprentissage de la géométrie est centré sur les figures et l'espace. Nous déduisons aussi que les objets et les environnements sont les composantes physiques principales du jeu sérieux. Un lien s'établit possiblement entre les figures géométriques et les objets du jeu sérieux, et entre l'espace géométrique et les environnements du jeu sérieux. Une deuxième lecture des passages de la catégorie *Objets et environnements* nous a permis d'obtenir le portrait décrit dans cette section.

L'apprentissage de la géométrie au regard des objets et des environnements

La géométrie est la branche des mathématiques étudiant notamment les figures du plan et de l'espace. À la base, une figure est une représentation idéalisée et abstraite d'un objet, d'un lieu, d'une situation, etc. Par exemple, un triangle peut représenter trois villes ainsi que les chemins les joignant, tout comme un rectangle peut représenter la surface d'un mur et une sphère peut représenter un ballon ou un astre. L'utilité pratique de la géométrie réside surtout dans ce lien entre le réel et l'abstrait, c'est-à-dire que nous étudions les figures pour mieux comprendre les objets qui nous entourent, et nous étudions l'espace pour mieux comprendre notre environnement. Beaucoup de textes concernant l'apprentissage de la géométrie sont axés sur ce lien entre des objets ou environnements réels/concrets et des figures ou espaces abstraits. L'élève doit faire des allers-retours entre le réel et l'abstrait pour étudier des figures et comprendre le sens physique de leurs propriétés. Ainsi, placer la personne apprenante en contact avec des objets et des environnements variés constitue un besoin de l'apprentissage de la géométrie.

Certaines personnes apprenantes favorisent des représentations visuelles et concrètes, alors que d'autres favorisent des représentations symboliques et abstraites. Comme tous n'apprennent pas de la même façon, il est important de varier les stratégies d'apprentissage et donc d'alterner par la suite entre les différents types de représentations, mais il est toutefois recommandé de débuter par du concret. De cette façon, les élèves rattachent les éléments concrets par la manipulation à des idées, des relations abstraites et images mentales (voir élément d'analyse 1). De plus, la recherche suggère de présenter des objets et les environnements variés dans des positions, perspectives et situations également variées. Cette variété permet de quitter une vision prototypique d'objets géométriques.

Beaucoup d'études en arrivent à la conclusion que le contact avec les objets et les environnements peut être accompli de façon virtuelle à l'aide d'outils technologiques par l'imagerie et la simulation 2D et 3D. Plusieurs avantages au contact physique ou virtuel avec des objets et environnements sont mentionnés : exploration possible d'espaces tridimensionnels, absence de limitations physiques d'espaces, amélioration des habiletés de résolution de problèmes, meilleure concrétisation des problèmes, possibilité de jouer avec les objets, représentations multiples (concrètes et abstraites), meilleure reconnaissance des solides en situation, développement du raisonnement mathématique, abstraction facilitée, incitation à l'exploration, à la conjecture et à la validation, ainsi que la construction du savoir facilitée[50].

Apports et possibilités du jeu sérieux reliés aux objets et aux environnements

L'univers d'un jeu vidéo ou sérieux implique généralement un ou des lieux, ainsi que des objets présents dans le ou les lieux. C'est ce que nous entendons ici par les objets et les environnements d'un jeu sérieux. L'avantage souvent mentionné, c'est que le jeu sérieux permet mieux qu'une simple présence d'objets et d'environnements. Une personne joueuse réalise des apprentissages par l'appropriation cognitive de l'environnement ou de l'espace. Le fait que des phénomènes peuvent survenir aux objets (exemples : collision, changement d'état ou de forme, etc.) et que l'environnement évolue en temps réel selon l'allure de la partie constitue un autre avantage du jeu sérieux.

Les personnes joueuses peuvent et doivent se repérer dans l'environnement afin de s'y déplacer efficacement. Il est vrai qu'il faut parfois observer les objets et les environnements, mais plusieurs jeux sérieux permettent également de les modifier, collectionner ou combiner. La personne joueuse a donc une partie du contrôle sur ce qui se déroule. De plus, certaines technologies, comme la réalité virtuelle, ajoutent à

[50] Autres avantages à l'annexe A(6).

l’immersion de la personne joueuse, c’est-à-dire qu’elle est isolée des distractions externes et a plus l’impression que le monde imaginaire devient réel, ce qui aurait un effet positif sur l’engagement cognitif.

Outre cet apport, il est mentionné que les environnements sont plus riches que ce qui peut être fait avec plusieurs méthodes traditionnelles, comme le crayon-papier. L’argument soutenant cette idée vient du fait qu’il n’existe pas vraiment de limite d’objets et d’environnements. Il y a d’innombrables possibilités d’objets (atome, produit chimique, réservoir, ballon, éléments de la nature, peinture, etc.) et d’environnements (laboratoire de chimie, surface d’une planète, île, grotte souterraine, etc.). Des contraintes et propriétés peuvent être attribuées aux objets, ce qui enrichit et complexifie l’expérience. À l’intérieur d’un même jeu sérieux, il peut y avoir une grande variété d’environnements et la possibilité de passer d’un environnement à un autre, ou même d’être dans deux environnements simultanément. Un environnement peut être aussi petit ou grand que la personne conceptrice le souhaite et il peut être divisé en plusieurs parties au besoin.

Il est également possible d’offrir à la personne joueuse des perspectives variées sur les objets ou dans les environnements. Certains jeux sont en 2D, tandis que d’autres sont en 3D, ce qui donne de nombreuses possibilités à la personne conceptrice. De plus, selon l’objectif recherché ou les contraintes de conception, le réalisme peut varier de peu réaliste, mais visuellement attrayant, à très réaliste, comme dans le cas d’une simulation ou avec la réalité augmentée (si le but est de garder une cohérence avec le monde réel, par exemple).

Dans de nombreux textes, il est mentionné que d'explorer des univers virtuels et de se concentrer sur l'aspect spatial contribuent au développement de représentations ou images mentales de ces espaces numériques dans l'esprit de la personne joueuse. Principalement pendant l'exploration d'environnements tridimensionnels, la personne joueuse peut se construire des cartes mentales qui vont s'intégrer dans sa mémoire. C'est particulièrement aidant pour la compréhension de concepts mathématiques et scientifiques, qui exige une bonne visualisation spatiale.

Discussion autour de l'élément d'analyse *Objets et environnements*

En fonction des informations fournies par les textes sur l'apprentissage de la géométrie et le jeu sérieux concernant la catégorie *Objets et environnements*, nous pouvons formuler quelques constats : le besoin de développer le sens spatial des élèves peut être partiellement comblé par l'exploration dynamique des environnements d'un jeu sérieux ; et le besoin de contact avec des objets pour l'analyse de leurs propriétés géométriques peut être partiellement comblé par l'interaction avec les objets présents dans un jeu sérieux. Nous en dégageons une réflexion sur la conception de jeu sérieux.

Le besoin de développer le sens spatial des élèves peut être partiellement comblé par l'exploration dynamique des environnements d'un jeu sérieux. En effet, la géométrie ne consiste pas qu'à comprendre les figures. Elle consiste aussi à comprendre l'espace. C'est vrai au primaire, où l'espace est physique, et au secondaire, où l'espace est plus abstrait et idéalisé. Pour bien développer le sens spatial, il est principalement recommandé de varier les espaces. L'univers physique du jeu sérieux permet et facilite cette variété. Il n'y a pas vraiment de limite d'environnement physique dans lequel la personne joueuse peut être placée. De plus, l'environnement peut évoluer selon les actions de la personne joueuse et selon les décisions de la personne conceptrice du jeu sérieux. Ainsi, il pourrait être pertinent d'utiliser la flexibilité d'environnement du jeu sérieux pour faire progresser la personne apprenante dans des espaces de plus en plus abstraits.

Le besoin de contact avec des objets pour l'analyse de leurs propriétés géométriques peut être partiellement comblé par l'interaction avec les objets présents dans un jeu sérieux. En effet, comme mentionné à l'élément d'analyse précédent, l'interaction vient ajouter à l'expérience. La situation ne se résume pas qu'à un contact avec un objet. L'objet est modifiable par la personne joueuse et cette transformation vient à son tour influencer l'expérience. La réaction d'un objet face à certaines actions de la personne joueuse peut être contrôlée par la personne conceptrice du jeu sérieux.

Notre analyse permet de faire ressortir un énoncé qui n'était pas présent dans nos corpus de textes séparément. La mise en commun des analyses des corpus de textes a permis d'identifier un nouvel énoncé qui agit comme argument à l'utilisation du jeu sérieux pour l'apprentissage de la géométrie. Il était déjà connu, par la définition de la géométrie et par les textes portant sur l'apprentissage de la géométrie que les figures géométriques et l'espace étaient les sujets centraux de l'apprentissage de la géométrie, et donc qu'il fallait idéalement fournir à la personne apprenante des figures géométriques et la situer dans un espace. Il était également déjà connu que dans un jeu vidéo, sérieux ou non, la personne joueuse était en contact avec des objets et un environnement. Cependant, à notre connaissance, personne n'avait fait le lien entre les figures géométriques et les objets d'un jeu sérieux ni entre l'espace et l'environnement d'un jeu sérieux. Nous déduisons que nous pourrions adapter l'environnement d'un jeu sérieux afin que celui-ci soit un espace géométrique adéquat pour travailler des notions géométriques, et que nous pourrions adapter les objets d'un jeu sérieux afin qu'ils soient des figures géométriques.

La personne conceptrice d'un jeu sérieux visant l'apprentissage de la géométrie devrait considérer l'information précédente afin que l'univers de ce jeu sérieux soit adapté à la géométrie. De plus, une fois les connaissances géométriques spécifiques identifiées, la personne conceptrice devrait réfléchir aux attributs qu'auraient les objets et l'environnement pour qu'ils correspondent aux besoins reliés à ces connaissances. Selon nous, une analyse didactique approfondie devrait donc être faite avant et pendant la réflexion sur ce que seraient les objets et l'environnement du jeu sérieux. Des exemples seront présentés à la section 4.7.3, ainsi qu'en annexe.

4.5.3 L'élément d'analyse 3 : Les situations-problèmes

D'après une première lecture et le codage des textes, nous en dégageons un besoin apparent pour l'apprentissage de la géométrie de placer les personnes apprenantes dans des situations expérientielles riches. Notre analyse permet aussi de constater que le jeu sérieux met en place de nombreux contextes et scénarios[51]. Les nombreux contextes et scénarios possibles du jeu sérieux se prêteraient donc bien aux situations expérientielles riches dans lesquelles il est recommandé de placer les personnes apprenantes en géométrie. Une deuxième lecture des passages de la catégorie *Situations-problèmes* nous a permis d'obtenir le portrait décrit dans cette section.

L'apprentissage de la géométrie au regard des situations d'apprentissage[52]

Bien qu'il soit possible d'enseigner les notions géométriques de façon décontextualisée, il est plutôt recommandé de placer les personnes apprenantes dans des situations d'apprentissage lors desquelles elles peuvent dégager, consolider ou réinvestir des apprentissages. De plus, une compétence disciplinaire consiste en la résolution de problèmes. Cette compétence se développe également en étant placé dans une situation-problème. La résolution de situations-problèmes est donc à la fois un but éducatif et un moyen pédagogique. Toutefois, il n'est pas garanti qu'une situation-problème soit adaptée ou efficace pour l'apprentissage de la géométrie. Plusieurs recherches identifient des caractéristiques de situations-problèmes adaptées pour le domaine de la géométrie.

---

[51] Pour le deuxième élément d'analyse, il était mentionné qu'une variété d'environnements et d'objets contribuait à l'apprentissage de la géométrie. Les environnements et les objets font partie du contexte, mais il y a d'autres aspects à tenir compte. Pour cet élément, nous analysons principalement les caractéristiques faisant qu'une situation-problème contribue efficacement à l'apprentissage de la géométrie. Cet élément d'analyse va donc au-delà des environnements et des objets.

[52] Dans les corpus de textes, les expressions « situation d'apprentissage » et « situation-problème » sont souvent utilisées de manière interchangeable. Une situation d'apprentissage comprend parfois un problème à résoudre, ce qui en fait une situation-problème. Dans les bonnes conditions, la résolution d'une situation-problème mène à des apprentissages, ce qui en fait une situation d'apprentissage. Nous utiliserons les deux expressions, « situation-problème » lorsque l'accent est mis sur la résolution de problèmes et « situation d'apprentissage » lorsque l'accent est mis sur le processus d'apprentissage.

La recherche recommande généralement des activités signifiantes en lien avec la vie quotidienne et une modélisation de problèmes du monde réel, ce qui a pour effet de rendre une notion géométrique plus concrète. Cela facilite éventuellement l'abstraction reliée à cette notion, en plus d'assurer qu'elle puisse être réinvestie dans la vie de la personne apprenante. La recherche incite également à expérimenter dans l'espace physique, de faire interagir avec le monde pour construire le savoir selon une approche constructiviste et donc de rendre la manipulation nécessaire pour accomplir les tâches. Il est important de varier les types d'activités, les contextes, la complexité et les perspectives, ce qui permet d'explorer une multitude de cas possibles et de dégager les similitudes par induction. Il est également recommandé que le contexte exige une représentation tridimensionnelle de la situation-problème présente.

