

LE MESO-ESPACE : UN ETAYAGE DIDACTIQUE ?

Stéphanie Dénervaud, Thierry Dias, Jimmy Serment

Haute Ecole Pédagogique du canton de Vaud

Dans cet article nous relatons une expérience conduite en classe spécialisée à partir du jeu Architek. Nous cherchons à montrer comment l'utilisation d'une situation d'apprentissage inscrite dans celle du meso-espace peut être assimilée à une forme d'étayage dédiée à certaines difficultés d'apprentissage des élèves. L'adaptation du jeu de construction (Architek) est également proposée dans une séance conduite en formation initiale des enseignants spécialisés¹. En utilisant le même environnement didactique, nous explorons la complémentarité des deux tailles d'espace que sont le micro-espace et le meso-espace.

Mots-clés : géométrie, meso-espace, difficultés d'apprentissage, jeu, solides

CONSTRUCTION DES CONNAISSANCES SPATIALES

Des expériences préalables nécessaires

Lorsqu'un très jeune enfant réussit la tâche consistant à glisser un cube puis un cylindre dans une boîte ne permettant de distinguer ces deux objets que par une de leurs sections, il ne sait rien de la théorie géométrique relative aux propriétés de ces différents objets (cercle, carré, section, diamètre, etc.). Par une série d'expériences sensibles, ce jeune enfant est cependant à même de comprendre *in fine* que chaque objet correspond à un trou dans la boîte. Il n'apprendra que beaucoup plus tard, et dans un autre environnement que sa chambre ou son parc à jouer, que chacun de ces objets a un nom. C'est ensuite en contexte scolaire que ces différents objets seront classés selon des propriétés répertoriées dans une théorie qui les organise : la géométrie. Cette discipline scolaire fondée sur un répertoire de concepts théoriques fait notamment appel à une représentation langagière qui doit prendre en compte les expériences réalisées dans un environnement spatial au cours du développement de l'individu. Didactiquement parlant, les travaux de Berthelot et Salin (1999) ont fait la lumière sur une chronologie dans la construction des connaissances du sujet en lien avec son développement cognitif : d'abord spatiales puis géométriques. La cognition incarnée par les gestes, les déplacements, le toucher de la personne est préalable au discours conventionnel et progressivement normé qui portera sur ses expériences. Notons que la notion de cognition incarnée à laquelle nous faisons référence ici ne se limite pas à une prescription de situations concrètes pour enseigner, mais renvoie à tous les types d'interactions avec les objets de connaissance (Núñez et al., 1999). En effet, un cube à manipuler de 10 cm d'arête est tout aussi concret que son homologue de 1 m d'arête. En revanche, il ne permet pas les mêmes rapports effectifs avec le sujet sur le plan sensible, que ce soit par la perception haptique ou visuelle.

Les deux domaines de connaissance, spatiales et géométriques, sont épistémologiquement et donc didactiquement dépendants, car les connaissances géométriques permettent des modélisations de l'espace. Comme on le verra un peu plus loin, tant l'espace que la géométrie provoquent un certain nombre d'obstacles lors des apprentissages à l'école. Les liens entre les deux domaines sont insuffisamment explicités et la théorie à laquelle les élèves sont censés avoir accès en situation d'apprentissage géométrique ne s'appuie pas toujours sur un réseau d'expériences suffisamment riches dans leur nombre et leur diversité. Notons ici que les expériences individuelles dont on parle ne se limitent pas à celles vécues dans le domaine spatial en trois dimensions, celles qui sont relatives aux tracés par exemple doivent également être prises en compte. L'obstacle est encore, comme dans bien d'autres domaines d'apprentissage scientifique, celui du passage du pratique au théorique.

¹ Le masculin est utilisé dans cet article à titre épiciène.

Le meso-espace, c'est quoi ?

La construction des connaissances spatiales relève essentiellement de l'expérience individuelle, l'environnement dans lequel les situations d'apprentissage sont proposées est donc déterminant. Dans le contexte scolaire, on peut distinguer au moins trois types d'environnements (Brousseau, 2000 ; Berthelot & Salin, 1992 ; Bloch & Salin, 2004) en regard de leur taille vis-à-vis du sujet et de ses représentations : un domaine très proche de lui et très commun à tout élève qui se limite à son espace de travail direct à savoir son bureau, un autre plus étendu et relativement éloigné, « où l'enfant doit concevoir ses propres déplacements » (Brousseau, 2000, p.7), correspondant grossièrement à celui de sa salle de classe (ou de la cour de l'école) et enfin, un troisième correspondant à un espace non perceptible d'un seul regard qui pourrait être assimilé globalement à celui de l'établissement (bâtiments, cour, annexes, etc.) pour rester dans le contexte scolaire. Ce troisième environnement pourrait d'ailleurs se décliner en plusieurs types relativement aux distances ou au point de vue du sujet dans cet espace (position surélevée, utilisation d'un instrument de rapprochement, etc.). Dans la littérature didactique dont nous ne ferons pas ici une revue, un certain consensus est établi quant à la dénomination de ces trois tailles d'espace, on parle de micro-espace, de meso-espace et de macro-espace (Brousseau, 2000).

