



Analyses didactiques liées au raisonnement spatial : tâches et techniques basées sur deux puzzles

Marilyn Dupuis Brouillette, Ph.D., professeure-chercheure, Université du Québec à Rimouski¹
Charlaine St-Jean, Ph.D., professeure-chercheure titulaire, Université du Québec à Rimouski
Robert Landry, M.A., candidat au doctorat, Université du Québec à Rimouski
Naomie Fournier Dubé, Ph.D., professeure-chercheure, Université de Montréal

Résumé : Le raisonnement spatial, en tant que domaine en mathématiques, est omniprésent dans le quotidien de tout individu, enfant ou adulte. Les habiletés spatiales sont mobilisées dans les classes d'éducation préscolaire et les personnes enseignantes ont tout intérêt à comprendre les apprentissages que les enfants développent. Cet article étudie la composition et la réalisation de deux puzzles, également nommés casse-tête, où des habiletés spatiales sont indispensables. L'objectif est de mettre en lumière différentes habiletés spatiales qui sont mobilisées dans deux puzzles. S'inscrivant dans une approche qualitative, nous proposons l'analyse de deux puzzles en mettant l'accent sur les techniques utilisées par un enfant afin de réaliser les tâches. Somme toute, les puzzles mobilisent la réalisation de différentes tâches et les résultats illustrent explicitement des techniques spécifiques au raisonnement spatial selon deux types de puzzle.

Mots-clés : didactique des mathématiques; raisonnement spatial; puzzle; casse-tête; éducation préscolaire.

Abstract: Spatial reasoning, as a domain in mathematics, is ubiquitous in the everyday life of every individual, child or adult. Spatial skills are mobilized in preschool classrooms, and teachers invested time and reflexion in understanding and capturing the skills that children must develop. This article focuses on jigsaw puzzles, where spatial skills are essential. The aim is to highlight different spatial skills that are mobilized in two puzzles. Taking a qualitative approach, we propose the analysis of these puzzles, focusing on the techniques used by a child to complete the tasks. The puzzles require different tasks, and the results explicitly illustrate a few spatial skills required and worked on in these two types of puzzles.

Keywords : teaching and learning in mathematics; spatial skills; puzzle; jigsaw; preschool education.

INTRODUCTION

L'apprentissage des mathématiques peut se faire de multiples façons. Apprendre les mathématiques se fait par différentes méthodes d'enseignement traditionnelles en mathématiques, certes, mais aussi grâce à des contextes plus ludiques tels que les jeux de société ou encore la préparation d'un repas à la cuisine. Ceci est le cas pour plusieurs savoirs mathématiques, dont le raisonnement spatial, la géométrie et la mesure notamment. À partir de cette prémisse, plusieurs chercheurs ont mis de l'avant les bénéfices de l'apprentissage par le jeu pour les enfants, dont ceux en contexte d'éducation préscolaire, soit âgés de 4 à 8 ans (Singer et al., 2006; St-Jean et al., 2023; Pyles et al., 2017). En effet, le jeu permet de favoriser le développement complexe et global de tout enfant (Bouchard 2019). L'Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture (UNESCO) (2020) met de l'avant que tout enfant devrait avoir accès à l'apprentissage par le jeu (*play-based learning*). Ainsi, « l'apprentissage par le jeu contribue au développement des compétences et des capacités, il améliore les interactions des pairs et encourage la coopération comme méthode de résolution des problèmes » (UNESCO, 2020, p.53). Considérant que l'apprentissage par le jeu est prôné par différentes organisations (Gouvernement du Québec, 2023; UNESCO, 2020) et qu'il détient plusieurs bénéfices pour le développement global des enfants (Deshaies et Boily, 2021; Marinova, 2015; St-Jean et al., 2023), ce contexte apparaît comme étant riche et stimulant pour les enfants.

Dans le cadre de cet article, un regard est porté sur le soutien aux apprentissages en mathématiques apporté à un enfant dans un contexte d'apprentissage par le jeu et plus précisément lors des périodes de jeu libre. Ces périodes de jeu constituent un moment où l'enfant peut choisir le jeu qui lui plaît et où il peut prendre des initiatives sans devoir

¹ Pour contacter la personne auteure principale de cet article : marilyn_dupuisbrouillette@uqar.ca

² Pour citer cet article : Dupuis Brouillette, M., St-Jean, C., Landry, R. et Fournier Dubé, N. (2025). Analyses didactiques liées au raisonnement spatial : tâches et techniques basées sur deux puzzles. *Revue scientifique francophone de l'Organisation Mondiale pour l'Éducation Préscolaire du Canada*, 1(1), 37-51.

correspondre à des attentes précises en termes d'apprentissage (Deshaies et Boily, 2021; Marinova, 2015). Plus spécifiquement, le jeu libre se situe « dans une perspective d'apprendre pour jouer. [...] le jeu est pensé et vécu comme un contexte d'apprentissage et, pour y parvenir, les enfants ont besoin des connaissances » (Deshaies et Boily, 2021, p.337). Marinova (2015) affirme qu'en contexte de jeu, les enfants font des apprentissages qu'elle qualifie d'invisibles. En tant que passeur culturel, toute personne enseignante doit favoriser les contextes de jeu et, par la même occasion, prendre conscience du potentiel des enjeux de savoirs mathématiques dans le jeu. Par ailleurs, en contexte québécois, le programme éducatif en vigueur à l'éducation préscolaire mentionne explicitement que « l'enfant devrait bénéficier chaque jour de deux périodes de 45 à 60 minutes de jeu libre, où il choisira avec qui et avec quoi il jouera » (Gouvernement du Québec, 2023, p.9). Ce contexte apparaît comme étant pertinent au regard de sa fréquence à l'horaire des enfants ainsi que pour la richesse qu'il peut révéler en termes de développement et d'apprentissages.

1. MISE EN CONTEXTE

Différents auteurs proposent que l'apprentissage par le jeu permet d'explorer une variété de savoirs en mathématiques (Brousseau, 1998; Clements et Sarama, 2021; Héroux, 2023; Pyles et al., 2020; Rothlein et Brett, 1987; St-Jean et al., 2023; Thibault et Theis, 2023). En utilisant le vocable de jeu, certains auteurs feront écho aux interactions et aux relations entre les apprenants et le milieu didactique, comme c'est le cas du jeu didactique au sens de Sensevy (2011). Des auteurs ciblent davantage du matériel en particulier, comme des jeux de société et certains manipulables utilisés fréquemment en mathématiques. Cependant, d'autres auteurs se penchent davantage sur un contexte qui permet à l'enfant de jouer librement, selon ses initiatives et ses intérêts sans intentions ciblées d'apprentissage (St-Jean et al., 2023) et où différents potentiels mathématiques sont possibles. Malgré les différences dans les définitions du jeu et de ses apports dans les dynamiques d'enseignement et d'apprentissages en mathématiques, son contexte ludique permet d'aborder et d'approfondir plusieurs savoirs mathématiques. Dans le cadre de cet article, il est question précisément des savoirs mathématiques liés au raisonnement spatial.

Newcombe et Frick (2010) explicitent que le raisonnement spatial est présent dans le contexte de l'éducation préscolaire, à la maison et dans les jeux des enfants. « L'intégration de contenus spatiaux dans l'enseignement formel et informel pourrait améliorer le fonctionnement spatial en général » (Newcombe et Frick, 2010, p.102). En lien avec ces propos, les habiletés liées au raisonnement spatial sont omniprésentes au quotidien, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur de l'école, et les personnes enseignantes peuvent saisir des opportunités d'éveil riches et stimulantes pour les apprentissages des enfants (Clements et Sarama, 2021; Newcombe et Frick, 2010; St-Jean et al., 2023 Lowrie et ses collègues (2020) affirment également que le raisonnement spatial est essentiel à diverses habiletés issues de différents domaines mathématiques, comme l'arithmétique et la géométrie, ainsi qu'à un nombre de compétences mobilisées au quotidien, telles que la lecture, l'écriture, ainsi que des activités d'autonomie comme faire ses achats au marché ou encore s'orienter dans son quartier pour aller chercher le courrier.