De plus, en géométrie, il est important de faire progresser les personnes apprenantes vers des niveaux supérieurs de pensée géométrique. Certaines situations-problèmes doivent donc guider vers l'abstraction par des tâches d'analyse et de déduction. Pour y arriver, les activités doivent permettre d'observer et découvrir des relations et des combinaisons de relations. C'est généralement réalisable par l'exploration de phénomènes géométriques, lors desquels la personne apprenante essaie de comprendre ce qui se déroule. Idéalement, une phase de formalisation suit, ce qui aide à généraliser les apprentissages réalisés. Il est également important que les activités reposent sur autre chose qu'uniquement des mesures directes et des outils de mesure. L'absence de mesures incite les personnes apprenantes à développer et utiliser un raisonnement analytique et déductif, plutôt que de traiter physiquement une mesure à l'aide de divers outils.

Plusieurs personnes auteures suggèrent que les figures ne doivent pas être déjà représentées. Ce sont les personnes apprenantes qui doivent les tracer pour s'aider à raisonner et visualiser. L'activité devrait donc permettre un moment pour représenter les concepts graphiquement. Il est également important d'offrir aux personnes apprenantes des opportunités de conversion de représentations. Autrement dit, les situations-problèmes devraient être conçues de telle façon que les personnes apprenantes ont un grand avantage, voire le besoin, de passer d'une représentation à une autre (textuelle, symbolique, graphique, numérique, algébrique, etc.) pour être en mesure de trouver la solution.

D'autres recommandations sont émises : faire vivre une situation virtuellement, réinvestir un même problème plusieurs fois, inclure des objectifs et obstacles à franchir, accompagner la personne apprenante pendant l'activité, mais la laisser surmonter les obstacles qu'elle doit surmonter elle-même, adapter la difficulté des activités au niveau des élèves, fournir tous les éléments requis pour résoudre une situation, axer sur l'enseignement de stratégies spécifiques, comme des stratégies de visualisation, encourager la discussion à l'aide d'une phase de justification, laisser la place de l'erreur, parfois subdiviser en plusieurs sous-étapes (si nous voulons baisser la charge cognitive) et parfois laisser la personne apprenante structurer sa résolution (pour augmenter son autonomie).

Le choix d’une situation-problème adaptée à l’apprentissage de la géométrie et les méthodes pédagogiques décrites ci-dessus peuvent procurer plusieurs avantages : opportunité d’investigation ou d’enquête, acquisition de connaissances informelles, ainsi que le développement de la visualisation et de l’imagination spatiale[53].

Deux autres moyens susceptibles de venir supporter l’apprentissage de la géométrie par les situations-problèmes sont recensés : l’utilisation des technologies et le jeu. L’expérience de situations-problèmes peut être améliorée par l’utilisation de technologies : TNI, l’oculométrie, la réalité virtuelle, l’ordinateur, les logiciels de géométrie dynamique, etc. Plusieurs recherches mentionnent également l’utilisation de jeux. Les jeux peuvent être intégrés à une séquence, ce qui permet d’explorer des notions abstraites ou d’introduire une notion, par exemple. Il s’agit souvent d’expériences riches alimentant l’apprentissage, lors desquelles les personnes joueuses peuvent faire des constats sur les situations gagnantes ou perdantes. De plus, le jeu diminue l’appréhension négative des mathématiques. Toutefois, pour qu’un jeu mathématique soit efficace, les mêmes caractéristiques énumérées précédemment pour cet élément d’analyse doivent idéalement être présentes.

Apports et possibilités du jeu sérieux reliés aux situations d’apprentissage

La définition du jeu sérieux met beaucoup d'accent sur l’importance du scénario pédagogique. Dans les scénarios de jeu, il y a souvent des tâches à accomplir pour pouvoir en entamer une nouvelle, des obstacles à surmonter et des règles de jeu à

[53] D’autres avantages à l’annexe A(7).

comprendre et tenir compte. Ces éléments dépendent du type de jeu. Pour évoluer dans le jeu sérieux, les personnes joueuses doivent mettre en œuvre des compétences, des aptitudes et des connaissances. Elles incarnent souvent un personnage ayant un rôle et des responsabilités. Un autre grand avantage est que les jeux sérieux permettent des contextes variés. Selon plusieurs, le jeu sérieux, grâce à ces caractéristiques, constitue un contexte adapté à l'apprentissage.

Dans les textes, les personnes auteures décrivent les situations dans lesquelles les personnes joueuses s'engagent et s'immergent. Les personnes auteures expliquent aussi des attributs de ces situations qui en font des contextes favorables à l'apprentissage de notions en particulier. Par exemple, les personnes auteures mentionnent à de nombreuses reprises qu'une situation doit être authentique, c'est-à-dire qu'elle doit se rapprocher d'une situation réelle. Le jeu sérieux rend cela possible grâce à la simulation interactive. Des moteurs logiciels et les outils de modélisation et d'animation 3D rendent aussi l'expérience plus réelle. La plupart du temps, dans un jeu sérieux, la personne apprenante fait face à des problèmes qui pourraient survenir dans le monde réel. Il est mentionné que ces situations concrètes et réelles sont généralement complexes et riches de sens et permettent d'expérimenter des principes physiques. Ces situations s'avèrent donc efficaces pour l'apprentissage de sujets scientifiques et mathématiques.

Un autre aspect abordé est un lien étroit entre l'apprentissage par le jeu sérieux et la résolution de problèmes. La principale idée véhiculée est que dans un jeu sérieux, les personnes joueuses résolvent activement des problèmes situés qui représentent des défis. Il s'agit de tâches complexes et difficiles. Au cours de plusieurs cycles d'assimilation et d'accommodation, les personnes joueuses doivent persister et adapter leurs décisions pour réussir les tâches. Il existe souvent une multitude d'approches pour résoudre un problème et les personnes joueuses peuvent se partager leurs solutions pendant ou après la période de jeu. Les personnes joueuses élaborent des stratégies complexes et créatives. Elles mettent en œuvre des tactiques pour atteindre les objectifs. Les personnes joueuses développent donc individuellement ou collectivement des habiletés de résolution de problèmes qui leur serviront dans leur parcours mathématique. Un avantage fréquemment mentionné est qu'il permet généralement un bon transfert des apprentissages à d'autres situations. De plus, les personnes joueuses apprennent sans contraintes ni sanctions, c'est-à-dire qu'elles peuvent prendre des initiatives, faire des essais et des erreurs, prendre conscience des conséquences de leurs gestes et développer leur autonomie, tout cela sans craindre de se tromper.

En plus de l'aspect réel et le développement d'habiletés de résolution de problèmes, le jeu sérieux possède d'autres avantages et possibilités en lien avec les situations d'apprentissage. D'abord, il n'y a pas vraiment de limite d'environnements, d'histoires, de situations ou de personnages. Les différentes technologies, comme la réalité virtuelle, l'apprentissage augmenté, les moteurs logiciels, la mobilité, la modélisation 3D et les interfaces gestuelles, peuvent être employées pour permettre d'augmenter les possibilités de scénarios ainsi que le réalisme et l'immersion des personnes joueuses. Ces technologies permettent également aux jeux sérieux d'être plus autoorganisés, divers, complexes, constructifs, expérientiels et réflexifs. Elles contribuent à personnaliser les rétroactions présentes dans le jeu sérieux, en plus de les rendre instantanées.

Dans les recherches, il est souvent mentionné qu'étant donné qu'elles permettent la répétition, l'interaction, l'exploration et la réflexion, les situations sont centrées sur la personne apprenante. La personne apprenante considère la situation du jeu selon ses besoins internes et s'en sert pour se développer, se construire comme individu. Les situations sont plaisantes et motivantes pour les personnes joueuses. Certains éléments, comme le pointage de jeu ou la possibilité de gagner ou perdre, peuvent augmenter le plaisir, l'engagement et la créativité des personnes joueuses. Il arrive également que pendant l'expérience de jeu, les personnes joueuses fassent des apprentissages « accidentels » et informels, c'est-à-dire que des connaissances sont apprises ou des habiletés sont développées, sans que celles-ci ne soient pas prévues au départ. Dans ce cas, il est recommandé d'inclure une phase de formalisation pendant ou après les périodes de jeu pour permettre aux personnes apprenantes de pouvoir plus facilement réinvestir les apprentissages effectués.

Discussion autour de l'élément d'analyse *Situations d'apprentissage*

En fonction des informations fournies par les textes sur l'apprentissage de la géométrie et le jeu sérieux concernant la catégorie *Situations d'apprentissage*, nous pouvons formuler quelques constats : le besoin d'améliorer les habiletés de résolution de problèmes des personnes apprenantes peut être partiellement comblé par le jeu sérieux, puisqu'il est reconnu pour faire pratiquer ces habiletés, ce qui permet leur développement (lien entre l'apprentissage par problèmes et l'apprentissage par le jeu) ; le besoin d'évoluer du concret à l'abstrait peut être partiellement comblé grâce aux très nombreuses possibilités de scénarios pédagogiques qu'offrent les technologies reliées au jeu sérieux ; et une apparence d'incompatibilité entre la volonté de vouloir profiter de situations concrètes et de développer l'abstraction en même temps.

Un des besoins importants de l'apprentissage de la géométrie consiste en la résolution de problèmes et le développement d'habiletés et de stratégies de résolution de problèmes représente un des avantages les plus cités du jeu sérieux. En effet, il est primordial que les personnes apprenantes soient placées dans des situations concrètes lors desquelles elles doivent réinvestir des apprentissages qu'elles viennent de réaliser. Cela a pour buts de concrétiser les apprentissages réalisés et faciliter leur transfert pour aider les personnes apprenantes à régler des problèmes dans leur vie personnelle et professionnelle. Le jeu sérieux permet de simuler des situations courantes (ou pas), complexes, riches, qui représentent un défi, exigeant et encourageant la persévérance, sans risque réel et qui font comprendre les impacts des décisions prises, tout en facilitant le transfert. Ces avantages du jeu sérieux coïncident avec certains besoins de l'apprentissage de la géométrie.

L'apprentissage de la géométrie est souvent représenté comme une progression graduelle selon des niveaux de pensée géométrique (du concret à l'abstrait). En géométrie, il faut donc introduire des tâches d'analyse et de déduction. Dans le jeu sérieux, les possibilités sans limite des scénarios, couplées avec l'adaptabilité permise par les technologies, font en sorte qu'il est possible d'accompagner la personne apprenante et de guider sa progression. Nous y voyons une opportunité d'encadrer la progression de la personne apprenante pour qu'elle respecte l'évolution vers des niveaux de pensée géométrique de Van Hiele. Pour une notion en particulier, l'objectif du jeu pourrait être de faire passer une personne apprenante d'un travail au niveau 1 à un travail au niveau 2, en faisant vivre les cinq phases du passage d'un niveau à l'autre (information, orientation dirigée, explication, orientation libre, intégration) proposées par Van Hiele.

À la lecture des textes, nous pouvions constater que certaines caractéristiques de situations-problèmes semblaient incompatibles. Il est souvent mentionné qu'une situation doit être concrète, mais aussi qu'elle doit développer l'abstraction. Une question à se poser ici est : est-ce qu'une situation concrète peut développer l'abstraction? Comme mentionné précédemment, rendre une notion plus réelle pour l'élève facilite l'abstraction en amont. Nous pouvons en déduire que pour rendre l'abstraction possible, il est important que la personne apprenante se soit déjà construit une représentation mentale de la notion. Ce processus se déroule en expérimentant plusieurs situations concrètes variées. La personne apprenante peut remarquer ce qui reste vrai et ce qui change d'une situation à une autre. En géométrie, les propriétés d'une classe de figures restent vraies pour toutes les figures de cette classe. Le jeu sérieux est reconnu comme une source variée de situations. Par exemple, le jeu sérieux pourrait être utilisé pour que la personne joueuse soit en interaction avec une même classe de figure, mais dans de nombreuses situations différentes. Cela pourrait avoir comme effet que la personne découvre, remarque ou comprenne certaines propriétés de cette classe de figures.

Notre analyse a permis de cibler quel type de situations doit être mis en place afin qu'elles contribuent le mieux possible à l'apprentissage de la géométrie. Un jeu vidéo, sérieux ou non, place la personne joueuse dans une situation dans laquelle il y a un problème à régler. Or, ce que notre analyse révèle, c'est que toute situation n'est pas nécessairement adaptée à l'apprentissage de la géométrie, et donc que la personne conceptrice d'un jeu sérieux visant l'apprentissage de la géométrie devrait porter attention aux caractéristiques mentionnées dans notre analyse (situations contextualisées, signifiantes en lien avec la vie quotidienne, permettant de travailler le niveau de Van Hiele visé, représentant un défi, dont la représentation est laissée à faire à la personne apprenante, etc.). Plus spécifiquement, la principale caractéristique d'une situation-problème qui rendrait le jeu sérieux adapté à l'apprentissage de la géométrie est selon nous une progression bien réfléchie par rapport aux niveaux de pensée. Si le but est de faire progresser les personnes apprenantes vers des niveaux de pensée plus abstraits, il faut les guider adéquatement. S'il est bien conçu, le jeu sérieux permet cela. Des exemples seront présentés à la section 4.7.3, ainsi qu'en annexe.