On comprendra aisément que la question des objets (et corrélativement de leurs propriétés) est différente dans chacune de ces tailles d'espace puisque le sujet n'entretient pas les mêmes relations avec eux. On peut faire le tour d'un objet en se déplaçant, grimper dessus, se glisser dessous, voire même entrer à l'intérieur s'il est suffisamment grand : dans ce cas il s'agit d'une expérience dans le meso-espace.

...lorsqu'il se déplace dans un territoire placé sous le contrôle de la vue (comme la salle de classe ou la cour de récréation), un élève est confronté à différentes perspectives présentant des parties communes. La coordination de ces multiples représentations lui permet d'accéder à une conception globale de ce meso-espace auquel il est confronté. (Gibel & Blanquart-Henry, 2017, p.41)

Au-delà des tailles de l'espace environnant dans lequel se déroule la situation d'apprentissage, c'est bien la nature des interactions (d'actions et de validations) possibles entre l'élève et les objets sensibles qui est le facteur principal de spécificité à prendre en compte pour les distinguer. Dans l'espace très proche, celui du bureau de l'élève (micro-espace), il y a peu de mouvements corporels possibles. Les gestes sont donc succincts et s'inscrivent dans un répertoire d'actions relativement limité. L'orientation de l'objet dans l'espace dépend des manipulations de l'élève, par exemple réorienter le plateau de jeu, et non pas de ses déplacements ou de son point de vue qui reste assez statique.

En termes d'apprentissage dans le meso-espace, deux atouts sont à relever selon nous : celui du potentiel d'action et de déplacement des élèves (rapports effectifs et enrichis avec les artefacts matériels) et celui du langage nécessaire à la communication entre les élèves en situation didactique. On peut en effet parler d'un effet catalyseur du meso-espace dans les échanges verbaux entre les acteurs, qu'il s'agisse d'un simple contexte d'expression ou même lorsque l'enjeu est celui du raisonnement ou de la preuve (Dias & Serment, 2016). En effet, le meso-espace requiert généralement une collaboration entre élèves pour interagir avec le milieu, ce qui génère *de facto* une situation de communication.

Quelles difficultés principales pour apprendre ?

Dans cet article, nous avons souhaité concentrer nos propositions didactiques selon un angle spécifique : celui des difficultés d'apprentissage. Elles peuvent être observables dans des contextes scolaires très divers, qu'ils soient ordinaires ou spécialisés. Elles peuvent concerner des élèves en difficulté provisoire ou des élèves ayant des troubles plus importants. Nous nous intéressons en effet depuis plusieurs années à une catégorie d'élèves nommée *mathematics learning disabilities or difficulties* (MLD) qui reste d'ailleurs relativement difficile à définir (Deruaz et al., 2020). Les propositions qui vont suivre sont donc plutôt à catégoriser comme des étayages relevant d'adaptations préventives et spécifiques et non pas comme des remédiations (Anghileri, 2006). Elles concernent principalement des notions relatives aux représentations spatiales et à leurs liens avec des connaissances géométriques.

Lorsqu'il s'agit de la construction des connaissances spatiales et géométriques, les facteurs sources de difficulté d'apprentissage sont assez nombreux et nous n'en ferons pas ici une étude exhaustive. Nous sommes néanmoins en mesure d'en dresser une liste que nous avons choisi de présenter sous la forme de besoins principaux des élèves en difficulté : manipuler et expérimenter, collaborer, interagir verbalement, changer de point de vue sur les objets et s'appuyer sur des connaissances spatiales pour construire une compréhension des propriétés géométriques. Le repérage de ces besoins est le résultat d'un nombre important d'expérimentations que nous avons conduites en classe ces dernières années dans le cadre de l'enseignement de la géométrie, plus particulièrement dans un environnement tridimensionnel en appui sur les objets mathématiques que sont les polyèdres (Dias & Serment, 2020).

SUPPORT DE L'EXPÉRIMENTATION : LE JEU ARCHITEK

Présentation du jeu Architek (version de base)

Dans sa version commerciale, Architek est un jeu éducatif présenté alternativement comme un jeu de logique, de géométrie, de physique, de concentration, de motricité fine ou de perspective selon les libraires qui le proposent dans leurs catalogues, ou en ligne sur leurs sites. Notons qu'il fait également intervenir la notion de rotation mentale même si cela n'est jamais mentionné par les éditeurs. Concernant l'âge cible des enfants, là aussi plusieurs références existent selon les présentations éditoriales. Elles varient de 4 à 8 ans pour l'âge minimal et s'étendent sans limite pour le maximum. Dans sa version d'origine (Editions Chenelière Éducation), la boîte de jeu contient 18 blocs dits « géométriques » qui sont des solides particuliers pour 16 d'entre eux, et deux autres non conventionnels :

- 4 cubes,
- 4 prismes rectangulaires,
- 4 prismes tronqués,
- 2 prismes triangulaires,
- 2 cylindres,
- 1 demi-cylindre,
- 1 pont.