Pour bien comprendre les enjeux sous-jacents à l'apprentissage du raisonnement spatial, plusieurs chercheurs mettent de l'avant des définitions et des nuances dans les composantes (Clements et Sarama, 2021; Uttal et al., 2013; Waller et Nadel, 2013). Ces propos permettant ainsi de mieux le comprendre et de saisir les habiletés liées au raisonnement spatial à développer pour des enfants d'âge préscolaire.

1.1. Le raisonnement spatial

Le raisonnement spatial, également parfois nommé sens spatial, habiletés spatiales ou encore pensée spatiale, se décline en plusieurs composantes et habiletés (Clements et Sarama, 2021; Glimcher, 2020; Marchand, 2020; Newcombe et Shipley, 2015; St-Jean, 2020; Uttal et al., 2013; Waller et Nadel, 2013) qui se manifestent dans plusieurs contextes du quotidien de tout individu, et ce, dès la petite enfance (Clements et Sarama, 2021; St-Jean et al., 2023). À l'instar de Glimcher (2020), il est possible d'affirmer qu'à ce jour, il n'y a pas de consensus sur la définition du raisonnement spatial. Or, plusieurs chercheurs s'accordent pour mettre de l'avant l'idée que ces habiletés concernent une capacité distincte, importante et indépendante des capacités cognitives verbales et de celles exclusivement en mathématiques (Glimcher, 2020; Wai et al., 2009). Dans le cadre de cet article, nous nous appuyons sur la définition de Berthelot et Salin (1992) qui affirment que, « par spatial, nous entendons ce qui est relatif à l'espace dans lequel tout individu doit savoir agir de façon pertinente, en exploitant et/ou en anticipant les rétro-actions de l'environnement (qu'il adapte ou modifie éventuellement) » (p.9). Dans cet ordre d'idées, Freiman et Fellus (2024) expliquent que le raisonnement spatial englobe plusieurs aspects simultanément : la perception, la localisation et le déplacement dans l'environnement, la visualisation, la manipulation ainsi que la transformation d'objets bidimensionnels et

tridimensionnels. Ces habiletés s'actualisent par le biais de processus interactifs tels que la localisation, l'orientation, la comparaison, la mise à l'échelle, la recomposition d'objets, la rotation, la classification, la schématisation, la transformation ainsi que le déplacement d'un objet par rapport à lui-même ou à son environnement. Toujours selon ces auteurs, le raisonnement spatial peut également être pratiqué par le biais du corps en mouvement et des gestes sans nécessité absolue de l'apport du visuel et du verbal. De nombreux cadres ont déjà été proposés dans la littérature scientifique (Buckley, Seery et Canty, 2017 ; Carroll, 1993 ; Chatterjee, 2008 ; Linn et Peterson, 1985 ; Lohman, 1988 ; McGee, 1979 ; Newcombe et Shipley, 2015 ; Schneider et McGrew, 2018 ; Tartre, 1990 ; Uttal et al, 2013) et, malgré leurs différences respectives, certaines composantes communes apparaissent telles que la visualisation spatiale (visualiser mentalement des objets avec leurs caractéristiques spécifiques ainsi que différentes orientations possibles et leurs transformations) et l'orientation spatiale (comprendre et agir sur un objet qui détient progressivement différentes orientations dans l'espace) (Carroll, 1993; Clements et Sarama, 2021; Yilmaz, 2017). D'ailleurs, un consensus a soutenu un cadre de pensée spatiale en quatre catégories, décrit par Newcombe et Shipley (2015) et développé à partir de Chatterjee (2008), d'Uttal et de ses collègues (2013), ainsi que d'Atit et de ses collègues (2013). Cette typologie de Newcombe et Shipley (2015) contient quatre composantes : intrinsèque et extrinsèque ainsi que statique et dynamique. Selon Newcombe et Shipley (2015), la dimension statique implique la présence de deux objets (ou plus), mais l'objet principal reste immobile, comme c'est le cas d'une école qui reste toujours au même endroit. La dimension dynamique, quant à elle, se rapporte aux divers mouvements des objets. Par exemple, les mouvements des élèves à l'intérieur ou à l'extérieur de l'école. Qui plus est, la dimension intrinsèque concerne les caractéristiques internes de l'objet lui-même, tandis que la dimension extrinsèque établit des relations entre plusieurs objets. Ces différentes composantes permettent de mesurer les habiletés spatiales des enfants à travers ces quatre dimensions. Par exemple, la reconnaissance d'un ourson en peluche relève des dimensions intrinsèque et statique, tandis que la rotation mentale de cet ourson dans son espace se rapporte aux dimensions intrinsèque et dynamique, car elle convoque des caractéristiques spécifiques à l'objet (ourson) et sa transformation dans l'espace (rotation mentale). Cette typologie est également cohérente avec la proposition de différents autres auteurs tels que Waller et Nadel (2013). Ces derniers mentionnent que la cognition spatiale, telle qu'ils la nomment, est caractérisée par les propriétés des objets (liées à la dimension intrinsèque) ainsi que par les relations entre ces mêmes objets, notamment dans la scène (liées à la dimension extrinsèque).

Une fois les assises théoriques bien définies à propos du raisonnement spatial, quels matériel et quel soutien sont offerts aux enfants ? Comment ces habiletés sont-elles enseignées et apprises en contexte scolaire ?

1.2. Pratiques enseignantes

Les personnes enseignantes œuvrant en contexte d'éducation préscolaire mobilisent une grande variété de pratiques enseignantes cohérentes avec les besoins des jeunes enfants, mais disposent parfois de moins d'occasions de développement professionnel ciblées sur les enjeux d'apprentissage en mathématiques (Oppermann et al., 2016). Il importe qu'elles soient conscientes des pratiques qu'elles mobilisent ainsi que des différents contenus mathématiques existants afin d'identifier des opportunités d'apprentissage significatives. En ce sens, Dunekacke et ses collègues (2024) proposent que la formation initiale et continue offre aux personnes enseignantes œuvrant à l'éducation préscolaire des occasions d'apprentissage leur permettant de développer une compréhension approfondie de l'enseignement des mathématiques. Toutefois, certaines études révèlent que certains domaines mathématiques, comme le raisonnement spatial, demeurent peu exploités dans les milieux scolaires (Flynn, 2018 ; Clements et Sarama, 2021 ; Marchand, 2020), ce qui peut indiquer un manque de formation ou de sensibilisation à ces contenus spécifiques dès les premières années. Ces habiletés liées au raisonnement spatial s'inscrivent dans le domaine des mathématiques, mais sont également des précurseurs pour plusieurs aspects du développement global, dont le développement moteur (Clements et Sarama, 2021). L'importance de ces apprentissages mérite un approfondissement et une prise de conscience des réflexions et des actions que les personnes enseignantes réalisent dans leurs pratiques enseignantes au quotidien. St-Jean et ses collaborateurs (2023) mettent en lumière qu'il existe différentes pratiques enseignantes possibles permettant aux enfants de développer des habiletés liées au raisonnement spatial, mais que la plupart des pratiques actuelles restent limitées à des formes d'enseignement explicite liées au vocabulaire. En effet, nous mettons de l'avant qu'il est possible, voire souhaitable, que les enfants mobilisent différentes habiletés liées au raisonnement spatial sans nécessiter de contextes d'apprentissage explicitement dirigés par la personne enseignante.

À partir de ces constats, quelles expériences éducatives convient-il d'analyser afin qu'elles permettent aux enfants de développer des habiletés spatiales liées aux mathématiques ?