4.5.4 L'élément d'analyse 4 : La visualisation

D'après une première lecture et le codage des textes, nous en dégageons un besoin de susciter et développer la visualisation des personnes apprenantes en géométrie. Nous discernons aussi que les possibilités graphiques du jeu sérieux possèdent de nombreux avantages et amènent plusieurs fonctions. Nous déduisons donc que les possibilités graphiques pourraient contribuer au développement de la visualisation pour la géométrie. Une deuxième lecture des passages de la catégorie *Visualisation* nous a permis d'obtenir le portrait décrit dans cette section.

L'apprentissage de la géométrie au regard de la visualisation

Il existe une distinction importante entre la vue et la visualisation, et il semble important d'en tenir compte. La vue est un sens qui est activé lorsque nous ouvrons les yeux. Nos yeux perçoivent des informations grâce à la lumière, ces informations sont acheminées au cerveau, puis interprétées par ce dernier. La visualisation peut quant à elle se faire les yeux ouverts (visualisation externe) ou les yeux fermés (visualisation interne), mais dans un cas comme dans l'autre, c'est l'imagination qui est activée. La visualisation externe consiste à s'imaginer une transformation quelconque des images perçues par les yeux. Par exemple, en regardant un rectangle, nous pouvons nous imaginer une nouvelle configuration dans laquelle les diagonales du rectangle sont aussi présentes. Il est aussi possible de nous imaginer quelque chose qui n'est pas présent. Par exemple, en regardant une feuille vierge, nous pouvons nous imaginer le dessin que nous nous apprêtons à faire. La visualisation interne consiste à nous imaginer quelque chose les yeux fermés. En lisant l'énoncé d'un problème géométrique sous sa forme textuelle, nous pouvons nous imaginer une scène, comme un camion-citerne qui déverserait son contenu au sol. En fermant les yeux, donc sur fond noir vide, nous pouvons générer des images mentalement qui nous aident à mieux comprendre visuellement un concept ou encore mieux l'utiliser, comme lors de la résolution d'un problème.

Pour comprendre le lien entre la visualisation et la géométrie, le concept d'image ou représentation[54] mentale est donc souvent soulevé. Il existe plusieurs types de représentation. Certaines représentations sont très concrètes, d'autres sont très abstraites et il existe tout un spectre entre ces deux types de représentations mentales. L'idée centrale véhiculée par les personnes auteures est toutefois l'importance et l'utilité des images/représentations mentales. Autrement dit, les élèves les développent pour ensuite s'en servir dans les tâches géométriques, un peu comme si la visualisation était une compétence disciplinaire.

Toute représentation mentale n'est pas nécessairement efficace pour l'apprentissage. Il importe donc de développer de « bonnes » représentations mentales. Selon plusieurs personnes auteures, lorsque les représentations conceptuelles sont ancrées dans différentes modalités (perceptuelles, motrices, etc.), elles perdurent et sont plus accessibles pour les personnes apprenantes. Les moyens les plus cités pour les

[54] Dans certains textes, on parle de représentation mentale et dans d'autres, d'image mentale. Saint-Bauzel (2011) définit les représentations mentales comme « des traces de perceptions et d'informations, organisées en mémoire », qui sont « le produit d'un travail d'imagerie mentale » (p. 3). Les deux concepts sont donc proches de sens. Nous utiliserons majoritairement le terme *représentation*.

développer sont des activités de manipulation et d'observation accompagnées par des bonnes questions, autant en deux et en trois dimensions. En expérimentant celles-ci, les élèves peuvent récolter des informations selon plusieurs points de vue et manier ce qui est à leur disposition pour mieux comprendre les propriétés et leur signification. Le dessin est aussi fortement recommandé pour développer des représentations mentales.

De nombreuses méthodes existent pour développer des habiletés et stratégies de visualisation. Certaines personnes auteures utilisent l'expression « éducation visuelle » pour décrire un système d'enseignement entièrement basé sur la visualisation, qui aurait comme objectif et avantage de développer des façons visuelles de raisonner. Elles justifient parfois ces méthodes visuelles par le fait que la vue est notre sens le plus utilisé, donc le plus maîtrisé par la majorité des personnes. Toutefois, même si la vue est généralement notre sens le plus développé, la charge cognitive reliée à des tâches visuelles peut être importante dû à un grand nombre de stimuli. En réponse à ce problème, il est recommandé d'inclure des manipulations ou des gestes aux tâches visuelles pour diminuer la charge cognitive, permettant à la personne apprenante de réaliser des apprentissages d'un plus haut niveau de pensée.

Une autre recommandation fréquente est de faire vivre des activités de *conversion* de représentation mentale aux personnes apprenantes. Par exemple, une activité pourrait requérir de passer d'une représentation mentale assez abstraite à une représentation mentale plus concrète, ou vice-versa. Certains supports technologiques favorisent plus la visualisation que le support papier-crayon. Puisqu'ils permettent souvent de présenter des images dynamiques[55], comme l'apparition de plusieurs points alignés pour former la médiatrice d'un segment, ces supports sont selon plusieurs plus efficaces pour le développement de la visualisation et de l'apprentissage de la géométrie de façon générale.

Lorsqu'elle se développe, la visualisation par représentations mentales en géométrie apporte de nombreux avantages. D'abord, durant l'apprentissage, une approche visuelle soutient les activités de découverte de propriétés ou règles par des manipulations concrètes, des modèles et des diagrammes. Utiliser plusieurs représentations renforce également la compréhension d'un concept. Pour les élèves, être en mesure de visualiser un problème géométrique aide énormément à sa résolution, car cela donne des idées sur les étapes à venir et les figures et notions géométriques en jeu. La visualisation aide également à estimer et comparer intuitivement des longueurs, des aires, des volumes, etc. Beaucoup d'élèves favorisent ainsi les représentations visuelles et concrètes.

Étant donné les sujets d'étude de la géométrie, il y a un consensus selon lequel il s'agit d'une discipline très visuelle[56]. Comme mentionné dans notre cadre théorique, la visualisation est le premier niveau de pensée géométrique à maîtriser selon Van Hiele (1959), et ce niveau concerne l'apparence des figures. L'élève identifie, compare et décrit avec des mots des figures selon leur aspect global en les associant à des objets réels. S'il s'agit du premier niveau d'un modèle hiérarchique de cinq

---

[55] Les logiciels de géométrie dynamique sont les supports technologiques les plus étudiés en géométrie.

[56] Le terme « visuelle » fait ici référence à la vue et à la visualisation.

niveaux, c'est parce que pour apprendre une notion d'un niveau supérieur, l'élève doit d'abord maîtriser ce premier niveau. De plus, les personnes auteures nous mettent en garde que ce n'est pas parce que le niveau a été atteint par les personnes apprenantes qu'il ne faut pas y revenir en rappel. En effet, pour tout apprentissage en géométrie, il est suggéré de recommencer au niveau 1 pour rafraichir la mémoire visuelle des élèves concernant des figures ou phénomènes géométriques. Cela place donc la visualisation au cœur de l'apprentissage de la géométrie.

Des va-et-vient entre la visualisation et l'analyse, commençant par la visualisation, sont difficiles pour certains élèves, mais facilitent une compréhension plus riche et utile d'idées géométriques complexes. Dans le modèle VA (visual-analysis), l'acte d'analyse correspond à une coordination mentale des objets et des processus construits pendant la visualisation précédemment effectuée. Puis, pendant une nouvelle visualisation, l'élève modifie sa représentation mentale ou dessinée selon la coordination qu'il vient de faire. Ce processus se répète autant de fois que nécessaire. La visualisation contribue à l'analyse et l'analyse développe la visualisation, et cela facilite la compréhension de notions et relations géométriques. Pour qu'elles concrétisent leurs apprentissages, les personnes apprenantes doivent être invitées à exprimer leurs raisonnements. D'autres modèles ramènent sensiblement aux mêmes fonctionnements et aux mêmes recommandations[57].

[57] Le modèle des visualisations iconiques et non iconiques en est un exemple.

Apports et possibilités du jeu sérieux reliés aux objets et à la visualisation

Le jeu sérieux, selon plusieurs recherches, supporte les apprentissages de type visuel. L'explication la plus élémentaire est que le jeu sérieux fait partie de la grande classe du jeu vidéo, et celui-ci, par nature, consiste en une diffusion d'images. Le jeu sérieux est donc lui-même visuel. Il stimule les sens par une riche variété de stimuli majoritairement visuels qui évoluent en temps réel. Le jeu sérieux permet d'observer et d'agir en présence de phénomènes dynamiques. Le jeu sérieux est donc considéré comme un moyen de développer la visualisation. Les principaux arguments qui justifient cet énoncé sont les possibilités d'affichage, le développement de représentations mentales grâce à l'interaction et des environnements de jeu cognitivement riches (principalement ceux en trois dimensions). Ces apports renforcent l'immersion, ce qui a comme avantage que les personnes joueuses dédient une plus grande attention visuelle. Elles distinguent plus rapidement les stimuli visuels entre eux, ce qui est évidemment bénéfique pour la visualisation.

L'aspect visuel peut varier grandement d'un jeu sérieux à un autre. C'est rendu possible par différentes technologies numériques modernes, comme l'ordinateur, la réalité virtuelle, la réalité augmentée, les sciences géomatiques, etc. A priori, la personne conceptrice d'un jeu sérieux n'a pas vraiment de limites quant à l'aspect visuel de ce dernier. Les technologies permettent d'ajuster plusieurs options ou paramètres d'affichage (éclairage, contraste, couleurs, textures, zoom optique, etc.). Elles peuvent offrir un haut niveau de réalisme ou des graphiques se rapprochant du dessin, selon les besoins et contraintes du jeu sérieux. Cette liberté laisse beaucoup d'options pour le développement de la visualisation. Plusieurs perçoivent le jeu sérieux comme une opportunité d'observer une situation selon plusieurs perspectives simultanément ou séquentiellement. Il est donc possible d'observer de proche ou de loin, de haut ou de bas, de l'intérieur ou de l'extérieur, etc.

Comme mentionné à l'élément d'analyse 1, le jeu sérieux est un contexte naturel pour l'interaction, ce qui distingue principalement le jeu vidéo[58] de la télévision, où la personne qui regarde est passive. L'interaction qu'offre le jeu sérieux accentue les bénéfices pour l'apprentissage. De nombreuses personnes chercheuses expliquent que l'interaction contribue à la construction de représentations mentales beaucoup plus fortes que lorsque la personne est passive. Plusieurs soulignent que la présence d'activités motrices participe grandement à l'intégration des stimuli, principalement visuels, dans le système cognitif d'une personne apprenante. Cette association entre motricité et visualisation suscite plusieurs raisonnements, comme l'induction, l'anticipation et le raisonnement proportionnel.

Un autre aspect du jeu sérieux contribuant au développement de la visualisation est la présence d'environnement tridimensionnel. De nos jours, des moteurs de jeu comme Unity 3D permettent de disposer gratuitement d'un environnement numérique tridimensionnel, utile pour la conception d'un jeu vidéo (sérieux). Les personnes joueuses voient, explorent et s'approprient l'espace virtuel/numérique, en plus de les manipuler, de se déplacer à l'intérieur, de changer d'orientation et de prendre

[58] Et le jeu sérieux, par extension.

conscience de leur position. Il est expliqué que pendant ce processus, la personne joueuse traite l'information visuelle, estime des distances d'un lieu à un autre ainsi que le temps pour s'y rendre, effectue des rotations mentales et se représente cognitivement l'environnement par cartes mentales, ce qui développe des compétences visuelles et spatiales importantes dans plusieurs disciplines comme les mathématiques et les sciences.

Discussion autour de l'élément d'analyse *Visualisation*

En fonction des informations fournies par les textes sur l'apprentissage de la géométrie et le jeu sérieux concernant la catégorie *Visualisation*, nous pouvons formuler quelques constats. D'abord, l'apprentissage de la géométrie est très visuel et le jeu sérieux supporte les apprentissages de type visuel. Ensuite, le jeu sérieux aide à se créer des représentations mentales, ce qui est important en géométrie. Enfin, il existe une ambiguïté quant à la présence d'images et le développement de la visualisation ainsi que le besoin de ne pas toujours représenter le problème. Ces éléments entrainent une réflexion sur l'utilisation et l'implémentation du concept de visualisation dans un jeu sérieux visant l'apprentissage de la géométrie. Nous traiterons de ces implications dans cette discussion.

La géométrie est une discipline très visuelle, car elle concerne la forme apparente des objets, ce qu'on peut pratiquement toujours voir à l'œil. Les activités d'apprentissage en géométrie en sont souvent de perception visuelle, d'observation, de dessin et de description physique. Par la diffusion d'images et de vidéos, le jeu sérieux s'avère très visuel lui aussi. Il permet un grand nombre de stimuli visuels et l'observation de phénomènes physiques. Ainsi, plusieurs activités géométriques et visuelles pourraient être réalisées par l'entremise d'un jeu sérieux.

Le premier niveau de Van Hiele, celui d'identification-visualisation, est le niveau de base. En géométrie, il est donc très important de bien visualiser pour pouvoir atteindre des niveaux de pensée plus abstraits. Les interactions et les environnements riches, présents en grand nombre dans un jeu sérieux, contribuent à la construction de représentations mentales, reliées à la visualisation. Le jeu sérieux a donc le potentiel de développer la visualisation chez les personnes joueuses. En développant la visualisation, le jeu sérieux a ainsi le potentiel de faciliter l'accès à des niveaux supérieurs de pensée géométrique.