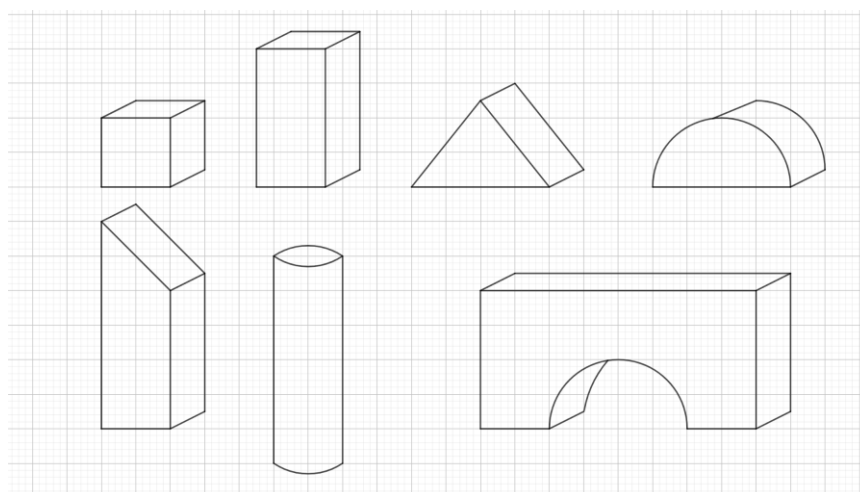


Fig. 1 : Pièces du jeu Architek

La boîte de jeu contient également 90 cartes proposant 120 problèmes répartis en 5 catégories et présentés en ordre croissant de difficulté, ainsi qu'un livret d'utilisation comportant les solutions de chaque tâche. Ces problèmes sont présentés sous forme de modèles en 2D ou en perspective à reproduire avec les pièces du jeu. Ce jeu éducatif est relativement bien connu des classes primaires en Suisse Romande et il est souvent utilisé dans un dispositif plutôt individuel. Les enseignants ont tendance à en faire une activité relativement en annexe des apprentissages mathématiques conventionnels. Tel qu'il est conçu par ses

concepteurs, les différentes catégories de tâches du jeu ont finalement pour objectif essentiel de coordonner les points de vue dans l'espace et dans le plan. Pour l'espace, on joue soit avec les objets que l'on manipule concrètement, soit avec des représentations en perspective sur les cartes, soit en coordination avec les deux. Dans le plan il s'agit plutôt d'utiliser les images présentant une ou plusieurs vues de face, de haut ou de côté sur les cartes du jeu. La progression programmée nous paraît relativement pertinente, une très nette différence existant entre les tâches faciles et les plus difficiles.

Analyse didactique des types de tâches du jeu

L'analyse qui suit est conduite en fonction des défis auxquels peuvent être confrontés les joueurs et en fonction de l'environnement matériel et symbolique dont ils disposent.

Ombres à recouvrir (série verte, ciblée pour des joueurs de 4 ans et plus)

Le recouvrement semble relever d'une simple transposition matérielle de la 2D représentée par le modèle, à la 2D matérialisée par les pièces. Il ne s'agit cependant pas d'un recouvrement simple de type puzzle. En effet, une déconstruction dimensionnelle (Duval & Godin, 2005) est nécessaire afin de déterminer quelle est la face de chaque polyèdre représentée par le modèle d'une part, avant d'orienter celle-ci de façon à pouvoir la superposer au modèle d'autre part. Le choix de la face et son orientation nécessitent de faire abstraction des autres faces du polyèdre, ce qui est une difficulté en soi. Par ailleurs, cette série se complexifie encore lorsque les lignes de démarcation entre les pièces de la carte modèle disparaissent, laissant ainsi à charge de l'élève la responsabilité de choisir la bonne pièce parmi celles qui sont proposées. Notons encore que la sélection des pièces requises, si elle est laissée à la charge de l'élève, requiert la reconnaissance de chaque pièce (3D) à partir de sa vue en perspective (2D). Sur les cartes qui ne mentionnent pas les pièces à utiliser, les possibilités sont encore démultipliées. Cela dit, l'échelle du modèle correspondant aux pièces et la superposition offrent une rétroaction qui permet de valider ou d'invalider son assemblage.