1.3. Contextes d'apprentissage favorisant le développement d'habiletés spatiales

Divers liens explicites ont été documentés entre le raisonnement spatial, les mathématiques, les sciences et le développement moteur, dans la littérature scientifique (ex. : Bower et al., 2020; Lin et Chen, 2016), que ce soit dans un contexte scolaire ou personnel. En effet, les enfants sont amenés à mobiliser des habiletés liées au raisonnement spatial dans plusieurs activités du quotidien, notamment dans les jeux de société. De ce constat, Meyer et ses collègues (2014) mettent en relation les compétences spatiales mobilisées entre elles lors de la réalisation de puzzles, qui constitue un passe-temps fréquent chez les enfants d'âge préscolaire. En considérant la variété de types de puzzles existants, les enfants sont en mesure de développer des habiletés spatiales différentes selon les puzzles réalisés. Brathwaite et Schreiber (2009) énoncent plusieurs types de puzzles : « riddles, lateral thinking, spatial reasoning, pattern and recognition, logic, exploration and item use » (p.16). Dans le cadre de cet article, il est plus précisément question des puzzles liés au raisonnement spatial (*spatial reasoning*) que Brathwaite et Schreiber (2009) décrivent comme exigeant des enfants qu'ils manipulent des objets physiquement et mentalement.

Dans cet ordre d'idées, plusieurs recherches mettent de l'avant une approche nommée « apprentissage par le puzzle » (*puzzle-based learning*) (ex. : Levine et al., 2012; Meyer et al., 2014; Ungau et al., 2023). Il s'agit d'une approche éducative qui cible le développement critique et créatif dans la résolution de problèmes par la réalisation de divers puzzles (Madueira Fontes et al., 2024). En basant ses propos sur ceux de Ballard (2015), Madueira Fontes et ses collègues (2024) affirment que cette approche est bénéfique pour plusieurs aspects. Mentionnons que certains défis de puzzles sont applicables aux problèmes du monde réel, que la réalisation des puzzles n'est pas limitée par l'âge (c'est-à-dire qu'ils s'appliquent aussi bien aux jeunes qu'aux personnes âgées), que les puzzles exigent une certaine forme de réaction motrice complexe et, finalement, qu'ils ne nécessitent pas de familiarité préalable (Madueira Fontes et al., 2024).

Considérant la présence, voire la popularité des puzzles présents dans les domiciles ou les classes d'éducation préscolaire, force est de constater que ceux-ci sont accessibles pour plusieurs enfants. Les puzzles proposés aux enfants s'avèrent être un contexte propice pour mobiliser des habiletés spatiales dans la réalisation des puzzles. De plus, tout dépendamment du type de puzzles, les habiletés peuvent grandement différer (Madueira Fontes et al., 2024). Il existe une pertinence scientifique à documenter les pratiques enseignantes réalisées dans ces contextes d'apprentissage, favorisant le développement d'habiletés spatiales, en connaissant les apports sur le développement global des enfants et les besoins professionnels des personnes enseignantes en lien avec ces savoirs mathématiques.

2. CADRE THÉORIQUE

Pour analyser ces deux puzzles, nous empruntons les descripteurs théoriques de tâches et techniques issues de la notion de praxéologie de la TAD de Chevallard (1992) ainsi que d'analyse *a priori* d'Assude et Mercier (2007).

2.1. Théorie Anthropologique du Didactique (TAD) (Chevallard, 1992)

La Théorie anthropologique du didactique (TAD) cherche à décrire, à comprendre, à rendre plus intelligibles et à expliquer les phénomènes de la réalité sociale où les connaissances et les savoirs se développent et sont diffusés.

À l'instar de son fondateur, Chevallard (1992, 1999), nous utilisons les descripteurs théoriques issus de la notion de praxéologie pour expliquer la réalité complexe du développement de connaissances et de savoirs mathématiques. Cette notion est composée de quatre composantes, soit les tâches, les techniques, les technologies et les théories. D'abord, une tâche « s'exprime par un verbe : balayer la pièce, diviser un entier par un autre (...). Ce sont des « artefacts », des « œuvres », des construits institutionnels, dont la reconstruction en telle institution, par exemple en telle classe, est un problème à part entière, qui est l'objet même de la didactique » (Chevallard, 1999, p.224). D'autre part, une technique désigne « une manière de faire une certaine tâche ou type de tâche » (Assude et Mercier, 2007, p. 154) donc les techniques sont principalement mobilisées par les actions, c'est-à-dire les « réponses » des élèves aux tâches mathématiques demandées par les intervenantes scolaires. Ces deux premières composantes sont liées au savoir-faire. Quant à la technologie, elle se réfère en fait au discours raisonné qui sous-tend, justifie, explicite les savoir-faire mobilisés. Finalement, les théories s'avèrent être la quatrième composante et dégagent un niveau supérieur de justification de la technologie et qui approfondit les constructions intellectuelles liées aux savoirs qui sont présents dans les tâches, techniques et technologies présentes. Il y a ainsi une imbrication présente dans les composantes afin

d'en retirer, avec les technologies et la théorie, une abstraction plus près des savoirs savants que des savoirs enseignés et des savoir-faire sous-tendant.

Dans le cadre de cet article, ce sont principalement les notions de tâches et de techniques qui sont mobilisées dans les résultats, au détriment des deux autres composantes des technologies et des théories.

2.2. Apports de l'analyse *a priori* (Assude et Mercier, 2007)

Afin d'analyser en profondeur les puzzles, nous avons également emprunté à Mercier et Assude (2007) les modalités explicitées, dans leur appropriation de l'analyse *a priori*.

Il est possible de décortiquer l'analyse *a priori* de plusieurs manières (Assude et Mercier, 2007; Margolinas, 1992). Assude et Mercier (2007) ont réalisé, dans le cadre d'un projet, une analyse *a priori* en trois temps : « (1) une analyse descendante qui permet d'analyser le savoir censé être en jeu ; (2) une analyse ascendante qui nous permet de voir les possibles techniques que les élèves peuvent mettre en œuvre ; (3) ces deux types d'analyse nous permettent de voir certains problèmes didactiques auxquels les professeurs peuvent être confrontés (les jeux possibles de l'instance professeur sur celle de l'élève » (p.156). Bref, cette notion d'analyse *a priori* permet ainsi une première analyse pour mieux comprendre ensuite les tâches et techniques mobilisées lors de l'opérationnalisation des dispositifs didactiques.

Somme toute, l'ensemble de ces descripteurs théoriques nous permettra d'analyser les tâches demandées par la situation, dans ce cas, les deux *puzzles*, ainsi que les différentes façons dont les enfants ont pu réaliser les tâches, à savoir les techniques mises en œuvre. Ceci permettra de discerner les habiletés spatiales présentes dans les différents puzzles. Les objectifs de cet article sont de 1) identifier différentes habiletés liées au raisonnement spatial mobilisées lors de la réalisation de puzzles et 2) dégager différentes praxéologies liées à différents types de puzzles. Afin de réaliser les analyses du deuxième objectif, nous convoquons différents descripteurs théoriques présentés dans la section précédente.

3. MÉTHODOLOGIE

La présente recherche s'inscrit dans une approche qualitative, spécifiquement sous la forme d'une étude exploratoire et descriptive (Paillé et Mucchielli, 2021). Cet article s'inscrit dans un projet plus vaste, initié en 2022, visant à documenter les pratiques effectives, le sentiment d'auto-efficacité et la qualité des interactions entre les intervenants et les enfants dans le cadre de l'éveil aux mathématiques à l'éducation préscolaire. Dans le cadre de cette recherche, cinq classes ont été observées à huit reprises entre l'automne 2022 et le printemps 2024. Ce nombre répété d'observations permet de saisir les dynamiques évolutives et d'obtenir une image complète et nuancée des dynamiques d'enseignement et d'apprentissage.

3.1 Classes participantes

Sur le plan du recrutement, ce sont cinq personnes enseignantes dans cinq classes qui ont participé au projet de recherche. D'abord, une lettre expliquant la recherche a été envoyée aux familles des enfants inscrits à la maternelle par l'intermédiaire de la direction de l'école. L'échantillon de cinq classes de maternelle a été constitué par la direction de l'établissement. Ces cinq classes, comprenant un total de quarante-trois enfants, sont réparties dans trois écoles de la région du Bas St-Laurent.