Or, l'aspect très visuel du jeu sérieux et le développement de représentations mentales ne vont pas nécessairement de pair. La visualisation peut se développer à la vue d'images (perception), mais ce n'est peut-être pas toujours automatique. Ce n'est pas parce qu'un jeu sérieux possède des images qu'il développe nécessairement bien la visualisation géométrique. Il est même raisonnable de penser que la visualisation mentale se fait en l'absence d'images, et donc que la présence d'images ne susciterait pas le besoin d'utiliser la visualisation, puisque les personnes joueuses n'auraient pas à se créer des images mentales pour mieux réussir les tâches. Ils les auraient sous les yeux. C'est vrai pour la visualisation interne[59], mais pas pour la visualisation

[59] Rappel : la visualisation interne se réalise les yeux fermés.

externe[60], qui se fait en présence d'images. La visualisation externe pourrait donc être stimulée par le jeu sérieux grâce à son flux d'images.

La personne conceptrice d'un jeu sérieux visant l'apprentissage de la géométrie devrait réfléchir à la façon dont il développerait la visualisation chez les personnes joueuses pour que son jeu sérieux contribue efficacement à l'apprentissage de la géométrie. Cela nous amène à penser qu'un jeu pourrait progressivement laisser place à l'imagination de la personne joueuse en retirant graduellement des éléments visuels. La personne joueuse basculerait graduellement de l'espace sensible à l'espace géométrique. Cela pourrait aussi être fait en variant des paramètres d'affichage, comme la luminosité ou le zoom pour que des objets soient invisibles de l'élève, ce qui inciterait peut-être l'élève à se les imaginer lui-même. Face à des situations où les éléments visuels ne sont plus aussi présents, l'élève devrait donc faire appel à certains types de raisonnement pour accomplir ses tâches.

Un autre aspect d'allure incompatible attire notre attention. Le jeu sérieux est considéré comme efficace pour visualiser des situations-problèmes. Il est toutefois recommandé de ne pas toujours représenter graphiquement le problème aux élèves, mais plutôt de les encourager à dessiner les situations-problèmes en leur laissant cette étape à faire. Aucun argument ne vient alléger ce dilemme. Nous pensons toutefois qu'il est possible de s'assurer, à la conception du jeu sérieux, qu'il y ait des moments dans l'expérience de jeu lors desquels la personne joueuse n'a pas accès au support

[60] Rappel : la visualisation externe se réalise les yeux ouverts.

visuel pour résoudre un problème. La personne joueuse devrait donc visualiser le contexte ou encore le dessiner dans le jeu ou sur une feuille pour atteindre les objectifs.

Nous estimons que notre recherche apporte à la compréhension de comment un jeu sérieux développe la visualisation. En effet, dans les recherches portant sur le jeu sérieux, il était très souvent mentionné que le jeu sérieux développe la visualisation. Il n'y avait pas vraiment de nuances. Notre recherche vient éclairer ce phénomène. D'abord, par la mise en commun avec les recherches sur l'apprentissage de la géométrie, nous avons découvert que le développement de la visualisation est complexe, et que toute représentation mentale n'est pas aussi puissante pour l'apprentissage de concepts. Nous avons donc relevé les principaux moyens de développer des représentations mentales efficaces pour l'apprentissage de la géométrie, puis dégagé ce qu'il faudrait mettre en place dans un jeu sérieux pour qu'il développe la visualisation et contribue à l'apprentissage de la géométrie de façon générale. Des exemples seront présentés à la section 4.7.3, ainsi qu'en annexe.

4.6 Étape 6 : La synthèse

En fonction des informations fournies par les textes sur l'apprentissage de la géométrie et sur le jeu sérieux concernant la catégorie *Actions*, nous constatons que le besoin de manipuler peut être comblé par le jeu sérieux et que les actions effectuées dans un jeu sérieux possèdent une meilleure valeur pédagogique puisqu'elles deviennent des interactions.

Au regard de l'analyse effectuée, cette fois pour la catégorie *Objets et environnements*, nous constatons que le besoin de développer le sens spatial des élèves peut être partiellement comblé par l'exploration dynamique des environnements d'un jeu sérieux et que le besoin de contact avec des objets pour l'analyse de leurs propriétés géométriques peut également être partiellement comblé par l'interaction avec les objets présents dans un jeu sérieux.

Pour ce qui est de la catégorie *Situations d'apprentissage*, les informations fournies par les textes sur l'apprentissage de la géométrie et le jeu sérieux qui y sont reliés ont mené à deux constats. D'abord, le besoin d'améliorer la résolution de problèmes peut être partiellement comblé par le jeu sérieux, puisqu'il est reconnu pour développer des habiletés de résolution de problèmes (lien entre l'apprentissage par problèmes et l'apprentissage par le jeu). Ensuite, le besoin d'évoluer du concret à l'abstrait peut être partiellement comblé grâce aux très nombreuses possibilités de scénarios pédagogiques qu'offrent les technologies reliées au jeu sérieux.

Finalement, les textes sur l'apprentissage de la géométrie et le jeu sérieux concernant la catégorie *Visualisation* ont quant à eux permis d'énoncer deux constats. Premièrement, l'apprentissage de la géométrie est très visuel et le jeu sérieux supporte les apprentissages de type visuel. Deuxièmement, le jeu sérieux aide à se créer des représentations mentales, ce qui est important en géométrie.

Certaines inquiétudes ont émergé, ce qui a mené à des questionnements sur la pertinence du jeu sérieux pour l'apprentissage de la géométrie. De prime abord, certaines informations recueillies semblaient en contradiction. Toutefois, des nuances peuvent être soulevées. Des limites pouvaient exister concernant l'utilisation du jeu sérieux pour l'apprentissage de la géométrie, mais elles étaient souvent compensées par d'autres aspects du jeu sérieux. Cela vient surtout faire comprendre que le jeu sérieux doit être utilisé en complémentarité avec d'autres méthodes d'enseignement. De plus, les questionnements ont aidé à identifier des pièges à éviter pendant la conception d'un jeu sérieux visant l'apprentissage de notions géométriques. Cela sera utile pour l'analyse spécifique, lors de laquelle il y aura une présentation d'applications possibles du jeu sérieux pour l'apprentissage de la géométrie.

Pour résumer, le jeu sérieux offre des avantages qui semblent répondre à plusieurs besoins centraux et essentiels de l'apprentissage de la géométrie. Notre recherche a permis d'identifier les principales contributions potentielles du jeu sérieux à l'apprentissage de la géométrie, ainsi que les moyens à mettre en place pour s'assurer que les avantages répondent adéquatement aux besoins de l'apprentissage de la géométrie. Les questionnements relevés ont été des opportunités de réflexion apportant plus d'éclairage pour la conception d'un jeu sérieux efficace à l'apprentissage de la géométrie. À ce point-ci de la recherche, l'anasynthèse est terminée. La prochaine section est une application des résultats de notre anasynthèse.

4.7 L’analyse spécifique

Rappelons ici les objectifs de la recherche :

Premier objectif : Déterminer des avantages du jeu sérieux sur l’apprentissage de notions associées au domaine de la géométrie.

Deuxième objectif : Identifier et analyser les moyens susceptibles d’aborder certaines difficultés d’apprentissage en géométrie à l’aide d’un jeu sérieux.

Troisième objectif : Décrire, si l’analyse le permet, des applications du jeu sérieux au développement de la pensée géométrique des élèves.

À ce point-ci, le premier objectif est atteint et nous avons posé les bases théoriques sur lesquelles nous allons nous appuyer pour les deuxième et troisième objectifs. Notre analyse spécifique s’est faite en trois étapes :

- Identifier les difficultés pouvant être travaillées le plus efficacement avec un jeu sérieux (4.7.1) ;
- Expliquer comment les difficultés pourraient être travaillées grâce aux possibilités du jeu sérieux (deuxième objectif) (4.7.2) ;
- Apporter des idées de conception de jeux sérieux qui auraient comme objectifs de travailler les différentes difficultés choisies et de contribuer au développement de la pensée géométrique des élèves de façon générale (troisième objectif) (4.7.3).

4.7.1 La première étape : Le choix des difficultés

Dans le cadre théorique, nous avions énuméré et décrit douze difficultés souvent mentionnées dans les textes sur la géométrie. Lors de l'analyse croisée (étape 4, section 4.7.4), nous avons relevé les passages associés à chaque difficulté. L'explication scientifique (étape 5, section 4.7.5) a permis de mieux comprendre quelles sont les contributions potentielles du jeu sérieux au développement de la pensée géométrique des élèves. L'analyse qui s'en suit a mis en lumière des difficultés que le jeu sérieux permet d'aborder, soient : *flexibilité visuelle*, *reconnaissance visuelle*, *dessin et représentation*, *déterminer les étapes dans une résolution de problème* et *phénomène de la figure prototypique*. D'autres difficultés pourraient être travaillées par le jeu sérieux, mais nous nous sommes concentrés sur les cinq difficultés nommées ci-dessus.

4.7.2 La deuxième étape : Des contributions potentielles du jeu sérieux

Lors de la relecture des passages portant sur ces cinq difficultés, nous connaissions plus les apports possibles du jeu sérieux. Pour chacune des difficultés, nous avons relevé les aspects pour lesquels le jeu sérieux pouvait contribuer. Le but de cette analyse était de trouver plus facilement des idées de jeu sérieux pouvant travailler quelques difficultés. Voici ce qui a résulté de cette analyse.

La difficulté *flexibilité visuelle* fait référence à la difficulté qu'éprouvent plusieurs personnes apprenantes à s'adapter à de nouveaux contextes ou de nouvelles dispositions géométriques, particulièrement lorsqu'elles ont à manipuler mentalement une figure. Nous pensons que le jeu sérieux pourrait être efficace pour travailler cette difficulté parce qu'il a comme avantage de développer la visualisation des personnes joueuses, parce qu'il a comme avantage de développer le transfert des connaissances par ses situations d'apprentissage variées et parce qu'il permet de manipuler virtuellement des objets géométriques[61].

Lorsqu'il est difficile pour certaines personnes apprenantes d'interpréter géométriquement ce qu'ils perçoivent visuellement, surtout lorsqu'il y a plusieurs réponses possibles, cela fait référence à la difficulté *reconnaissance visuelle*. Le jeu sérieux permet un contact virtuel et interactif avec des objets géométriques. De plus, les situations d'apprentissage peuvent évoluer pour être de plus en plus abstraites, ce qui, progressivement, permet de faire des liens entre le concret (ce qu'ils perçoivent visuellement) et l'abstrait (interprétation géométrique). Ainsi, nous analysons que le jeu sérieux peut être efficace pour travailler cette difficulté.

La difficulté *dessin et représentation* correspond à la difficulté qu'éprouvent plusieurs personnes apprenantes à dessiner et représenter une figure, une configuration de figures ou une situation-problème lors de laquelle la géométrie se manifeste. Le jeu sérieux pourrait être efficace pour travailler cette difficulté parce

[61]À la base, le jeu sérieux permet de manipuler des objets, qu'ils soient géométriques ou non. Dans le cas d'un jeu sérieux visant l'apprentissage de la géométrie, il s'agit donc d'objets géométriques.

qu'il permet plusieurs actions, comme le dessin et parce qu'il permet de se créer des représentations ou images mentales des figures, des espaces et des situations.

La difficulté *déterminer les étapes dans une résolution de problème* fait référence à la difficulté d'identifier quoi faire en premier, d'utiliser sa pensée créative, de déployer des stratégies de résolution de problèmes et de trouver le bon modèle mathématique à utiliser. Le jeu sérieux est très efficace pour travailler la résolution de problèmes de façon générale. De plus, il permet l'exploration, donc de l'essai-erreur. Il fait également interagir avec les éléments du jeu sérieux, ce qui permet d'observer et de mieux comprendre les impacts des actions posées. Le jeu sérieux pourrait être efficace pour travailler cette difficulté.

La difficulté *phénomène de la figure prototypique* correspond à une prédominance de l'utilisation de l'image mentale d'une figure plutôt qu'à sa définition formelle, ce qui fait déduire des propriétés additionnelles et fausses. Nous analysons que le jeu sérieux pourrait être efficace pour travailler cette difficulté parce qu'il permet la présentation d'une grande variété d'objets géométriques et parce qu'il permet de manipuler les objets (figures géométriques) et d'observer comment ils peuvent être modifiés tout en restant dans la même classe de figures.

4.7.3 La troisième étape : Deux idées de jeux sérieux

Maintenant que les moyens par lesquels le jeu sérieux peut aider à travailler les difficultés choisies et contribuer au développement de la pensée géométrique des élèves ont été identifiés, nous proposons des idées de conception de jeux sérieux qui auraient comme objectifs de travailler les différentes difficultés choisies et de contribuer au développement de la pensée géométrique des élèves de façon générale.