Équilibres (série orange, ciblée pour des joueurs de 4 ans et plus)

Les modèles de cette série proposent une vision de face des pièces, les lignes de démarcation permettant de déterminer quelles pièces du jeu seront nécessaires à partir d'une de leur face. Si les séries *ombres* et *réductions* autorisent un placement des pièces à l'horizontale, cette série entend que la construction doit être réalisée à la verticale. Cette consigne doit être donnée explicitement, l'enjeu étant que la construction ne s'effondre pas avant de frapper trois fois dans les mains. A moins de positionner également le modèle à la verticale, le joueur doit donc effectuer une rotation, c'est-à-dire une transposition de la position horizontale du modèle à la réalisation verticale de la composition. L'enjeu est donc à tout à la fois conceptuel et technique.

Réductions (série fuchsia, ciblée pour des joueurs de 5-6 ans et plus)

Les modèles de cette série ne comportent plus du tout de ligne de démarcation, et ils sont proposés selon une échelle inférieure à celle des pièces, ce qui interdit une rétroaction par superposition des pièces sur le modèle. En revanche, les pièces à utiliser sont mentionnées sur toutes les cartes, ce qui réduit le nombre d'options à analyser par les joueurs.

Alignements (série rouge, ciblée pour des joueurs de 5-6 ans et plus)

Les pièces à utiliser sont données sur la carte modèle. Elles doivent être posées l'une derrière l'autre de sorte que leur vue de face corresponde au modèle. Les joueurs doivent donc à la fois faire abstraction des 3 dimensions de chaque pièce afin de ne tenir compte que d'une des faces, et tenir compte des 3 dimensions pour positionner les pièces l'une derrière l'autre. Enfin, la composition en 3D doit correspondre à celle donnée en 2D par le modèle par projection.

Modèles (série bleue, ciblée pour des joueurs de 6-7 ans et plus)

Les pièces sont données et le modèle est proposé en perspective. Bien que la vision en perspective doive s'acquérir, considérer que ce niveau est plus difficile que les précédents en le proposant pour des enfants

plus âgés nous paraît discutable, dans la mesure où le modèle en perspective offre une forme de perception des différentes faces que l'on identifie également dans la construction 3D. Ces faces ne sont pas du tout mentionnées dans les séries précédentes, ce qui pourrait confronter les joueurs à une difficulté supplémentaire par rapport à celle des modèles.

La version commerciale du jeu propose donc des tâches qui relèvent du micro-espace : en effet, la taille des pièces limite l'espace de manipulation à la taille du bureau des élèves sans nécessiter de déplacement.

ARCHITEK DANS LE MESO-ESPACE

Architek géant : pour quelles raisons ?

Au-delà des tâches diversifiées proposées par les concepteurs, il nous a semblé intéressant d'utiliser cet environnement matériel en poursuivant des finalités didactiques quelque peu différentes en jouant sur la taille des pièces. Le jeu d'origine est conçu pour que les joueurs puissent explorer et contrôler leurs productions en restant assis, et cela en raison de la taille réduite des pièces. Un tel environnement correspond à celui du micro-espace. Or, le déplacement corporel pour adopter un autre point de vue est parfois nécessaire pour comprendre l'agencement des constructions, notamment lorsque certaines pièces sont invisibilisées par le modèle. De plus, si l'élève est mis en situation de conflit cognitif en raison de la progression des tâches, le conflit n'est jamais éprouvé dans sa dimension sociale, le jeu étant conçu pour être utilisé de manière individuelle et autonome. La dimension du jeu d'origine ne met donc pas l'élève en situation didactique de formulation. Par ailleurs, la validation n'est pas directement prise en charge par le jeu : en effet, comparer la construction au modèle peut ne pas suffire, une validation experte est dans ce cas nécessaire.

Ensuite, nous avons remarqué que, du fait de la taille très réduite des pièces, la motricité nécessaire est fine et peut poser quelques difficultés à certains élèves. Certains modèles, notamment issus de la catégorie des cartes « Equilibre », sont par ailleurs difficilement reproductibles à cette échelle pour des raisons techniques. Cette difficulté liée à l'équilibre des pièces à la verticale semble s'atténuer avec des pièces plus grandes.

D'autre part, l'augmentation de la taille induit une déconstruction dimensionnelle, à savoir que ce qui est perçu des objets est partiel : on ne perçoit plus le parallélépipède dans sa globalité, mais on en perçoit quelques faces, celles-ci étant reliées par une arête ou un sommet. Les types de relations entre les pièces sont également modifiés. Il devient nécessaire de se projeter au-delà de la position relative des pièces orientées (à gauche ou à droite de, devant, derrière, au-dessous, etc.) pour les concevoir selon des relations qui tendent vers une forme plus abstraite : il est question de symétries, de parallélisme, de perpendicularité et de rotations. Ces relations requièrent une anticipation (Perrin-Glorian & Salin, 2010) en raison de la taille des objets, alors que le jeu d'origine peut être plus facilement exploré par essais successifs. En d'autres termes, dans le meso-espace, tant les objets que leurs relations doivent être conçus avant d'être expérimentés.