3.2 Les méthodes et les outils de collecte et d'analyse de données

Pour atteindre l'objectif de recherche, des observations ont été réalisées. En effet, des observations non participantes dans les cinq classes de maternelle ont été menées et analysées par deux chercheuses de l'équipe. Les observations non participatives sont essentielles, car elles permettent de recueillir des données sur les techniques mobilisées par les enfants et les interactions dans leur environnement naturel sans interférence directe de l'observateur (Fortin et Gagnon, 2016). Les observations se sont tenues dans un contexte de jeu libre et ce sont des extraits ciblés qui ont été choisis pour cet article, soit les enregistrements vidéo où les enfants ont choisi de faire des puzzles pendant la période de jeu libre. Cette période ciblée a une durée de soixante minutes et les extraits tirés sont spécifiquement pour un enfant réalisant deux puzzles pour un total d'environ quinze minutes.

Quant aux modalités d'analyse des données, c'est principalement une analyse thématique qui a été utilisée (Paillé et Mucchielli, 2021). Plus précisément, les données ont été traitées selon des procédures d'analyse incluant un codage parallèle à l'aveugle des énoncés et des enregistrements vidéo significatifs (Savoie-Zajc, 2004). Parmi les codes répertoriés, il a été question des tâches demandées par les différents puzzles ainsi que les techniques avec lesquelles l'enfant a pu réussir à faire ces tâches. Dans ces analyses, le codage parallèle à l'aveugle a renforcé la fiabilité de l'analyse en minimisant les biais individuels et en assurant une interprétation rigoureuse des données en fonction des objectifs de recherche ciblés.

Ce projet de recherche a reçu l'autorisation du comité d'éthique et de la recherche de l'université où l'auteure principale est en fonction en tant que professeure.

4. RÉSULTATS

4.1. Analyses descendantes

Par une analyse descendante, l'analyse des savoirs mathématiques en vigueur dans les programmes éducatifs utilisés par les personnes enseignantes a été effectuée. Différentes prescriptions ministérielles présentes dans les programmes éducatifs en vigueur à l'éducation préscolaire au Québec, notamment le Programme-cycle de l'éducation préscolaire (Gouvernement du Québec, 2023), sont ainsi intégrées dans les milieux scolaires.

Dans un premier temps, nous ciblons deux passages qui font référence, implicitement ou explicitement, au puzzle. Il est mentionné que l'enfant peut « Expérimenter différentes façons de se détendre (...) ex. : faire un casse-tête (...) » (Gouvernement du Québec, 2023, p.24). Le premier extrait, situé dans le développement physique et moteur, explicite que le casse-tête (appelé au même titre que le puzzle au Québec) peut être un moyen que l'enfant choisit pour se détendre (Gouvernement du Québec, 2023). Sans faire allusion aux différentes habiletés motrices, cognitives ou langagières liées à cet exercice, le puzzle apparaît alors comme un moyen de détente.

Par la suite, un lien implicite est présent dans la section mathématique de ce programme : « Expérimenter des jeux de dénombrement, d'association, de classement et de logique, (...) Découvrir, manipuler, comparer, reconnaître et décrire des formes géométriques, (...) Combiner des figures pour en créer de nouvelles » (Gouvernement du Québec, 2023, p.50). Dans ce deuxième extrait, un passage implicite a été ciblé, soit d'assembler des formes pour en créer de nouvelles. En reconnaissant les tâches mobilisées dans les puzzles, il convient de souligner que cette action d'assemblage est omniprésente, et ce, même si le terme de puzzle n'est pas explicitement nommé.

Nous ajoutons également que dans ce même Programme-cycle à l'éducation préscolaire (Gouvernement du Québec, 2023), il est question du raisonnement spatial dans le développement physique et moteur. Sans faire de liens explicites avec le puzzle (ou le casse-tête), il est mentionné que l'enfant doit être en mesure d'expérimenter l'orientation spatiale (p.15), qu'ils peuvent se familiariser avec les différentes notions spatiales (ex. : proche ou loin) et comparer deux objets (p.19) et connaître le sens spatial de la lecture et de l'écriture (p.45). Ainsi, l'enfant est amené à vivre des situations dans lesquelles le raisonnement spatial est présent. La personne enseignante est invitée à l'accompagner dans ces contextes d'apprentissage.

4.2. Le premier puzzle

4.2.1. Analyses ascendantes

Par une analyse ascendante, il est possible de constater l'ensemble des tâches demandées et des techniques possiblement mobilisées par les enfants lors de la réalisation du premier puzzle. Voici une figure qui illustre ce premier puzzle :



Figure 2 : Premier puzzle

Expliquons d'abord que ce puzzle est particulier, puisqu'il comporte huit animaux, dont le mouton, à placer dans des emplacements spécifiques, en plus des douze pièces plus « traditionnelles » à assembler. Il est possible de décortiquer ce premier puzzle en trois tâches, soit; 1) orienter une pièce de puzzle dans son espace 2) modifier la position de la pièce l'approcher physiquement d'une seconde pièce de puzzle et 3) assembler les pièces de puzzle par emboîtement. Il convient également de mentionner que l'enfant peut choisir d'agir sur les pièces dans différents ordres. Il peut commencer par l'assemblage des animaux aux pièces ou encore débiter en assemblant les pièces de puzzle plus traditionnelles et ensuite les animaux dans ces pièces. C'est pourquoi nous mettons de l'avant que ce puzzle requiert différents types de tâches : un type de tâche lié à l'orientation des animaux ou des pièces (tourner la pièce dans l'espace et déplacer sa position) (tâches 1 et 2) et un autre type de tâche lié à l'assemblage des pièces (tâche 3).

Donc, pour réaliser ces deux types de tâches, les enfants pourront mobiliser différentes techniques. Voici un tableau ciblant quelques techniques possibles :

Tableau 1 : Les tâches du premier puzzle et les techniques possibles

Tâches de premier puzzle	Techniques possibles de l'enfant
1) Orienter une pièce de puzzle dans son espace	▪ Orienter par essais et erreurs la pièce dans son espace ▪ Orienter la pièce dans son espace par tâtonnements ▪ Orienter la pièce dans son espace avec une image mentale
2) Modifier la position de la pièce : l'approcher physiquement d'une seconde pièce de puzzle	▪ Changer la position de certaines pièces afin d'associer l'animal et la pièce qui l'entoure ▪ Changer la position initiale de certaines pièces du puzzle (par exemple le cadre extérieur du puzzle) ▪ Changer la position physique de l'enfant pour qu'il perçoive la pièce sous un nouvel angle ▪ Visualiser une position différente de la pièce de puzzle

3) Assembler les pièces de puzzle par emboîtement	■ Assembler une pièce à une autre en se fiant au dessin pour réaliser une rotation physique ■ Assembler par essais et erreurs ■ Assembler la pièce à une autre en se fiant au dessin pour réaliser une rotation mentale ■ Assembler la pièce à une autre en se fiant à son contour pour réaliser une rotation physique ■ Assembler la pièce à une autre en se fiant à son contour pour réaliser une rotation mentale
---	--

Qui plus est, il importe d'explicitier certaines techniques possibles. La rotation mentale ou physique détient une importance dans les habiletés acquises (ou en voie de l'être) des enfants. L'observation des techniques utilisées par les enfants s'avère primordiale afin de déceler les habiletés spatiales qu'ils maîtrisent et celles pour lesquelles ils ont besoin d'accompagnement.