4.7.3.1 Première idée de jeu sérieux : Géo-Party

L'idée de Géo-Party est inspirée des jeux vidéo Mario Party, Pummel Party et autres jeux vidéo de ce type, dans lesquels plusieurs personnes joueuses se déplacent sur un plateau de jeu, rivalisent entre elles dans des *mini-jeux* et doivent acheter des points de victoire (des étoiles, par exemple). Habituellement, un nombre de tours de jeu est choisi. À la fin du dernier tour, la personne joueuse avec le plus de points de victoire remporte la partie. Pour que ce jeu sérieux contribue au développement de la pensée géométrique des élèves, les *mini-jeux* consisteraient à manipuler des objets géométriques et nous ajouterions des défis, plus longs que les *mini-jeux*, pendant la partie afin de faire travailler la résolution de problèmes géométriques. Le principal objectif pédagogique serait d'aborder les difficultés *flexibilité visuelle*, *reconnaissance visuelle* et *phénomène de la figure prototypique* à l'aide de ce jeu sérieux. À l'annexe B(1), nous présentons plus en détail ce jeu sérieux et la façon dont la géométrie se manifesterait à l'intérieur de celui-ci.

4.7.3.2 Deuxième idée de jeu sérieux : Architectes

Dans Architectes, il y aurait trois modes de jeu, qui permettraient chacun de développer différentes habiletés chez les personnes joueuses. Les principales actions de ce jeu sérieux seraient de construire des plans selon des contraintes, de visualiser le résultat de projections (3D vers 2D) et de reproduire des images préalablement mémorisées. Architectes se jouerait à une personne joueuse, mais il y aurait beaucoup d'options pour se partager les créations après les séances de jeu. Le principal objectif pédagogique serait d'aborder les difficultés *flexibilité visuelle*, *dessin et représentation* et *déterminer les étapes dans une résolution de problème* à l'aide de ce jeu sérieux. À l'annexe B(2), nous présentons plus en détail ce jeu sérieux et la façon dont la géométrie se manifesterait à l'intérieur de celui-ci.

LA CONCLUSION

En vue de faire le point sur ce projet de maîtrise reposant sur des objectifs agissant comme catalyseurs à la recherche, cette dernière section engagera un retour sur les principales étapes de la démarche poursuivie qui ont engrangé les résultats. En continuité, nous préciserons des retombées et des limites de l'étude, et nous ouvrirons finalement sur des perspectives pour de futures recherches.

La preuve n'est plus à faire que les technologies, telle la géométrie dynamique, apportent beaucoup à l'apprentissage de la géométrie. Le jeu sérieux est une autre technologie émergente qui pourrait également profiter à l'apprentissage de la géométrie. Les recherches sur le jeu sérieux l'annoncent souvent comme une révolution en éducation. Pourtant, les résultats prometteurs ne sont pas toujours au rendez-vous, ce qui en laisse plusieurs perplexes. De plus, il existe peu de jeux sérieux en géométrie et peu de recherches étudient les effets du jeu sérieux pour le développement de la pensée géométrique des élèves. Ces circonstances incitent à s'intéresser au potentiel du jeu sérieux pour le développement de la pensée géométrique des élèves. Notre question de recherche est donc : comment le jeu sérieux peut contribuer à mettre de l'avant la pensée géométrique chez les élèves?

Le cadre conceptuel a donc porté à la fois sur l'apprentissage de la géométrie et sur le jeu sérieux. Le modèle des niveaux de pensée de Van Hiele a permis de mieux comprendre la progression de la pensée géométrique. Nous avons également dégagé des difficultés souvent rencontrées pendant l'apprentissage de la géométrie. Ensuite, nous sommes partis de la définition du jeu et des distinctions pouvant être faites pour saisir intuitivement ce qu'est un jeu sérieux éducatif. Le cadre conceptuel a permis d'identifier trois objectifs de recherche en vue de répondre à la question initiale. Nous devions partir de données théoriques pour en obtenir de nouvelles, ce qui s'est reflété dans le choix de la recherche théorique, et plus précisément le processus d'anasynthèse comme méthodologie de recherche.

Pour atteindre les objectifs de recherche et répondre à la question de recherche, plusieurs étapes ont été réalisées itérativement : la documentation, les deux champs notionnels, les deux corpus de textes, l'analyse croisée et l'explication scientifique. Quatre éléments issus de l'analyse sont ressortis comme les plus convaincants pour considérer le jeu sérieux comme une avenue profitable au développement de la pensée géométrique des élèves. Être dans l'action, manipuler des objets et des environnements riches et variés, se trouver dans des situations d'apprentissage complexes et adaptées aux notions visées et développer la visualisation par la création de représentations mentales ont été identifiés comme des besoins qui étaient à la fois importants pour le développement de la pensée géométrique, mais également accessibles par l'entremise du jeu sérieux. En effet, les nombreuses possibilités du jeu sérieux pour interagir, manipuler, expérimenter et visualiser répondent à ces besoins centraux. Ces éléments, en plus de confirmer un peu plus cette intuition de départ que le jeu sérieux peut grandement contribuer au développement de la pensée géométrique des élèves, nous indiquent quelques conditions optimales d'utilisation.

C’est grâce à ces informations que nous avons pu formuler deux idées de jeux sérieux traitant de notions géométriques.

5.1 Les apports de la recherche

Somme toute, le travail effectué dans ce projet est très ambitieux relativement à ce qui est demandé pour un projet de maîtrise. Répondre à une question avec comme seuls outils d’autres recherches n’ayant pas étudié cette même question a exigé beaucoup de rigueur, de temps et d’organisation. Nos objectifs ont été atteints tout en respectant les hauts critères de scientificité associés à la recherche théorique, ce qui est définitivement un aspect remarquable de notre recherche.

Notre recherche saura trouver son utilité dans plusieurs situations. La première partie de nos explications scientifiques s’avèrera profitable pour quiconque désirant connaitre le portrait des principales recommandations émises par la recherche en didactique de la géométrie. Devant les résultats obtenus au moyen de la démarche d’anasynthèse, une personne conceptrice de jeu sérieux aura plusieurs raisons de viser des notions géométriques. D’abord, cette étude a permis de faire la démonstration que le jeu sérieux semble fait sur mesure pour le développement de la pensée géométrique des élèves, constat qui n’a pas été établi pour toutes les disciplines scolaires. Ensuite, une personne conceptrice profiterait déjà de nombreux conseils et connaitrait plusieurs pièges à éviter, ce qui faciliterait grandement son travail. À la fin du mémoire, les idées de jeux sérieux pourraient s’avérer inspirantes pour d’éventuels scénarios pour le développement de la pensée géométrique des élèves. Notre analyse n'explorait que de la géométrie, mais notre adaptation du processus d'anasynthèse peut constituer une alternative idoine pour aborder le potentiel du jeu sérieux pour d'autres disciplines pour lesquelles le jeu sérieux n'a pas encore fait ses classes.

5.2 Les limites et le prolongement de la recherche

Toutefois, malgré la rigueur et l'aspect novateur de cette recherche, elle possède tout de même certaines limites. D'abord, même si nous n'avons jamais prétendu que c'était le cas, il serait illusoire de penser que le jeu sérieux représente la solution miracle pour tout. Pour apprendre la géométrie, de nombreuses méthodes d'enseignement doivent être employées. Le point que nous défendons est qu'il serait profitable qu'il y ait plus de jeux sérieux portant sur la géométrie et que ceux-ci soient plus utilisés en classe. D'ailleurs, pour que ce dernier changement survienne, les personnes enseignantes devront s'approprier l'outil technologique. À la lumière des résultats de notre recherche, nous suggérons une formation comme avenue pour s'assurer que les conditions optimales d'utilisation du jeu sérieux soient présentes.

Ensuite, bien que notre analyse se soit basée sur plusieurs perspectives différentes pour en arriver avec des énoncés sur la contribution du jeu sérieux pour le développement de la pensée géométrique des élèves, nous n'avons pas validé les informations par le biais d'une étude sur le terrain. Les raisons expliquant ce choix ont d'ailleurs été listées dans la problématique. Les nombreuses tendances mentionnées dans ce mémoire auraient pu inclure une phase de vérification empirique, mais celle-ci dépassait simplement l'ambition de cette recherche. Toutefois, notre recherche n'est pas restée purement théorique. En effet, l'analyse spécifique qui a suivi l'anasynthèse a permis d'en arriver à deux idées de jeux sérieux visant le développement de la pensée géométrique des élèves, ce qui a bien illustré comment les énoncés théoriques pourraient se manifester concrètement.

D'autres choix ont également été déchirants, mais nécessaires. D'abord, nous avons privilégié le modèle des niveaux de pensée géométrique de Van Hiele par rapport à d'autres modèles. Or, les recherches identifiées dans notre corpus de textes n'étaient pas toutes basées sur ce modèle. Ainsi, d'autres modèles ont fait partie de notre analyse. Il a toutefois été nécessaire de s'assurer de la cohérence, de faire des liens et d'expliquer le tout adéquatement. Il serait donc intéressant d'étudier le même sujet, mais cette fois avec d'autres modèles, comme ceux issus du cognitivisme. Ces mêmes réflexions s'appliquent aussi au choix des difficultés. D'autres perspectives mettraient indubitablement l'accent sur des éléments d'analyse différents, et la comparaison qui en suivrait serait très enrichissante. Le choix de prendre deux langues a reposé sur notre aisance avec le français et l'anglais. Toutefois, analyser les termes à l'étude grâce aux thésaurus apporterait une précision supplémentaire à cette recherche.

Finalement, les résultats positifs de notre étude sont directement alignés avec la perspective de créer un jeu sérieux visant le développement de la pensée géométrique des élèves. Avant notre étude, peu de recherches d'envergure ont confirmé ou infirmé la contribution potentielle d'un tel jeu sérieux. À la lumière de tous les avantages qu'il aurait, il devient très intéressant de créer un jeu sérieux. Principalement, celui-ci pourrait venir soutenir l'apprentissage de la géométrie de plusieurs apprenants. Évidemment, cela permettrait de vérifier les énoncés proposés dans ce mémoire. De plus, si tout cela se concrétise, il est à parier que d'autres personnes conceptrices de jeu sérieux choisiraient le jeu sérieux comme discipline visée. À noter que la création d'un jeu sérieux visant le développement de la pensée géométrique des élèves sera certainement visée par des recherches futures, comme dans le cadre d'un projet doctoral.

RÉFÉRENCES

Abt, C. C. (1970). *Serious games*. Viking Press.

Alvarez, J. (2007). *Du jeu vidéo au serious game: approches culturelle, pragmatique et formelle* [thèse de doctorat, Université de Toulouse 2]. Thèses FR.

Alvarez, J., Djaouti, D., et Rampnoux, O. (2011). Typologie des serious games. *Les jeux vidéo comme objet de recherche, Questions théoriques*, 46-66.

Amato, É. A. (2011). Les utilités du jeu vidéo sérieux : finalités, discours et mises en corrélation. *La Revue canadienne de l'apprentissage et de la technologie*, *37*(2), 1-19. https://www.learntechlib.org/p/178043/

Andila, Y. D., et Musdi, E. (2020). Practicality of geometry learning set based on van hiele theory to increase students' mathematical communication ability, *1554*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1554/1/012007

Ascher, M. (1998). *Mathématiques d'ailleurs*. Éditions du Seuil.

Awedh, M., et al. (2014). Using Socrative and Smartphones for the support of collaborative learning. *International Journal on Integrating Technology in Education (IJITE), 3*(4), 17-24. https://doi.org/10.5121/ijite.2014.3402

Baccot, E. (2019). Le jeu ludo-éducatif, un déclencheur de motivation pour les élèves de bac pro? [Mémoire de Master MEEF 2nd degré, Lyon]. INSPE de l'académie de Lyon. https://inspe.univ-lyon1.fr/medias/fichier/me-moire-emmanuel-baccot-11812599-m2a-meef-plp-llve_1560926348074-pdf?ID_FICHE=308664

Bächtold, M. (2014). Géométrie et espace chez Poincaré : aux sources du conventionnalisme. *L'Enseignement philosophique*, 64A, 10-23. https://doi.org/10.3917/eph.641.0010

Balacheff, N. (1988). *Une étude des processus de preuve en mathématique chez des élèves de collège* [thèse de doctorat, Université Joseph Fournier]. HAL archives. https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00326426/

Bansilal, S., et Naidoo, J. (2012). Learners engaging with transformation geometry. *South African Journal of Education*, *32*(1), 26–39.

Barut, M. E. O. et Retnawati, H. (2020). Geometry learning in vocational high school: investigating the students' difficulties and levels of thinking. *Journal of Physics: Conference Series*, *1613*(1). 1-11 https://doi.org/10.1088/1742-6596/1613/1/012058

Belkhodja, M. (2007). *La visualisation en géométrie dans trois et deux dimensions en tant que compétence à développer à l'école* [thèse de doctorat, Université Laval]. CorpusUL.

Berry, V. (2011). Jouer pour apprendre : est-ce bien sérieux? Réflexions théoriques sur les relations entre jeu (vidéo) et apprentissage. *Revue canadienne de l'apprentissage et de la technologie,* *37*(2), 1-14. https://www.learntechlib.org/p/178042/.

Berthelot, R., et Salin, M. H. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire* [thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1]. HAL thèses. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00414065

Blin, M. (2019). *Apprentissage de la géométrie par le jeu à l'école maternelle*. [Mémoire de Master MEEF 1er degré, Université de Nantes]. DUMAS. https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02184414

Bokosmaty, S., Mavilidi, M.-F. et Paas, F. (2017). Making versus observing manipulations of geometric properties of triangles to learn geometry using dynamic geometry software. *Computers & Education, 113*(2017), 313-326. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.06.008

Boi, L. (1992). L'Espace: Concept abstrait et/ou physique; la géométrie entre formalisation mathématique et étude de la nature. Dans *1830–1930: A Century of Geometry* (pp. 63-90). Springer.