Afin de créer des tâches dans le meso-espace nous avons souhaité concevoir une version agrandie des pièces du jeu en vue d'étudier son potentiel d'adaptation à la construction des connaissances spatiales et géométriques notamment adaptées à certaines difficultés d'apprentissage des élèves.

Un projet de construction en classe

Dans cette perspective, nous avons sollicité une classe à effectif réduit (9 à 12 élèves de 11 à 12 ans) afin qu'elle explore une situation mathématique originale. Après une première série de séances dédiées à l'utilisation du jeu dans sa version d'origine, nous avons lancé un projet de fabrication des pièces agrandies du jeu Architek. Il s'est déroulé sur 6 mois à raison d'une à deux périodes hebdomadaires.

Au-delà de la mobilisation des capacités transversales de communication et de collaboration, le projet a permis le développement de compétences mathématiques qui embrassent une grande partie du programme

du Plan d'Études Romand (PER) (CIIP, 2010) notamment dans le cadre de la résolution de problèmes en géométrie. En voici la liste :

- Résolution de problèmes multiplicatifs (multiplications et divisions) : situations de proportionnalité
- Mesure d'une longueur à l'aide d'une règle graduée et communication du résultat obtenu par un nombre
- Utilisation d'unités conventionnelles de longueur (mm, cm, m)
- Utilisation de la calculatrice dans des situations où l'aspect calculatoire est secondaire, pour vérifier le résultat d'un calcul ou pour effectuer des calculs complexes
- Reconnaissance, description et dénomination de figures planes (triangles, quadrilatères, cercle) selon leurs propriétés (*symétries internes, parallélisme, isométrie, etc.*)
- Construction des figures planes les plus courantes à l'aide des instruments de géométrie (règle graduée, équerre, compas, rapporteur)
- Construction de droites parallèles et perpendiculaires
- Décomposition d'une surface plane en surfaces élémentaires et recombinaison
- Reconnaissance, description et dénomination de solides (cube, parallélépipède rectangle, pyramide) selon leurs faces, sommets ou arêtes et vérification de certaines propriétés
- Construction de solides selon certains critères (*nombre ou forme des faces, type de solides, etc.*)

En rendant les élèves acteurs de la fabrication des pièces, nous avons observé un bon investissement dans la tâche. En effet, le projet a progressivement sollicité leur imagination, et permis d'y voir, pour certains, des éléments de construction de châteaux, de ponts, de canapés par exemple.

Difficultés observées lors de la construction des pièces

Nous avons constaté plusieurs difficultés spécifiques lors de la construction des pièces du jeu par les élèves. La mesure des pièces nécessitant un coefficient d'agrandissement a nécessité un étayage (Bruner, 1983) important au niveau de la signalisation des caractéristiques déterminantes, de la réduction des degrés de liberté et du maintien de l'attention sur une durée aussi importante. La taille des cartons de base fournie aux élèves (50 x 70 cm) contraignant la dimension des pièces en version agrandie, nous avons dû imposer notamment la hauteur de la pièce cylindrique (70 cm) pour que les élèves n'aient justement pas à mobiliser le coefficient d'agrandissement du cercle, mais aussi pour optimiser le carton à disposition.

Pour effectuer les tracés en grande dimension, les instruments usuels n'étant plus adaptés, les élèves ont dû mobiliser d'autres outils tels que la règle et l'équerre du tableau, la ficelle en guise de compas. Cette utilisation a nécessité un apprentissage de nouveaux schèmes avec une guidance relativement forte de l'enseignant.

Devant la difficulté de découpage et d'assemblage des pièces correspondant au pont, celle-ci a été réalisée par l'enseignant. En outre, la coopération nécessaire à ces tâches de tracé, de découpage, d'assemblage a pu par moment être mise à mal.

Le fait d'avoir coconstruit un seul jeu pour tous a cependant légitimé la collaboration dans la réalisation des tâches qui, en devenant moins individuelles, ont aussi engendré un regain de verbalisation permettant un meilleur accès à leurs connaissances construites en situation par leur enseignant.

Du micro-espace au meso-espace



Fig. 2 : Architek géant

En raison de ses grandes dimensions, les constructions effectuées à partir des cartes du jeu d'origine relèvent toutes du type de tâches nommées *réductions*. Les pièces géantes ne pouvant être directement superposées sur les cartes modèles comme dans la série *ombres*, sauf à retracer la carte modèle dans les dimensions *ad hoc* directement sur le sol avec du scotch ou de la craie. Cette modalité nécessiterait toutefois une conversion du modèle à l'échelle des pièces (situation de proportionnalité et propriétés géométriques). L'avantage des cartes *ombres* est la superposition possible des pièces directement sur le modèle, ce qui n'est pas possible avec les pièces géantes (il n'existe aucun modèle dans ces dimensions). La superposition n'est donc pas une stratégie envisageable dans le meso-espace. De plus, les pièces agrandies n'incitent pas du tout à effectuer une construction à plat, contrairement au jeu d'origine. Intuitivement, les constructions sont préférentiellement orientées à la verticale : il n'y a pas de tentative de pavage du sol à partir de pièces aussi volumineuses, sauf si l'on impose les cartes *ombres* qui ne se prêtent pas à une construction verticale pour des raisons techniques. Les tâches sont donc orientées vers ce que propose la série *équilibre* et requièrent, à moins d'afficher le modèle sur un mur, une transposition de l'horizontale à la verticale.