Pour ce qui est des problèmes didactiques issus de ce puzzle précisément, différents éléments sont à considérer. Dans un premier temps, le nombre de pièces de ce puzzle (animaux et pièces ensemble) constitue un total de vingt pièces, ce qui est peu pour une majorité d'enfants âgés de 4 et 5 ans. À ce moment, l'enfant réaliserait avec succès l'ensemble des tâches en mobilisant des techniques efficaces comme la rotation mentale, et ce, sans faire d'essais et erreurs. Dans un deuxième temps, ce puzzle invite fortement les enfants à se fier à l'illustration globale (ici une ferme et ses animaux) afin de procéder à l'assemblage des pièces entre elles. Ces indices visuels aident l'enfant à situer les pièces les unes avec les autres, et ce, sans devoir dépendre de formes des pièces qui permettent leur emboîtement. Malgré l'ensemble de ces problèmes didactiques, il importe de soulever les analyses didactiques étant donné que ce type de puzzle se retrouve fréquemment dans les milieux scolaires, notamment dans le cas de la classe ciblée.

Lors de l'opérationnalisation de ce puzzle, nous avons pu constater le déroulement effectif et, au regard de l'analyse *a priori*, la réalisation des tâches et le choix des techniques utilisées par un enfant dans la période de jeu libre. Ce dernier s'est porté volontaire, spontanément, alors que le matériel a été laissé sur une table à la disposition de tous. La personne enseignante est restée à proximité en veillant à voir si l'enfant nécessitait du soutien ou non.

4.2.2. Déroulement réel : regard sur les techniques mobilisées par l'enfant lors du premier puzzle

D'abord, l'enfant a réalisé les tâches dans l'ordre suivant : il a d'abord fait l'assemblage des animaux dans les pièces (tâches 1 et 2) et ensuite l'assemblage des pièces pour former le puzzle (tâches 3 et 4). Ce faisant, il a utilisé des techniques qui avaient été anticipées dans l'analyse *a priori*. Voici une illustration de quelques-unes de ses techniques effectuées :



Figure 3 : Techniques mobilisées lors de la réalisation de la tâche de rotation dans le cadre du premier puzzle

Nous pouvons mettre de l'avant que l'enfant a réalisé des rotations mentales de la pièce en lui procurant l'orientation adéquate pour l'emboîter convenablement, au premier essai, dans la pièce associée. À une reprise, il lui est arrivé de faire la rotation physiquement, c'est-à-dire en faisant des essais sur la pièce et en faisant de légères rotations pour en arriver à faire l'assemblage adéquat de l'animal dans la pièce. Il faut mentionner que l'enfant a été

en mesure d'associer l'animal à la bonne pièce sans hésitation et avec succès à chaque tentative, en se basant sur les caractéristiques intrinsèques et statiques propres à chaque pièce.

Pour la deuxième partie de cette situation, l'enfant a ensuite opté pour les rotations et les assemblages des pièces contenant les animaux assemblés. Comme pour la première partie, il lui est arrivé à plusieurs reprises d'effectuer la rotation mentale de la pièce et d'assembler adéquatement la pièce au bon endroit dans le puzzle. Voici des illustrations montrant ses techniques :



Figure 4 : Techniques mobilisées lors de la réalisation de la tâche d'assemblage dans le cadre du premier puzzle

Comme pour la première partie, il est arrivé à un moment que l'enfant ait fait plusieurs tentatives pour réaliser la tâche. Lors de l'assemblage d'une pièce, il a essayé de la joindre à quatre endroits sur la partie du puzzle partiellement assemblée. Ceci peut être dû à l'illustration de cette pièce qui portait davantage à confusion étant donné que la couleur verte (pelouse) se retrouvait à quelques endroits sur l'illustration globale du puzzle.

En répondant au premier objectif de cette recherche, soit l'analyse des composantes de la typologie du raisonnement spatial de Newcombe et Shipley (2015), il est possible de mettre en lumière que les tâches demandées dans ce puzzle ont trait à la dimension dynamique étant donné que l'enfant doit mettre en mouvement les pièces et les animaux pour créer le puzzle. Il n'est pas seulement appelé à les « bouger mentalement », mais bien à créer physiquement ce puzzle dans son entièreté. Ceci convoque également deux autres dimensions, soit la dimension intrinsèque et la dimension extrinsèque. D'une part, l'enfant est amené à s'attarder à la dimension intrinsèque d'une pièce afin d'en comprendre ses caractéristiques individuelles. Par exemple, il doit observer le contour de la pièce ainsi que l'illustration du dessin qui s'y retrouve afin de pouvoir la comparer avec les autres. D'autre part, il peut être amené à établir des relations entre plusieurs pièces, en déterminant comment les tourner pour ensuite les assembler et former l'entièreté du puzzle, à condition qu'il utilise des techniques fondées sur le raisonnement spatial plutôt que sur l'essai-erreur. Force est de constater qu'à un moment, l'enfant doit s'attarder aux caractéristiques de la pièce, ce qui est directement en lien avec la dimension intrinsèque et statique. Ainsi, faire des puzzles constitue un contexte favorable à la mobilisation de techniques variées liées au raisonnement spatial, y compris les quatre dimensions pouvant être activées en fonction du type de puzzle.

Par ailleurs, les résultats de cette section permettent également de répondre au deuxième objectif qui était de faire l'analyse des tâches et techniques du puzzle. Ceci nous a permis de mettre de l'avant une variété de tâches et de techniques possibles et effectives de ce puzzle. Ces analyses ont également pu mettre de l'avant que l'enfant a été en mesure de mobiliser des techniques adéquates pour réaliser les tâches et que la personne enseignante n'a pas eu besoin de mettre en place des pratiques d'accompagnement. L'enfant a pu interagir directement avec le milieu, à l'instar du concept de validation interne (Brousseau, 1998). C'est par lui-même qu'il a constaté, à quelques reprises, que d'autres essais étaient nécessaires pour bien tourner et assembler certaines pièces.

4.3. Le deuxième puzzle

4.3.1. Analyses ascendantes

Comme pour le premier puzzle, il est possible de réaliser des analyses ascendantes afin d'examiner l'ensemble des tâches demandées et des techniques possiblement mobilisées par les enfants lors de la réalisation de ce deuxième puzzle. Voici une figure qui montre les particularités de ce deuxième puzzle :

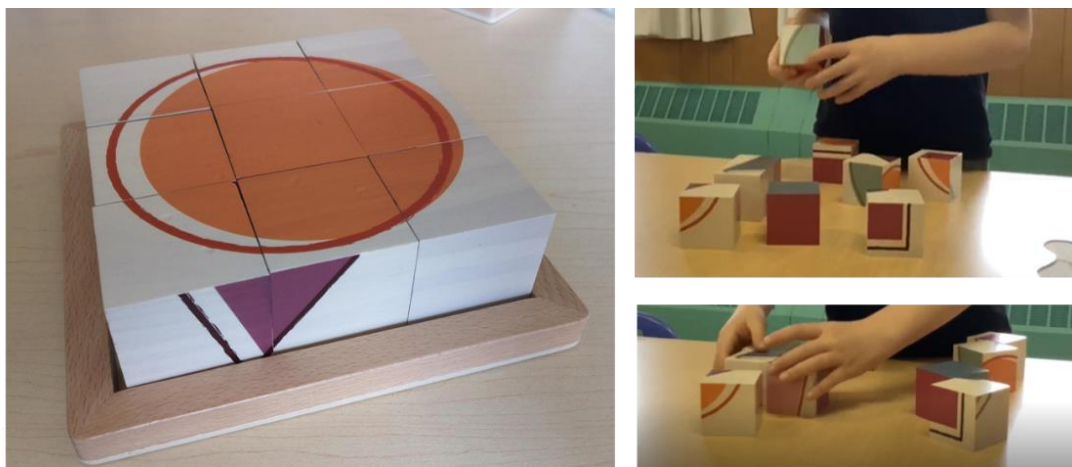


Figure 5 : Deuxième puzzle

Il est possible de décortiquer ce premier puzzle en trois tâches, soit : 1) choisir le puzzle à réaliser, 2) effectuer une rotation du cube pour trouver la surface liée au puzzle choisi et 3) assembler les faces des cubes pour former l'entièreté du puzzle. Ces trois tâches sont distinctes les unes des autres et se réalisent dans un ordre précis. La particularité de ce puzzle tient dans la présence des cubes. Chaque face du cube détient une pièce d'un puzzle différent, il y a donc six puzzles possibles, et l'enfant doit tourner le cube pour trouver la bonne face, puis tourner cette face pour procéder à l'assemblage. Chaque face du cube détient une pièce d'un puzzle différent, il y a donc six puzzles possibles, et l'enfant doit tourner le cube pour trouver la bonne face, puis tourner cette face pour procéder à l'assemblage.