Bouvier, P., Lavoué, E. et Sehaba, K. (2014). Defining Engagement and Characterizing Engaged-Behaviors in Digital Gaming. *Symposium: Engagement and Simulation/Gaming, 45*(4-5), 491-507. https://doi.org/10.1177/1046878114553571

Braconne-Michoux, A. (2014a). Les niveaux de pensée en géométrie de van Hiele : de la théorie à l'épreuve de la classe. *Bulletin AMQ, LIV*(1), 24-45.

Burger, W. F., et Shaughnessy, J. M. (1986). Characterizing the van Hiele levels of development in geometry. *Journal for research in mathematics education*, *17*(1), 31-48.

Chatry, J. (2019). *L'intégration du tableau numérique interactif (TNI) dans une situation de remédiation en mathématiques : quelle plus-value?* [Mémoire de

Master MEEF 1er degré, Université de Nantes]. HAL archives. https://hal-univ-tlse3.archives-ouvertes.fr/IUFM-NANTES/dumas-02440432v1

Chouinard, R. (2001). Les changements annuels de la motivation envers les mathématiques au secondaire selon l'âge et le sexe des élèves. *Canadian Journal of Behavioural Science / Revue canadienne des sciences du comportement, 33*(1), 25–37. https://doi.org/10.1037/h0087125

Cohard, P. (2015). L'apprentissage dans les serious games : proposition d'une typologie. *@GRH*, *16*(3), 11-40. https://doi.org/10.3917/grh.153.0011

Collin, S., Karsenti, T. et Dumouchel, G. (2012). "Apport des TIC pour la compétence et la motivation à écrire des élèves du primaire en contexte de classe-portable". Dans Boéchat-Heer, S. et Wentzel, B. (dir.). *Génération connectée : quels enjeux pour l'école ?*. Bienne : Haute école pédagogique BEJUNE. pp. 109-124. http://www.karsenti.ca/pdf/scholar/OUV-karsenti-55-2012.pdf

Corriveau, C. et Jeannotte, D. (2018). Idées véhiculées à propos du matériel de manipulation dans la littérature professionnelle en enseignement des mathématiques au primaire. *Actes du Colloque du Groupe de didactique des mathématiques du Québec, 2018*.

Damboise, C. (2019). Utilisation de la géométrie dynamique avec de futurs enseignants de mathématiques au secondaire pour repenser le développement du raisonnement [thèse de doctorat, Université de Montréal]. Papyrus UdeM. http://hdl.handle.net/1866/23556

Detheux-Jehin, M., et Chenu, F. (2000). Comment évaluer le raisonnement géométrique?. *Cahiers du Service de Pédagogie expérimentale-Université de Liège*, *3*(4), 67.

Daniau, S. & Bélanger, P. (2008a). Jeu de rôle ludique et apprentissage - Applications formatives et transformation de l'individu. Dans J. Bédard et G. Brougère (Dirs). *Le ludique: contexte de production, de transmission ou d'appropriation des savoirs?* De Boeck.

Doat, T. (2013). *Appréhender la physique non-newtonienne par la pratique du jeu : l'exemple du billard relativiste*. [thèse de doctorat, Université Paris Sud]. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/267980775_Apprehender_la_physique_non-newtonienne_par_la_pratique_du_jeu_l'exemple_du_billard_relativiste

Dumont, M., Power, M., Barma, S. (2011). GéoÉduc3D : Évolution des jeux sérieux vers la mobilité et la réalité augmentée au service de l'apprentissage en science et technologie. *Journal canadien pour l'apprentissage et de la technologie, 37*(2). 1-28.

Duval, R. (2005) Les conditions cognitives de l'apprentissage de la géométrie : développement de la visualisation, différenciations des raisonnements et coordination de leurs fonctionnements. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 10, 5-54.

Ebert, D. (2014). Graphing projects with Desmos. *The Mathematics Teacher, 108*(5), 388-391.

Ekimova-Boublil, E. (2006). *Une approche de formation didactique à l'enseignement de la géométrie au primaire*. [thèse de doctorat, Université de Montréal]. Papyrus. https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/16468

El Habib, A. (2015). Développement de la visualisation mathématique chez les élèves du secondaire : proposition d'une stratégie de visualisation géométrique. *Matematika Didaktika aux CRMEF, 1*, 34-53.+

Firmansyah, F. F., Sunardi, S. et Ambarwati, R. (2019). The uniqueness of visual levels in resolving geometry of shape and space content based on van hieles's theory. *Journal of Physics: Conference Series*. *1121*. 1-7. doi:10.1088/1742-6596/1211/1/012076

Freinman, V., Vézina, N. et Langlais, M. (2004). *Affronter la complexité : Nouvel enjeu de l'enseignement des mathématiques. Actes du Colloque du GDM 2004*. 39-47. https://www.academia.edu/697612/%C3%89valuation_des_comp%C3%A9tences_en_classe_de_math%C3%A9matique_une_activit%C3%A9_complexe

Fujita, T. (2012). Learners' level of understanding of the inclusion relations of quadrilaterals and prototype phenomenon. *The Journal of Mathematical Behavior*, *31*(1), 60-72. Repéré à : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S073231231100040X

Fuys, O., Geddes, D. et Tischler, R. (1988). The Van Hiele model of thinking in geometry among adolescents. *Journal for Research in Mathematics Education*, Monograph (3), 1-196.

Gagnon, J. (2015). *Contributions potentielles du tableau numérique interactif dans une situation-problème nécessitant le passage de l'abstrait au concret dans un contexte de mathématique, science et technologie* (Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières).

Gal, H., et Linchevski, L. (2010). To see or not to see: analyzing difficulties in geometry from the perspective of visual perception. *Educational studies in mathematics*, *74*(2), 163-183.

Galand, B. (2020). Le numérique va-t-il révolutionner l'éducation. *Les cahiers du GIRSEF*, *120*, 1-19.

Gauthier, J. (2015). Enseignement de la géométrie en première secondaire et conceptions d'élèves: une oscillation entre la perception, la mesure et la théorie. (Université de Montréal, Montréal). Repéré à https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/13047

Goupil, J.-F. (2012). L'utilisation de la calculatrice dans l'apprentissage des mathématiques au secondaire. Dans Dorier J.-L., Coutat S. (Eds.) *Enseignement des mathématiques et contrat social : enjeux et défis pour le 21e siècle – Actes du colloque EMF2012* (SPE1, pp. 1583–1603). http://www.emf2012.unige.ch/index.php/actesemf-2012

Gousseau-Coutat, S. (2006). *Intégration de la géométrie dynamique dans l'enseignement de la géométrie pour favoriser la liaison école primaire collège : une ingénierie didactique au collège sur la notion de propriété* [thèse de doctorat, Université Joseph Fourier Grenoble]. Thèses fr : https://www.theses.fr/2006GRE10152

Gee, J. P. (2005). *Why are Video games good for learning*. Common Ground.

Grenier, D. et Tanguay, D. (2008). L'angle dièdre, notion incontournable dans les constructions pratiques et théoriques des polyèdres réguliers. *Petit x*, 78. 26-52.

Griffin, L. et Butler, J. (2005). *Teaching games for understanding*. Human Kinetics.

Guardiola, E., Natkin, S., Soriano, D., Loarer, E. et Vrignaud, P. (2012). Du jeu utile au jeu sérieux (*serious game*). *Hermès*, *62*, 85-91.

Guay, M.-H. (2004). *Proposition de fondements conceptuels pour la structuration du champ de connaissances et d'activités en éducation en tant que discipline* [Thèse de doctorat inédite]. Université du Québec à Montréal.

Gutiérrez, A., Jaime, A. et Fortuny, J. M. (1991), An alternative paradigm to evaluate the acquisition of the Van Hiele levels. *Journal for Research in Mathematics Education*, *222*(3), 237-251.

Juul, J. (2003). The Game, the Player, the World: Looking for a Heart of Gameness. Dans M. Copier et J. Raessens (Eds.), *Level Up: Digital Games Research Conference Proceedings*. DiGRA Conference, Utrecht: Utrecht University.

King, A. (2017). Using Desmos to draw in mathematics. *Australian Mathematics Teacher, 72*(2), 33-37. https://eric.ed.gov/?id=EJ1146898

Koehler, M. J. et Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, *9*(1), 60-70. Récupéré de http://www.citejournal.org

Kubicki, S., Pasco, D., et Arnaud, I. (2014). Utilisation en classe d'un jeu sérieux sur table interactive avec objets tangibles pour favoriser l'activité des élèves : une évaluation comparative en cours préparatoire. *Sticef*, 21. Repéré à http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2014/07-kubicki-evajs/sticef_2014_NS_kubicki_07.htm

Lai C., McMahan R.P., Kitagawa M., Connolly I. (2016). Geometry Explorer: Facilitating Geometry Education with Virtual Reality. Dans S. Lackey et R. Shumaker (dir.), *Virtual, Augmented and Mixed Reality (VAMR).* (1ière éd., vol. 9740, p. 702-713). Lecture Notes in Computer Science.

Langlois, M.-J. (2015). *Le développement du langage à travers les activités mathématiques déployées dans les manuels scolaires au primaire.* [mémoire de maîtrise, Université Laval]. Corpus ULaval.

Larousse. (s. d.). Analyse. Dans *Le Dictionnaire Larousse en ligne*. Consulté le 12 février 2020 sur https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/analyse/3235#:~:text=%C3%89tude%20minutieuse%2C%20pr%C3%A9cise%20faite%20pour,Synonyme%20courant%20de%20psychanalyse.

L'Écuyer, R. (1987). L'analyse de contenu : notion et étapes. Dans J.- P. Deslauriers (Éd.), *La recherche qualitative : résurgence et convergences* (pp. 49-66). Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec.

L'Écuyer, R. (1990). *Méthodologie de l'analyse développementale de contenu. Méthode GPS et concept de soi*. Sillery : Presses de l'Université du Québec.

Lefebvre, S. et Samson, G. (2015). L'implantation du tableau numérique interactif (TNI) dans les écoles québécoises. Dans S. Lefebvre et G. Samson (dir.), *Le tableau numérique interactif : quand chercheurs et praticiens s'unissent pour dégager des pistes d'action*. Presses de l'Université du Québec.

Legendre, R. (2005). *Dictionnaire actuel de l'éducation* (3e éd.). Montréal : Guérin.

Liang, S. (2016). Teaching the Concept of Limit by Using Conceptual Conflict Strategy and Desmos Graphing Calculator. *International Journal of Research in Education and Science, 2*(1), 35–48.

Lunkenbein, D. (1980). Observations concerning the child's concept of space and its consequences for the teaching of geometry to younger children. [Résumé]. Proceedings of the Fourth International Congress on Mathematical Education. (pp. 172-174)

Marchand, P. (2004). *Analyse de deux interventions didactiques portant sur les connaissances spatiales auprès de trois profils d'élèves du secondaire* [Thèse de doctorat, Université de Montréal]. Papyrus UdeM. https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/13047

Marchand, P., et Bisson, C. (2017). *La pensée spatiale, géométrique et métrique à l'école : réflexions didactiques*. JFD Éditions.

Marchand, P., et Braconne-Michoux, A. (2013). Quels types d'activités permettent de développer les connaissances spatiales chez les élèves du primaire? Le cas de la boîte à image. Présenté à XXXXème Colloque Copirelem, Nantes.

Marks Greenfield, P. (1984). *Mind and Media: The Effects of Television, Video Games, and Computers*. Harvard University Press.

Martineau, S., Simard, D. et Gauthier, C. (2001). Recherches théoriques et spéculatives : considérations méthodologiques et épistémologiques. *Recherches qualitatives, 22,* 3-32.

MELS (Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport). (2006a). *Programme de formation de l'école québécoise : éducation préscolaire, enseignement primaire*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Éducation.

MELS (Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport). (2006b). *Programme de formation de l'école québécoise : enseignement secondaire. premier cycle*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport.

Merraky, S. (2015). Le jeu vidéo: Un support pédagogique authentique et polyvalent. *Langues, cultures et sociétés*, *1*(2), 114-130.

Messier, G. et Dumais, C. (2016). L'anasynthèse comme cadre méthodologique pour la recherche théorique : deux exemples d'application en éducation. *Recherche Qualitative,* *35*(1), 56–75. http://www.recherche-qualitative.qc.ca/documents/files/revue/edition_reguliere/numero35(1)/rq-ht-messier-dumais.pdf

Mithalal, J. (2010). *Déconstruction instrumentale et déconstruction dimensionnelle dans le contexte de la géométrie dynamique tridimensionnelle* [Thèse de doctorat, Université de Grenoble]. Thèses UPS. http://www.theses.fr/s123795

Mithalal, J. (2014). Voir dans l'espace : est-ce si simple ? *Petit x,* 96, 51-73.

Miyazaki, M., Fujita, T., et Jones, K. (2017). Students' understanding of the structure of deductive proof. *Educational Studies in Mathematics*, *94*(2), 223–239.