Par ailleurs, la reconnaissance de chacune des pièces nécessite, à hauteur d'enfant, de se déplacer pour en percevoir chacune des faces. En effet, il est plus difficile de retourner des pièces de cette dimension pour les percevoir dans leur globalité. Le fait de ne pas percevoir la globalité de la pièce et d'entraver leur retournement favorise un accès plus abstrait à la conception des pièces et de leur agencement. En ce sens, « Architek géant » peut être perçu comme un milieu plus antagoniste que celui du micro-espace, et plus porteur d'apprentissages géométriques.

En revanche, le fait de pouvoir se situer vis-à-vis de la construction, c'est-à-dire se situer soi-même « entre », « devant », « derrière », « sous » des pièces relève du repérage relatif (subjectif ou objectif), plus facile d'accès que le repérage absolu (Charnay et al. 2006). Le contexte du jeu de plateau relève du repérage relatif subjectif la position assise impliquant une orientation définie par rapport à soi. Il ne permet pas

d'éprouver autant le repérage relatif objectif que la version géante qui, de ce point de vue, peut être assimilée à un milieu de type allié (Margolinas, 1998). D'autres gestes sont mobilisés, guidés par une perception visuelle et haptique élargie : le champ de vision n'est pas restreint, il requiert le mouvement de la tête ainsi que des déplacements pour appréhender l'ensemble. Les mains sont mobilisées, mais à une échelle moins fine qu'avec les pièces d'origine, et tout le corps est investi, y compris le système vestibulaire, car l'élève se déplace. Pour paraphraser Dutriaux et Gyselinck (2016, p. 425), si la perception guide l'action, ce dispositif, en raison des possibilités d'actions qu'il génère, permet de structurer la perception de l'espace en l'incarnant d'un point de vue sensori-moteur.

Les manipulations, rendues plus difficiles par la taille des objets, nécessitent de se mettre à plusieurs, c'est-à-dire de collaborer avec les pairs. De plus, la hauteur de la construction pouvant atteindre le plafond, celle-ci implique organisation et entraide. Ainsi, cette situation est vectrice du besoin de communiquer. Il est question de se mettre d'accord sur le choix des pièces et sur leur orientation, et de convenir d'un programme de construction, notamment du fait de la verticalité de la structure. Cela implique un lexique commun, une syntaxe plus adaptée au service de significations partagées, ainsi que des compétences sociales de haut niveau lorsqu'il s'agit de défendre son propos, d'être à l'écoute de celui d'autrui et de valider ou d'invalider une proposition. Notons enfin que ces interactions verbales dépassent la simple forme d'une conversation puisqu'il s'agit dans une telle situation de mettre en commun voire de confronter les rapports individuels aux artefacts dans tout ce qu'ils ont de subjectif du fait des expériences préalables de chacun des acteurs. Dans nos différentes observations de telles situations de communication, force est de constater tout de même que le langage utilisé par les acteurs était souvent réduit au plus simplifié tant sur le plan syntaxique que lexical et parfois relativement éloigné du langage scientifique attendu.

Si l'exploration de tâches dans le meso-espace nous semble donc importante, il nous faut ici insister sur la complémentarité des deux tailles d'espace et non pas sur la recommandation d'utiliser l'un à la place de l'autre. Comme nous l'avons expérimenté dans le projet singulier présenté auparavant, ce sont les tâches conduites et l'analyse des travaux des élèves dans le micro-espace qui permettent de comprendre l'intérêt d'une exploration dans le meso-espace.

DIFFICULTÉS D'APPRENTISSAGE ET FORMATION DES ENSEIGNANTS

Ce que nous appelons difficultés d'apprentissage en mathématiques (Dias, 2018) se manifeste de manière diverse, mais reste provisoire et contextuel. Celles-ci peuvent avoir des origines épistémologiques, c'est-à-dire qu'elles relèvent de la construction des connaissances spécifiques en soi. Dans le cadre du jeu Architek, nous avons évoqué la difficulté liée à la déconstruction dimensionnelle des pièces, soit le choix d'une des faces en faisant abstraction de toutes les autres. Il est question de transposition entre 2D et 3D (et inversement) lorsque le modèle présente une projection qu'il s'agit de reformer avec des solides. La représentation en perspective est une difficulté en soi, le passage de l'horizontalité à la verticalité en est une autre. Les difficultés peuvent en outre être propres à l'élève. Par exemple, des expériences négatives et répétées dans des situations d'apprentissages mathématiques peuvent avoir engendré un rapport problématique à la discipline des mathématiques, ce qui pourrait générer une réticence à entrer dans la tâche ou à prendre le risque de se tromper. Enfin, le choix des situations d'apprentissage et de leur chronologie peut aussi générer des difficultés d'origine didactique. Par exemple, les situations d'apprentissage concernant des figures dans l'espace comme les solides sont souvent proposées a posteriori de tâches sur les figures planes, alors que l'espace naturel des premières expériences sensori-motrices, l'espace pratique d'action (Piaget & Inhelder, 1948) est tridimensionnel, et que les jeux de construction destinés aux jeunes enfants sont faits de solides à assembler.