Donc, pour réaliser ces trois tâches, les enfants pourront mobiliser différentes techniques. Voici un tableau ciblant quelques techniques possibles :

Tableau 2 : Les tâches du premier puzzle et les techniques possibles

Tâches du deuxième puzzle	Techniques possibles de l'enfant
1. Choisir le puzzle à réaliser	Aléatoire (peu d'enjeux didactiques)
2. Changer l'orientation du cube pour trouver la surface du puzzle choisi	- Changer l'orientation physique (3D) du cube et identifier la couleur du puzzle choisi - Visualiser les surfaces du cube et identifier la surface avec la couleur du puzzle - Mettre son doigt sur les surfaces déjà observées et éliminées - Changer la position physique de l'enfant pour qu'il perçoive la pièce sous un nouvel angle
3. Assembler les faces des cubes pour former l'entièreté du puzzle	- Assembler les cubes sans emboîtement en ayant en tête la figure plane dans sa globalité (comme un point de référence, un tout avec ses parties) - Assembler un cube à un autre en se fiant aux lignes des figures planes pour réaliser une rotation physique (2D) sans emboîtement - Assembler par essais et erreurs

	▪ Assembler le cube à un autre en se fiant au dessin pour réaliser une rotation mentale sans emboîtement
--	--

En tenant compte de la complexité de ce puzzle, il importe d'expliciter certaines techniques possibles. Comme pour le premier puzzle, la rotation mentale ou physique détient une importance dans les habiletés acquises (ou en voie) des enfants.

Pour ce qui est des problèmes didactiques issus de ce puzzle précisément, différents éléments sont à considérer. Dans un premier temps, comme six puzzles différents sont présents dans cette situation, à raison d'un puzzle par surface du cube, l'enfant est amené à faire un choix de puzzle dès le départ. Même, il est possible qu'il ne fasse pas la première tâche, de choisir un puzzle parmi les six, et qu'il n'arrive pas à assembler, faute d'avoir sélectionné les surfaces adéquates. Dans un deuxième temps, les illustrations sur chaque puzzle détiennent un esthétisme qui peut induire l'enfant en erreur. Six figures planes sont présentes, mais leur présentation visuelle est constituée d'une figure pleine ainsi que d'une ligne (droite ou courbe) faisant le contour de la figure plane. Cette ligne ajoute un détail esthétique supplémentaire qui peut induire l'enfant en erreur en ajoutant des lignes à faire correspondre au détriment de la figure pleine. Au contraire du premier puzzle, ces indices peuvent nuire à la reconnaissance visuelle de l'enfant.

4.3.2. Déroulement réel : regard sur les techniques mobilisées par l'enfant lors du deuxième puzzle

Lors de l'opérationnalisation de ce deuxième puzzle, nous avons pu constater le déroulement réel de la tâche et, au regard de l'analyse a priori, la réalisation des tâches ainsi que le choix des techniques utilisées par le même enfant que pour le premier puzzle. D'ailleurs, l'ordre de réalisation des puzzles a été le même que dans la présentation des résultats de cet article. La personne enseignante est restée à proximité, veillant à ce que l'enfant ne nécessite pas de soutien et, dans ce cas, elle est intervenue à deux reprises.

Dans un premier temps, l'enfant a réalisé les tâches dans l'ordre prévu par l'analyse a priori, en commençant bien par la première : choisir un puzzle. Le choix s'est fait au hasard, en ciblant d'abord une couleur. Ce choix fait en tournant un cube, il a utilisé des techniques qui avaient été anticipées dans l'analyse *a priori*. Voici une illustration de quelques-unes de ses techniques mises en œuvre lors de la réalisation de la deuxième tâche :

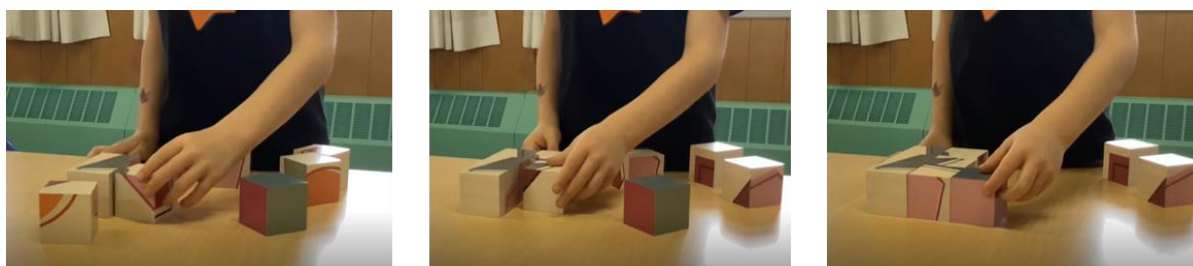


Figure 6 : Techniques mobilisées lors de la réalisation de la deuxième tâche du deuxième puzzle

À la suite de la lecture de la figure, il est possible de comprendre que l'enfant a réalisé des rotations physiques de la face du cube, sans toutefois choisir l'orientation adéquate. En effet, il parvient à faire la deuxième tâche, soit de tourner les neuf cubes pour trouver la surface associée au puzzle choisi, dans ce cas, le losange bleu. Toutefois, alors qu'il mobilise des techniques pour faire la troisième tâche d'assemblage, il est possible de constater que l'illustration ne forme pas un losange. À ce moment, la personne enseignante intervient en lui expliquant : « c'est vrai qu'ils sont tous bleus, mais on ne voit pas la figure... Les lignes ne sont pas collées (pointe ailleurs) pour former une figure. Tu vois, ici (pointe ailleurs), les lignes sont continues (pointe le long d'une ligne continue sur deux cubes) ». Dans la figure suivante, nous voyons ces moments d'échange entre l'enfant et la personne enseignante :



Figure 7 : Techniques mobilisées lors de la réalisation de la troisième tâche du deuxième puzzle et premier moment de soutien par la personne enseignante

À la suite de cet échange, l'enfant entreprend alors de changer la position des cubes comme il est possible de le voir dans la photo de droite de la figure précédente. Il tourne à plusieurs reprises les cubes pour assembler les faces associées au losange bleu. À un moment, il termine son assemblage et s'exclame qu'il a terminé. La personne enseignante, qui était restée à proximité, s'approche. Alors, elle pointe deux cubes qui ne respectent pas la forme attendue du losange dans la figure. La figure 8 présente une série de photos qui illustre le déroulement de ce moment.