Molinari, G., Poellhuber, B., Heutte, J., Lavoué, E., Sutter Widmer, D. et Caron, P.-A. (2016). *L'engagement et la persistance dans les dispositifs de formation en ligne : regards croisés*. Distances et médiations des savoirs. (13). https://dms.revues.org/1332

Moussa-Tessa, O. (2011). *Impacts des TIC sur la motivation des étudiants à l'apprentissage des mathématiques à l'université Abdou Moumouni au Niger* (Thèse de doctorat inédite). Université de Montréal. Repéré à : https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/7048

Muratet, M. (2010). *Conception, réalisation et évaluation d'un jeu sérieux de stratégie temps réel pour l'apprentissage des fondamentaux de la programmation* [Thèse de doctorat, Université de Toulouse]. Thèses UPS. http://thesesups.ups-tlse.fr/1137/

Muratet, M., Torguet, P., Viallet, F., Jessel, J.-P. (2011). Évaluation d'un jeu sérieux pour l'apprentissage de la programmation. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information - Série RIA : Revue d'Intelligence Artificielle*, *25*(2), 175-202. DOI : 10.3166/ria.25.175-202

Numa-Bocage, L., & Bieri, M. (2015). Apprentissages mathématiques avec les jeux de société et médiation didactique auprès d'élèves en difficulté. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, *7071*(2), 181-194.

Olivier, M. (2018). *Conception d'une grille d'analyse des jeux sérieux pour l'enseignement de la science et de la technologie au secondaire en regard des bonnes pratiques reconnues dans le domaine de l'apprentissage par le jeu vidéo* [Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/13339

Ouellette, J. M. (2013). *Analyse de la motivation pour les mathématiques d'élèves du secondaire participant à une activité de programmation informatique.* [thèse de doctorat, Université du Québec à Trois-Rivières]. Dépôt UQTR. https://depot-e.uqtr.ca/6865/

Özerem, A. (2012). Misconceptions in geometry and suggested solutions for seventh grade students. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *55*, 720-729.

Pallascio, R., Talbot, L., Allaire, R. et Mongeau, P. (1990). L'incidence de l'environnement sur la perception et la représentation d'objets géométriques, *Revue des sciences de l'éducation*, *26*(1), 77-90.

Parzysz, B. (1989): Représentations planes et enseignement de la géométrie de l'espace au lycée. Contribution à l'étude de la relation voir/savoir. Diplôme de doctorat. Université Paris7.

Parzysz, B. (1989). *Représentations planes et géométrie de l'espace au lycée. Contribution à la relation voir/savoir.* [thèse de doctorat, Université Paris] Thèses FR. https://www.theses.fr/1989PA077215

Piaget, P. et Inhelder, B. (1948). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Presses universitaires de France, (éd. 1977).

Plass, J., Homer, B., Hayward, E., Frye, F., Huang, T.-T., Biles, M., Stein, M., et Perlin, K. (2012). The Effect of Learning Mechanics Design on Learning Outcomes in a Computer-Based Geometry Game. Dans S. Göbel, W. Müller, B. Urban, J. Wiemeyer (dir.) *E-Learning and Games for Training, Education, Health and Sports*. (vol. 7516, pp. 65-71). https://doi.org/10.1007/978-3-642-33466-5_7

Pochtoviuk, S., Vakaliuk, T., et Pikilnyak, A. (2020). Possibilities of Application of Augmented Reality in Different Branches of Education. AREdu 2019, *2*(2), 92-106. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3719845

Poincaré, H. (1898). La mesure du temps. *Revue de métaphysique et de morale*, *6*(1), 1-13.

Saint-Bauzel, R. (2011). *Se représenter pour mieux apprendre. Mémoire de recherche*. École normale supérieure de Cachan.

Sanchez, É., Ney, M. et Labat, J.-M. (2011). Jeux sérieux et pédagogie universitaire : de la conception à l'évaluation des apprentissages. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, *8*(1-2), 48–57. https://doi.org/10.7202/1005783ar

Sauvé, L. (2007). Les eJeux: Un moyen pour s'engager activement dans son apprentissage. Dans M. Frenay, B. Raucent et P. Wouters (Éd.), *Questions de pédagogies dans l'enseignement supérieur. Les pédagogies actives: enjeux et conditions*, (pp. 53-66). Presses universitaires de Louvain.

Sauvé, L. (2008). Concevoir des jeux éducatifs en ligne : un atout pédagogique pour les enseignants. Dans J. P. Jessel et P. Mpondo-Kicka (eds). *Comment et quoi* *faire soi-même / Do it yourself 2.0*. Colloque scientifique de la 5ème édition. 294-313.

Sawyer, B. (2002). Serious Games: Improving Public Policy through Game-based Learning and Simulation. *Foresight and Governance Project* : Woodrow Wilson International Center for Scholars.

Shaughnessy, J. M. et Burger, W. F. (1985). Spadework prior to deduction in geometry. *Mathematics Teacher. 17*, 419-428.

Silva, H. et Brougère, G. (2016). Le jeu entre situations formelles et informelles d'apprentissage des langues étrangères. *Synergies Mexique, 6*, 57–68.

Soury-Lavergne, S. (2013). *Les technologies pour la géométrie à l'école primaire*. Communication présentée au 40e Colloque COPIRELEM.

Steinmayr, R., Spinath, B. (2009). The importance of motivation as a predictor of school achievement. *Learning and Individual Differences, 19*(1), 80-90. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2008.05.004

Sulistyowati, F., Kuncoro, K. S., Setiana, D. S., et Purwoko, R. Y. (2019). Solving high order thinking problem with a different way in trigonometry. *Journal of Physics: Conference Series*, *1315*(1), 1–7. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1315/1/012001

Sutter Widmer, D. (2017). *Conception et évaluation d'un jeu vidéo en algèbre : Apprentissage, motivation et usage de la visualisation dans un environnement aux représentations multiples* [thèse de doctorat, Université de Genève]. UNIGE. https://archive-ouverte.unige.ch/unige:96378

Tangney, B. et Bray, A. (2013). Mobile technology, Maths Education & 21C Learning. Dans *Proceedings of the 12th World Conference on Mobile and Contextual Learning (MLearn2013), 2013* (pp. 20–27). https://doi.org/10.5339/qproc.2013.mlearn.7.

Tanguay, D. (2010). *La géométrie : au carrefour du sensible et de l'intelligible*. Éditions Bande Didactique, collection (Parenthèses), Montréal.

Van Hiele. P.M. (1959). La pensée de l'enfant et la géométrie, *Bulletin de l'APMEP*, no 198, p. 199-205.

Van Nieuwenhoven, C. et De Vriendt, S. (2010). *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques : Pistes de diagnostic et supports d'intervention*. Éditions SOLAL.

Venant, F. et Migneault, P. (2017). Développer la pensée algébrique précoce en jouant? Représentations et manipulations dans Dragon Box. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation, 20*(3), 33–55. https://doi.org/10.7202/1055727ar

Weber, K. (2010). Mathematics majors' perceptions of conviction, validity, and proof. *Mathematical Thinking and Learning*, *12*(4), 306-336.

Yu, P. W. (2004). *Prototype development and discourse among middle school students in a dynamic geometric environment* [Thèse de doctorat, Illinois State University]. ProQuest Dissertations & Theses Global.

Yusoff, A., Crowder, R., Gilbert, L., et Wills, G. (2009). A Conceptual Framework for Serious Games. *2009 Ninth IEEE International Conference on Advanced*

Learning Technologies. 21-23. Repéré à https://ojs.upsi.edu.my/index.php/JICTIE/article/view/2507

Zyda, M. (2005). From visual simulation to virtual reality to games. *IEEE Computer Society*, *38*(9), 25-32.

APPENDICE A
Des compléments d'information relatifs à l'explication scientifique

1. D'autres suggestions reliées aux manipulations :

- Utiliser du matériel de manipulation concret ou virtuel (objets courants, géométriques, tridimensionnels, etc.) ;
- faire observer des manipulations ;
- utiliser des logiciels de géométrie dynamique.

2. D'autres avantages de la manipulation « raisonnée » :

- utiliser des logiciels de géométrie dynamique ;
- développement de l'imagination et de la visualisation ;
- incitation à quitter la vision prototypique des figures ;
- support du travail sur les images et sur les symboles.

3. D'autres avantages d'inclure des gestes et mouvements à l'apprentissage de la géométrie :

- influence positive sur la perception ;
- amélioration des représentations mentales ;
- visualisation dynamique facilitée ;
- meilleure mémoire de travail visuelle.

4. Plusieurs avantages sont reliés à l'utilisation des logiciels de géométrie dynamique :

- environnement adapté pour l'observation, l'exploration, la découverte et l'interaction, travail sur les propriétés ;
- perceptions construites sur la théorie ;
- construction et dessin des figures plus rapides ;
- compréhension des différentes composantes figurales ;
- environnement exigeant la pensée de plus haut niveau (raisonnement déductif, relations d'invariance, généralisation, retrait possible de certains outils, réflexion sur ce qui est possible ou non, formulation d'explications et de conjectures, travail sur la preuve) ;
- meilleurs résultats de façon générale.

5. D'autres avantages des interactions et de la manipulation à l'aide du jeu sérieux

- beaucoup de possibilités (utiliser les deux mains, agir en parlant, disposer d'une interface dynamique, directe et intuitive pour avoir une sensation d'objets généralement inaccessibles, etc.) ;
- augmentation de l'engagement et de la motivation (intrinsèque et extrinsèque) ;
- développement de l'imaginaire ;
- augmentation de l'estime de soi, répétition ou entrainement possible ;
- réduction de la charge cognitive et développement de la visualisation.

6. D'autres avantages au contact physique ou virtuel avec des objets et environnements :

- annotation et communication possibles ;
- amélioration des habiletés spatiales et de la visualisation ;
- différentes perspectives possibles ;
- allers-retours faciles entre le concret et le symbolique ;
- actions et interactions possibles ;
- utilisation possible de la réalité augmentée ;
- augmentation de l'engagement et du plaisir ;
- développement d'images mentales plus dynamiques ;
- diminution de la charge cognitive.

7. D'autres avantages d'un choix adapté de situations-problèmes pour l'apprentissage de la géométrie :

- opportunité de verbaliser les démarches ;
- invalider efficacement de mauvaises conceptions ;
- passer naturellement au niveau cognitif de la déduction (niveau 4).

APPENDICE B

Plus de détails sur les idées de jeu sérieux

1. Géo-Party plus en détails

L'idée de Géo-Party est inspirée des jeux vidéo Mario Party, Pummel Party et autres jeux vidéo de ce type, dans lesquels plusieurs personnes joueuses se déplacent sur un plateau de jeu, rivalisent entre elles dans des « mini-jeux » et doivent acheter des points de victoire (des étoiles, par exemple). Habituellement, un nombre de tours de jeu est choisi. À la fin du dernier tour, la personne joueuse avec le plus de points de victoire remporte la partie. Le principal objectif pédagogique serait d'aborder les difficultés *flexibilité visuelle*, *reconnaissance visuelle* et *phénomène de la figure prototypique* à l'aide de ce jeu sérieux.

Dans Géo-Party, chacun jouerait son tour, c'est-à-dire que chaque personne joueuse brasserait un dé virtuel, avancerait du nombre de cases indiqué par le dé et interagirait avec les éléments présents sur le plateau. Elle pourrait donc tomber sur une case spéciale qui lui donnerait un avantage ou un désavantage, arriver à une boutique lui permettant d'acheter des items, utiliser des items, nuire à ses adversaires, etc. Le plateau de jeu pourrait ressembler à la figure 21, où l'on peut voir le nombre de points de victoire des quatre personnes joueuses, le plateau de jeu, l'emplacement d'un point de victoire et l'emplacement des quatre personnes joueuses sur le plateau de jeu.

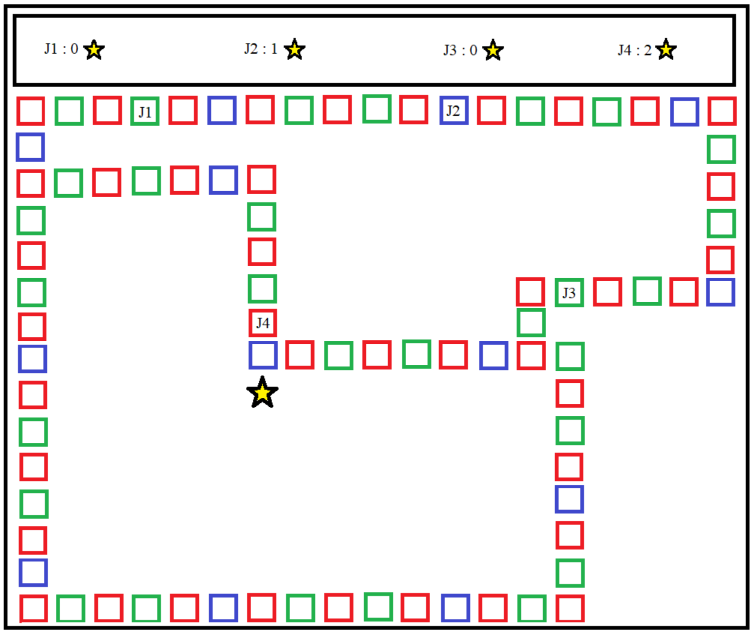


Figure 21 – Une représentation simplifiée du plateau de jeu de Géo-Party

Quand toutes les personnes joueuses ont joué leur tour, le hasard décide d'un « mini-jeu » concernant la géométrie du niveau scolaire des personnes joueuses. Lorsque les personnes joueuses joueraient à un *mini-jeu*, elles quitteraient le plateau de jeu pour rejoindre une nouvelle fenêtre dans laquelle elles rivaliseraient. En ce qui concerne l'apprentissage, les *mini-jeux* auraient comme principal but de présenter plusieurs figures dans des dispositions et perspectives variées afin de faire voir beaucoup d'exemples aux personnes joueuses. Un but serait identifié et les *mini-jeux* seraient pensés pour que les personnes joueuses doivent manipuler les figures (déplacer, séparer, construire, collecter, détruire, placer, étirer, etc.) pour remporter le *mini-jeu*. Il y aurait une interaction entre la personne joueuse, les objets et l'environnement afin que la personne joueuse puisse observer les conséquences de ses actions. Les *mini-jeux* seraient courts en temps. Ils varieraient en matière d'actions, d'environnements et de règles. Cela travaillerait ainsi les difficultés *flexibilité visuelle*, *reconnaissance visuelle* et *phénomène de la figure prototypique*. Les *mini-jeux* permettraient d'entrainer les personnes joueuses pour certaines actions géométriques et pour la visualisation. Les personnes joueuses rivaliseraient et la ou les personnes gagnantes possèderaient un avantage pour la suite de la partie.