Ces quelques exemples donnent un aperçu de la multiplicité des difficultés possibles, mais aussi de leur caractéristique « provisoire et contextuelle » (Dias, 2018, p. 63). Cela signifie qu'un environnement d'apprentissage adéquat peut permettre aux élèves de dépasser les difficultés qu'ils rencontrent. L'enjeu du choix de cet environnement et de ses composantes matérielles, temporelles, interactionnelles en vue d'apprentissages mathématiques ajustés aux ressources et besoins des élèves est donc crucial, tout particulièrement en ce qui concerne la formation des enseignants spécialisés, ceux-ci devant traiter tant des

difficultés d'apprentissage que de troubles plus spécifiques qu'il s'agit de compenser. Il va de soi que la formation des enseignants de classes dites « ordinaires » intégrerait elle aussi avec de nombreux bénéfices de telles situations permettant d'explorer les rapports entre les tailles d'espace.

Expérimentation en formation initiale des enseignants

A partir du jeu Architek, nous avons proposé un dispositif de formation à des étudiants de 3e année en enseignement spécialisé. Ceux-ci bénéficient, à la suite de trois cours d'introduction sur la géométrie, d'un approfondissement des contenus dans une perspective plus pragmatique en séminaire. Ceci permet à la fois de prendre conscience des difficultés d'apprentissage relatives à la construction des connaissances spatiales, et d'éprouver ce que l'on peut appeler raisonnablement une adaptation grâce au passage dans le meso-espace.

C'est dans ce contexte que des étudiants ont découvert la version originale du jeu Architek (micro-espace), ainsi que la version géante durant un séminaire d'une heure trente, avec pour objectifs :

- d'explorer les changements de taille d'espace pour un même jeu
- d'analyser et de comparer les différents types de tâches fondées sur des cartes de couleur
- d'identifier les enjeux d'apprentissage pour les élèves
- de proposer des adaptations en fonction de certaines difficultés d'élèves

Pour permettre aux étudiants d'expérimenter et de se projeter non seulement en termes de difficulté, mais aussi en fonction d'un trouble, nous avons choisi de les mettre en situation de handicap en simulant une dyspraxie, certes de manière quelque peu caricaturale et partielle. Pour cela, nous avons proposé d'utiliser des gants, tant pour la manipulation des pièces dans leur version d'origine que dans la version agrandie. Ainsi, il était possible de tester le jeu en situation ordinaire, et également en situation de contrainte motrice.

La mise en œuvre s'est déroulée en trois temps :

- 1) Découverte et analyse du jeu Architek dans sa version de base par petits groupes de 3 à 4 personnes
- 2) Exploration du jeu Architek dans sa version géante
- 3) Comparaison des deux versions : avantages et inconvénients, éventuelles propositions d'adaptations en lien avec la dyspraxie

Afin de guider ce travail, les étudiants disposent de fiches d'information de la CIIP (2021) au sujet de la dyspraxie ainsi que d'un site informatif. Ils disposent du jeu, des notices et des modèles à reproduire ainsi que d'un document collaboratif qui oriente leurs actions et leurs réflexions. Ils remplissent celui-ci au fur et à mesure de leurs découvertes.

Il leur est demandé premièrement de réaliser des tâches à partir des fiches de différentes couleurs, afin de pouvoir les comparer et éventuellement les hiérarchiser selon leur degré de complexité.

Deuxièmement, les étudiants sont amenés à repérer les objectifs d'apprentissage en appui sur le Plan d'Étude Romand (PER) en fonction des différentes cartes modèles. Puis ils sont invités à comparer les milieux en fonction du changement de taille d'espace, d'identifier les avantages et les limites de chacun en se focalisant sur les aspects mathématiques, perceptifs, sociaux et sur ceux liés aux troubles moteurs.

En dernier lieu, il leur est proposé de se prononcer sur l'environnement qu'ils privilégieraient auprès de leurs élèves de l'enseignement spécialisé et avec quelles adaptations éventuelles.

Une confirmation en situation de formation

Un certain nombre d'observations effectuées auprès des élèves ont été reconduites par les étudiants au Master en enseignement spécialisé lors d'une situation de formation.