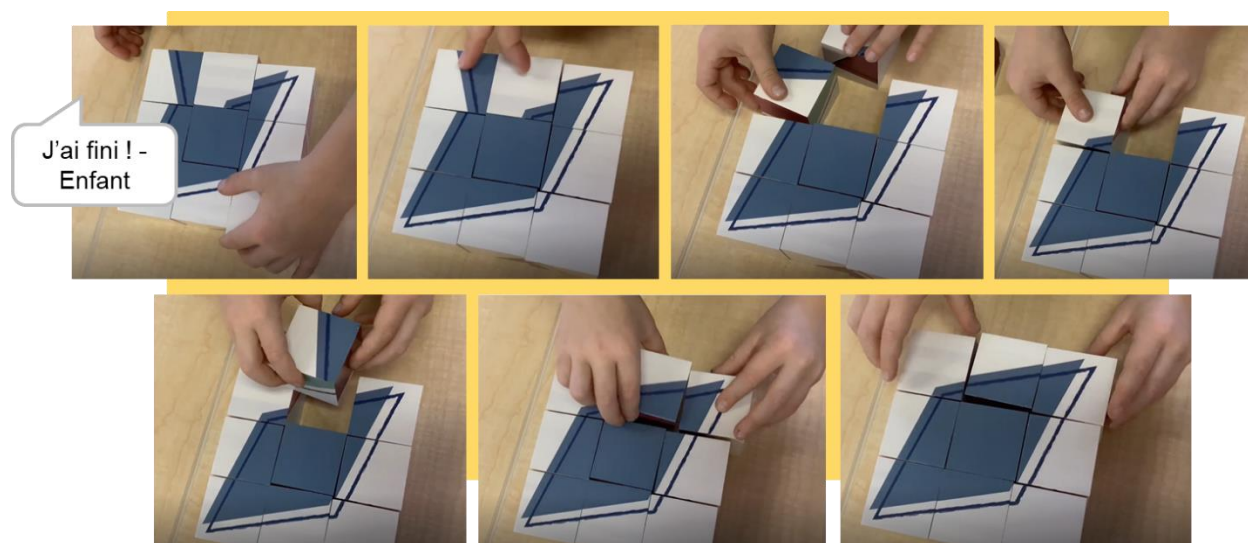


Figure 8 : Techniques mobilisées lors de la réalisation de la troisième tâche du deuxième puzzle et deuxième moment de soutien par la personne enseignante

À un moment donné, l'enfant a fait plusieurs tentatives pour réaliser la tâche, en mobilisant des techniques de rotation physique afin de vérifier si les lignes de la figure plane s'alignaient correctement. Il n'y a pas de rotations mentales, associées à la visualisation spatiale, qui sont présentes dans la manipulation de cet enfant. Les difficultés rencontrées lors de la réalisation de la troisième tâche pourraient s'expliquer par le problème didactique anticipé lié à la complexité visuelle de la figure plane, ou par les techniques employées par l'enfant. Toutefois, contrairement au premier puzzle, il n'y a pas de validation interne par le milieu dans l'utilisation des pièces. Ainsi, le soutien de la personne enseignante est nécessaire pour réaliser avec succès la tâche.

Somme toute, pour répondre au premier objectif de cet article, il est possible d'affirmer que les tâches associées à ce deuxième puzzle ont concerné l'ensemble des dimensions : dynamique, statique, intrinsèque et extrinsèque. Comme pour le premier puzzle, l'enfant a dû s'attarder aux caractéristiques d'une pièce, mettre en mouvement les cubes un à un pour créer le puzzle et constater les relations entre ces cubes.

La singularité des résultats de ces analyses ascendantes réside dans les analyses didactiques issues de la TAD (Chevallard, 1992). En effet, ceci nous a permis de décrire les différentes tâches et techniques possibles et effectives

qui ne sont pas applicables à l'ensemble des puzzles. Dans le cas du deuxième puzzle, la présence des cubes en tant que pièce à assembler exigeait de l'enfant des techniques où une rotation à trois dimensions devait être faite sur les faces du cube, suivie d'une autre rotation sur deux dimensions pour assembler la face aux autres. Bref, des analyses contextuelles à chaque type de puzzle sont nécessaires. Les particularités liées à la présence de six puzzles, un sur chacune des faces du cube, et qui ne s'assemblent pas comme ce fut le cas pour le premier puzzle, procurent une complexité qu'il convient d'anticiper.

5. DISCUSSION ET CONCLUSION

Somme toute, cet article permet d'analyser en profondeur deux composantes de la notion de praxéologie de la TAD, les tâches et les techniques, liées au raisonnement spatial. L'approche d'apprentissage par le puzzle (*puzzle-based learning*) possède un réel potentiel éducatif, car les tâches proposées mobilisent plusieurs composantes du raisonnement spatial, et les techniques que peut utiliser un enfant s'avèrent particulièrement stimulantes. À l'instar de plusieurs auteurs, nous affirmons que les puzzles détiennent un grand potentiel mathématique lié au raisonnement spatial (Clements et Sarama, 2021; Levine et al., 2012; Meyer et al., 2014; Ungau et al., 2023). En effet, les résultats mettent de l'avant que l'ensemble des composantes de la typologie de Newcombe et Shipley (2015) sont présentes dans les deux puzzles étudiés dans cet article, malgré le fait que les deux puzzles détiennent des différences notables.

Pour conclure, Madueira Fontes et ses collègues (2024) mettent l'accent sur la planification des personnes enseignantes est un levier menant à un environnement de qualité. Dès lors, les décisions des personnes enseignantes quant aux puzzles constituent une différence significative et positive dans la manière dont elles planifient, développent ou sélectionnent les puzzles ainsi que dans l'expérience que les enfants auront de ces puzzles. Nous abondons dans le même sens que Dupuis Brouillette et St-Jean (2020) en ce qui a trait à la planification des situations mathématiques, dont le cas des puzzles. Cela contribue à offrir un environnement de qualité, par des interactions qui soutiennent les apprentissages et qui permettent aux enfants d'approfondir leurs connaissances dans des contextes de jeu.

Dans ce dernier ordre d'idées, en lien avec la paucité des pratiques enseignantes liées au raisonnement spatial, il importe de réfléchir collectivement sur l'accompagnement des personnes enseignantes à l'éducation préscolaire. En tant que généralistes, ils doivent maîtriser plusieurs disciplines ayant des distinctions importantes. Il existe plusieurs enjeux didactiques qu'il importe de saisir pour favoriser les apprentissages mathématiques. Dans le cas des mathématiques, selon une étude menée par Brown (2005) auprès de personnes enseignantes à l'éducation préscolaire, plus de la moitié des répondantes ont révélé ne pas se sentir compétentes en ce qui concerne les mathématiques. Dans le cadre de cette recherche, différentes nuances peuvent être apportées au regard du déroulement des situations d'apprentissage au regard des compétences nécessaires au raisonnement spatial. Meyer et ses collègues (2014), Casasola et ses collègues (2020) ainsi que Kisa et ses collègues (2019) affirment que les puzzles sont des situations qui permettent aux enfants de développer des compétences langagières liées au raisonnement spatial. Dupuis Brouillette (2024) abonde en ce sens en soulignant que le fait de jouer sur différentes variables didactiques peut influencer les tâches, par exemple en questionnant les enfants avant la manipulation ou en les amenant à verbaliser la mise en place de leurs techniques. Toutefois, les deux cas de puzzles n'ont pas pu permettre ce contexte. Ces compétences sont fondamentales et sont intrinsèquement liées au développement cognitif et moteur, présents dans les situations d'apprentissage analysées. En effet, les résultats de cet article ne font que peu état de l'activité langagière. Meyer et ses collègues (2014) expliquent que : « L'un des objectifs des apprentissages par puzzle est d'amener l'élève à articuler son processus de pensée. » (Meyer et al., 2014, p.39). Madueira Fontes et ses collègues (2024) abondent en ce sens en affirmant que ce matériel peut stimuler la curiosité des enfants ainsi que leur engagement dans leurs apprentissages, et ce, en les incitant à exprimer leurs pensées. Dans le cadre de cette recherche, l'enfant qui a réalisé ces puzzles n'a que peu interagi avec la personne enseignante, malgré plusieurs initiatives de la personne enseignante. L'enfant était concentré à faire la tâche et répondait aux questions posées en pointant les pièces du puzzle ou en les manipulant. Ceci lui a tout à fait permis de réaliser les tâches demandées et de mobiliser des techniques adéquates, mais le discours sur ces techniques (la technologie) n'a pas révélé les processus d'apprentissage sous-jacents à ces connaissances chez l'enfant.