Dans Géo-Party, il serait possible d'inclure après un certain nombre de tours des défis, qui ressembleraient à des situations-problèmes. Ces défis seraient plus longs que les *mini-jeux* et exigeraient plus de réflexion. Par exemple, les défis pourraient susciter une pensée plus abstraite chez les personnes joueuses. L'enjeu pourrait être plus important que pour les *mini-jeux*. Cela permettrait d'équilibrer le jeu, dans le sens que certaines personnes joueuses avec des réflexes très rapides auraient peut-être plus de chance de gagner les *mini-jeux*, mais elles ne seraient pas nécessairement avantagées dans les défis. Cela travaillerait ainsi les difficultés *flexibilité visuelle*, *reconnaissance visuelle*, *phénomène de la figure prototypique* et *déterminer les étapes dans une résolution de problème*.

Si, par exemple, le niveau choisi est le premier cycle du secondaire, les *mini-jeux* et les défis pourraient inclure des actions suivantes de la progression des apprentissages : reconnaître et nommer des polygones réguliers convexes, décomposer des figures planes en disques (secteurs), en triangles ou en quadrilatères, reconnaître et construire des segments et des droites remarquables (diagonale, hauteur, médiane, médiatrice, bissectrice, apothème, rayon, diamètre, corde), déterminer les développements possibles d'un solide, nommer le solide correspondant à un développement, reconnaître des solides décomposables (en prismes droits, cylindres droits, pyramides droits), reconnaître des figures isométriques ou semblables et reconnaître la ou les transformations géométriques associant une figure à son image, caractériser différents types d'angles (complémentaires, supplémentaires, adjacents, opposés par le sommet, alternes-internes, alternes-externes et correspondants). D'autres connaissances pourraient être identifiées.

Un *mini-jeu* pourrait donc consister à présenter le développement d'un solide, puis certains solides (parmi lesquels un seul correspond au développement présenté) seraient disposés devant les avatars des personnes joueuses. La personne joueuse qui, le plus rapidement, déplacerait son avatar vers le bon solide, l'amasserait grâce à une touche et la ramènerait à sa position du départ remporterait une manche (voir la figure 22). Il pourrait y avoir des obstacles à franchir, ou une possibilité de nuire à ses adversaires si le *mini-jeu* ne représente pas un défi suffisant pour les personnes joueuses. La première personne joueuse à remporter trois manches gagnerait le *mini-jeu* et un avantage quelconque dans la partie. Pour rendre le tout plus intéressant, il pourrait aussi être demandé de développer le solide et de superposer avec le développement. De cette façon, la personne joueuse comprendrait pourquoi elle a la bonne ou la mauvaise répondre.

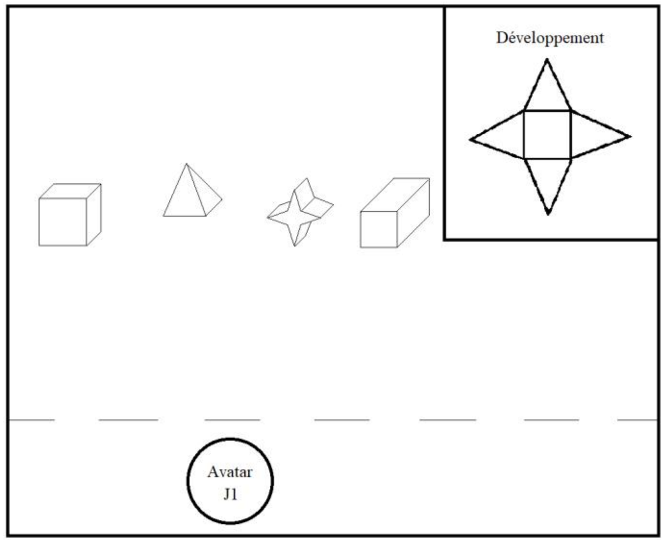


Figure 22 – Une représentation simplifiée d'un « mini-jeu »

Un contexte simple, comme une chasse au trésor, pourrait être ajouté à un *mini-jeu* pour que la tâche à accomplir ait du sens aux yeux des personnes joueuses. Nous croyons que ce type d'ajout pourrait promouvoir le transfert des connaissances pour une utilisation ultérieure. Idéalement, les objectifs pédagogiques des différents *mini-jeux* et défis seraient complémentaires, c'est-à-dire qu'ils devraient aussi être pensés dans leur ensemble, et non pas seulement séparément. Cela permettrait d'atteindre plus efficacement les buts pédagogiques du jeu sérieux. Par exemple, le concepteur du jeu sérieux pourrait analyser précisément ce qu'il faut mettre en place pour surmonter une difficulté, pour bien comprendre une notion ou pour développer certaines habiletés ou certains raisonnements chez les personnes apprenantes.

2. Architectes plus en détails

Dans Architectes, il y aurait plusieurs modes de jeu, qui permettraient à chacun de développer différentes habiletés chez les personnes joueuses. Architectes se jouerait à une personne joueuse, mais il y aurait beaucoup d'options pour se partager les créations après les séances de jeu. Le principal objectif pédagogique serait d'aborder les difficultés *flexibilité visuelle*, *dessin et représentation* et *déterminer les étapes dans une résolution de problème* à l'aide de ce jeu sérieux.

Dans le mode principal, *Construction de plans*, les personnes joueuses seraient placées dans des situations dans lesquelles elles doivent construire un plan selon les instructions qui leur sont données. Elles auraient donc accès à une planche à dessin, ainsi qu'à des outils de dessin et outils géométriques (voir la figure 23). Il y aurait différents niveaux de difficulté. La difficulté varierait en fonction des contraintes imposées, des formes à tracer, de la présence ou non d'une grille (quadrillé), de l'accès ou non à certains outils de dessin ou outils géométriques, des indices visuels ou textuels, etc. Par exemple, une tâche pourrait être de construire le plan d'une maison avec une règle et une équerre. Une autre pourrait consister à construire le plan d'un amphithéâtre à plusieurs étages devant pouvoir accueillir 15000 personnes. Les difficultés *dessin et représentation* et *déterminer les étapes dans une résolution de problème* seraient particulièrement travaillées dans ce mode de jeu.

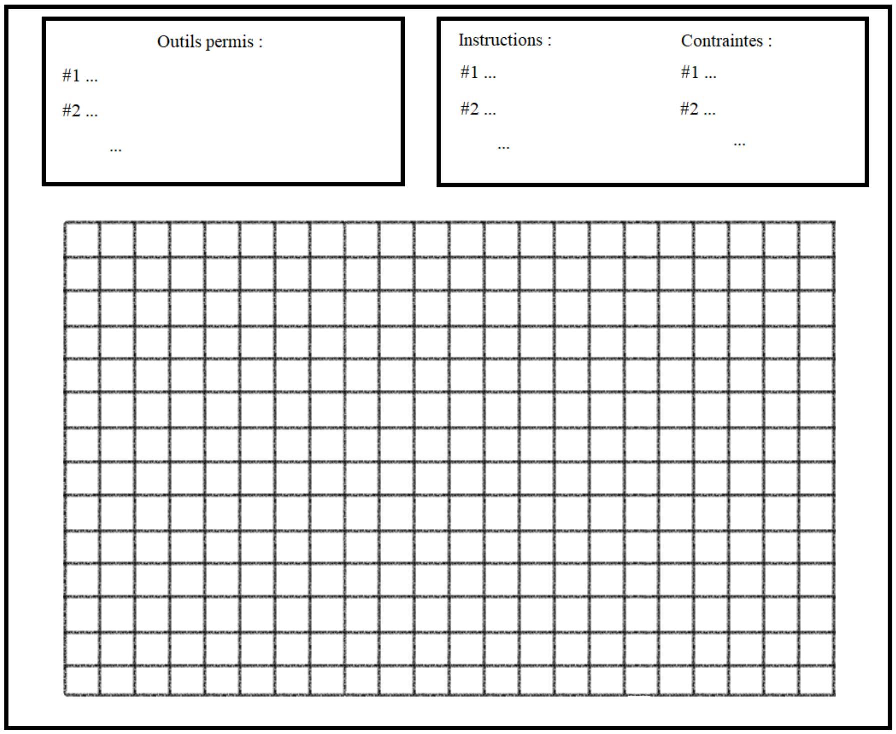


Figure 23 – Une représentation simplifiée du mode « Construction de plans »

Un deuxième mode de jeu, *Dessine et vois*, ferait plutôt appel à la créativité des personnes joueuses. Elles devraient faire un plan en deux dimensions d'un bâtiment et pourraient basculer dans une autre fenêtre de jeu dans laquelle il serait possible de voir le résultat en temps réel de la construction en trois dimensions, mais également de s'y déplacer. Ces allers-retours entre le plan 2D et le résultat 3D auraient pour but de développer des représentations mentales fortes des projections, ce qui développerait par le fait même la visualisation. Les difficultés *dessin et représentation* et *flexibilité visuelle* seraient particulièrement travaillées dans ce mode de jeu.

Un troisième mode de jeu, *Mémorisation*, consisterait à présenter une image que les personnes joueuses doivent mémoriser, et ensuite reproduire (voir la figure 24). Au départ, les images seraient simples, ce qui ferait en sorte que la personne joueuse pourrait se fier uniquement à sa mémoire visuelle. Par la suite, les images à reproduire gagneraient en complexité, mais certains indices textuels viendraient aider le joueur à pouvoir la reproduire. Ainsi la mémoire visuelle ne serait pas suffisante pour reproduire l'image, et la personne joueuse devrait faire appel à des raisonnements analytiques et déductifs pour y arriver. Il s'agit d'une activité possible avec papier-crayon. Cependant, le jeu sérieux pourrait venir automatiser le processus pour gagner du temps, faciliter la répétition, donner une rétroaction, utiliser certaines fonctionnalités graphiques des supports numériques, etc. Les difficultés *dessin et représentation* et *flexibilité visuelle* seraient donc particulièrement travaillées dans ce mode de jeu.

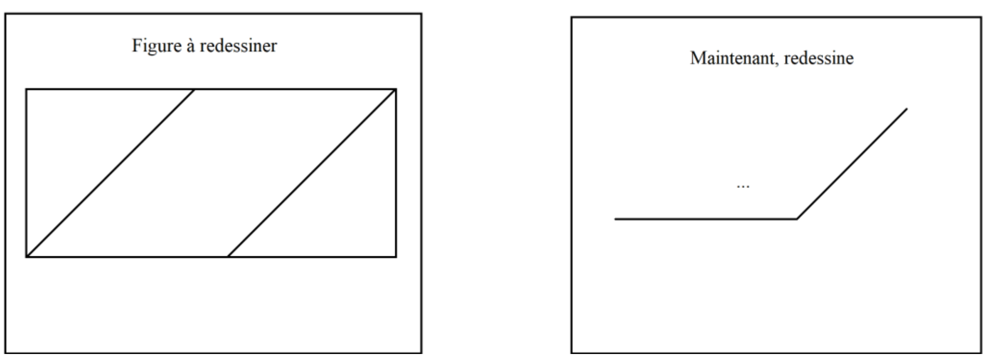


Figure 24 – Une représentation simplifiée des deux étapes du mode « Mémorisation »

Si le niveau scolaire choisi est la deuxième année du deuxième cycle du secondaire (4$^{\text{ième}}$ secondaire), alors les longueurs, les angles et la trigonométrie pourraient être investis de plusieurs façons. Par exemple, dans *Construction de plans*, il pourrait y avoir des contraintes d'angles, une mesure manquante dans le contexte qui doit être calculée avec un rapport trigonométrique, des outils géométriques comme le rapporteur d'angles, etc. Dans *Dessine et vois*, les personnes joueuses tracent des plans 2D de bâtiments. Pour les toits des bâtiments, il pourrait y avoir une inclinaison qui pourrait être définie par la personne joueuse. De plus, certains calculs d'angles et de longueurs pourraient ou devraient être faits pour que les différentes parties du toit se rejoignent au bon endroit. Dans *Mémorisation*, les indices textuels pourraient impliquer des calculs d'angles et de longueurs. Ils pourraient aussi exiger à la personne joueuse de faire des déductions (niveaux 3 et 4 du modèle de Van Hiele).