RÉFÉRENCES

- Assude, T. et Mercier, A. (2007). L'action conjointe professeur-élèves dans un système didactique orienté vers les mathématiques. Dans G. Sensevy et A. Mercier (dir.). *Agir ensemble – L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (p. 153-183). Presses Universitaires de Rennes.
- Berthelot, R. et Salin, M.-H. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire*. Thèse de doctorat. Université Bordeaux 1.
- Bower, C., Zimmermann, L., Verdine, B., Toub, T., Islam, S., Foster, L., Evans, N., Odean, R., Cibischino, A., Pritulsky, C., Hirsh-Pasek, K. et Golinkoff, R. (2020). Piecing together the role of a spatial assembly intervention in preschoolers' spatial and mathematics learning: Influences of gesture, spatial language, and socioeconomic status. *Developmental psychology*, 56(4), 686-698. <https://doi.org/10.1037/dev0000899>.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques* (Textes rassemblés et préparés par Nicolas Balacheff, Martin Cooper, Rosamund Sutherland, Virginia Warfield). La pensée sauvage.
- Brown, E. (2005). The Influence of Teachers' Efficacy and Beliefs Regarding Mathematics Instruction in the Early Childhood Classroom. *Journal of Early Childhood Teacher Education*, 26, 239-257. <https://doi.org/10.1080/10901020500369811>
- Casasola, M., Wei, W. S., Suh, D. D., Donskoy, P. et Ransom, A. (2020). Children's Exposure to Spatial Language Promotes Their Spatial Thinking. *Journal of Experimental Psychology: General*, 149(6), 1116 –1136.
- Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherche en didactique des mathématiques*, 12(1), 75-111.
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 19(2), 221-265.
- Clements, D. H. et Sarama, J. (2021). *Learning and Teaching Early Math - The Learning Trajectories Approach* (3rd ed.). Routledge Editions.
- Deshaies, I. et Boily, M. (2021). L'importance du rôle de soutien de l'enseignante pour favoriser les habiletés mathématiques des enfants à l'éducation préscolaire en deux temps. Dans Deshaies et Miron (dir.). *Tisserands d'enfance - Le développement de l'enfant de 4 et 5 ans (tome 2)* (p.323-354). Éditions JFD.
- Dupuis Brouillette, M. et St-Jean, C. (2020). Collaboration et planification d'activités en mathématique : conceptions d'orthopédagogues. *Revue Canadienne des Jeunes Chercheurs en Éducation*. 11(2), 29-38.
- Dupuis Brouillette, M. (2024). *Co-construction de situations mathématiques entre intervenantes et chercheuse pour des élèves ayant un trouble langagier en contexte d'inclusion scolaire*. Thèse de doctorat. Université de Sherbrooke.
- Flynn, T. (2018). *Mapping a Learning Trajectory and Student Outcomes in Unplugged Coding: a Mixed Methods Study on Young Children's Mathematics and Spatial Reasoning* (Thèse de doctorat). Trent University. <http://digitalcollections.trentu.ca/objects/etd-615>
- Freiman, V. & Fellus, O. (2024). Spatial reasoning in authentic contexts of an engineering challenge: tapping into children's intuitive understanding of relationships between objects and self. In Lowrie, T., Gutiérrez, A., & Emprin, F. (Eds.), *Proceedings of the 26th ICMI Study Conference (Advances in Geometry Education)* (p.45-52). France.
- Gouvernement du Québec (2023). *Programme-cycle de l'éducation préscolaire*. Ministère de l'Éducation.
- Karsenti, T. et Savoie-Zajc, L. (dir.) (2018). *La recherche en éducation - Étapes et approches* (4^e édition). Presses de l'Université de Montréal.
- Kisa, Y. D., Aktan-Erciyes, A., Turan, E. et Goksun, T. (2019). Parental use of spatial language and gestures in early childhood. *British Journal of Developmental Psychology*, 37, 149–167.
- Levine, S., Ratliff, K., Huttenlocher, J. et Cannon, J. (2012). Early puzzle play: a predictor of preschoolers' spatial transformation skill. *Developmental psychology*, 48(2), 530-542.
- Lin, C. et Chen, C. (2016). Developing spatial visualization and mental rotation with a digital puzzle game at primary school level. *Computers in Human Behavior.*, 57, 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.026>.
- Lowrie, T., Resnick, I., Harris, D., et Logan, T. (2020). In search of the mechanisms that enable transfer from spatial reasoning to mathematics understanding. *Mathematics Education Research Journal*, 32, 175-188. <https://doi.org/10.1007/s13394-020-00336-9>.
- Madueira Fontes, M., Morgado, L. C., Pestana, P., Pedrosa, D. et Cravino, J. P. (2024). Viewing puzzles as two-faced: theoretical and practical implications for Puzzle-based Learning. *Thinking Skills and Creativity*, 52, 1-15.

- Marchand, P. (2020). Quelques assises pour valoriser le développement des connaissances spatiales à l'école. *Recherches en Didactique des Mathématiques (RDM)*, 40(2), 1-44. Marchand, P. et Bisson, C. (2017). *La pensée spatiale, géométrie et métrique à l'école (2e édition)*. Éditions JFD.
- Marchand, P., Sinclair, N., Julien, N. & Forest, M. (2024). A dynamic and spatial approach to enrich the teaching and learning of geometry in primary school In Lowrie, T., Gutiérrez, A., & Emprin, F. (Eds.), *Proceedings of the 26th ICMI Study Conference (Advances in Geometry Education)* (p. 85-92). France.
- Newcombe, N. S. et Frick, A. (2010). Early education for spatial intelligence: Why, what, and how. *Mind, Brain, and Education*, 4(3), 102–111. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2010.01089.x>
- Newcombe, N. S. et Shipley, T. F. (2015). Thinking About Spatial Thinking: New Typology, New Assessments. Dans Gero, J. (dir.). *Studying Visual and Spatial Reasoning for Design Creativity*. Springer https://doi.org/10.1007/978-94-017-9297-4_10
- Meyer, E., Falkner, N., Sooriamurthi, R. et Michalewicz, Z. (2014). *Guide to Teaching Puzzle-based Learning*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6476-0>.
- Oppermann, E., Anders, Y., et Hachfeld, A. (2016). The influence of preschool teachers' content knowledge and mathematical ability beliefs on their sensitivity to mathematics in children's play. *Teaching and Teacher Education*, 58, 174-184. <https://doi.org/10.1016/J.TATE.2016.05.004>.
- Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture (UNESCO) (2020). *Inclusion et éducation : Tous, sans exception*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374904>
- Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture (UNESCO) (2021). *Pour une inclusion dans l'éducation dès la petite enfance – De l'engagement à l'action*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378065/PDF/378065fre.pdf.multi>
- Paillé, P. et Muchielli, A. (2021). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales (5e édition)*. Éditions Armand Colin.
- Pyles, A., DeLuca, c. et Danniels, E. (2017). A scoping review of research on play-based pedagogies in kindergarten education. *British Educational Research Association*, 5(3), 311-351.
- Savoie-Zajc, L. (2004). *Triangulation (technique de validation par)*. Dans A. Mucchielli (dir.), *Dictionnaire des méthodes qualitatives en sciences humaines* (p. 289–290). Armand Colin.
- Singer, D. G., Golinkoff, R. M. et Hirsh-Pasek, K. (2006). *Play = Learning: how play motivates and enhances children's cognitive and social-emotional growth*. Oxford University Press.
- St-Jean, C., Dupuis Brouillette, M. et Boyer, J.-C. (2023). *L'éveil aux mathématiques à l'éducation préscolaire et au premier cycle du primaire – L'enfant et l'exploration au cœur des progressions d'apprentissage*. Éditions JFD.
- Ungau, S., Nasip, F., Anak, K., Linyaw, Y., Yusop, B. et Tien, T. (2023). Gamification in Improving Reading Skills of Preschool Children: Blending Through Puzzle Game. *Journal of Cognitive Sciences and Human Development*, 9(1), 193–220. <https://doi.org/10.33736/jcshd.5479.2023>.