Tout d'abord, les étudiants relèvent l'attrait que comporte le matériel en grande dimension, son aspect ludique qui permet de s'engager dans la tâche et de prendre des risques, ceux-ci étant partagés par la nécessité de collaborer avec les pairs. En effet, les dimensions des pièces rendent la construction très

difficile à exécuter seul. La coopération devient donc un enjeu pour la réalisation. Celle-ci requiert une communication effective entre les participants qui, pour se comprendre, ont besoin de convoquer un vocabulaire commun suffisamment précis et d'une syntaxe compréhensible par tous. C'est l'occasion de développer un lexique permettant la désignation des solides, de ses différentes faces, voire des propriétés si l'on ne parvient pas à nommer un polyèdre irrégulier. La dimension syntaxique, quant à elle, s'opérationnalise par le recours aux relations spatiales telles que « dessus », « dessous », « à côté », « droite », « derrière », éprouvées dans leurs dimensions tant sensori-motrices que topologiques (Piaget & Inhelder, 1948). La version géante du jeu permet naturellement à l'acteur de se situer par rapport aux éléments, et de situer les éléments par rapport à lui parce qu'il est amené à se déplacer, à se positionner lui-même dessous, devant (...) la construction. La version du jeu dans le micro-espace relève de motricité plus fine, et de relations plus directement projectives, à savoir que les éléments sont plus directement situés entre eux, ce qui relève de difficultés supplémentaires. Il est noté que la version géante modifie la gestion motrice pour des élèves dyspraxiques, d'une part parce que la motricité en jeu est plus globale dans ce contexte, parce qu'il est possible de manipuler les pièces à plusieurs de façon naturelle sans que cela relève d'un étayage spécifique, et d'autre part parce que la mise en mots permettrait, in fine, la conceptualisation mathématique au-delà des entraves gestuelles.

Le point de vue adopté dans le meso-espace implique de fait une déconstruction dimensionnelle, car la perception de chaque pièce est moins globale : il n'est pas forcément possible de la percevoir d'un seul coup d'œil, contrairement à la version originale des pièces. Il s'agit donc potentiellement plutôt de reconstruction dimensionnelle avec la version géante de chaque pièce, ce qui amène à une dialectique de conceptualisation différente à l'objet : reconnaître une pièce du jeu de plateau requiert de passer de sa perception globale à la perception de chacune de ses parties et de leur agencement, tandis que reconnaître une pièce géante requiert le passage de la perception de chacune des parties, de leur agencement, à une conception globale du solide. Notons qu'il s'agit ici déjà de conception plus que de perception, car la pièce en version géante est moins identifiable d'un point de vue syncrétique en raison de sa taille.

Par ailleurs, la construction collaborative requiert une planification explicite de la part des protagonistes, c'est-à-dire que celle-ci est au moins partiellement conscientisée par la mise en mots, contrairement à la construction sur table qui peut se jouer seul, sans verbalisation et sans nécessité de coordination avec autrui. La construction à partir du modèle peut dans ce cas relever d'une procédure par tâtonnement.

Finalement, la dimension inclusive du dispositif est relevée par les étudiants, d'une part en raison de la progression proposée qui offre des défis à tous niveaux de scolarité obligatoire, d'autre part en raison des différents rôles qu'il est possible d'attribuer en raison de la dimension collaborative de la version géante : un élève qui serait peu à l'aise avec la mise en mots pourrait prendre le rôle de « maçon », l'élève peu à l'aise avec le déplacement des pièces pourrait prendre le rôle de « chef de chantier » qui dirige les actions de ses camarades, ou de « contrôleur des travaux ». L'enjeu est d'attribuer un rôle adapté aux ressources de chaque élève, en s'assurant que les apprentissages relatifs aux connaissances spatiales, voire aux connaissances géométriques, soient à portée de chacun.

PROLONGEMENT ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons souligné la complémentarité du micro-espace et du meso-espace en vue d'améliorer les apprentissages spatiaux et géométriques des élèves. Nous avons constaté que le rapport aux objets est plus directement relatif aux positions et déplacements de l'individu dans le meso-espace. En revanche, le retournement et le déplacement des pièces est facilité dans le micro-espace, une démarche de type essai-erreur y est donc privilégiée.

À l'issue de cette expérimentation singulière, nous avons également relevé que l'appréhension des objets (des solides dans notre expérience) et de leurs relations diffère selon ces deux tailles d'espace. Du fait de l'environnement matériel qu'il propose, le meso-espace permet une meilleure appréhension des éléments constitutifs des solides (côtés, sommets et arêtes) et de leurs relations (perpendicularité, parallélisme, symétries).

Selon nous, une alternance entre l'exploration du jeu Architek dans le micro-espace et le meso-espace est à privilégier pour les enseignants qui souhaitent utiliser ce jeu. D'autres jeux de construction peuvent d'ailleurs être utilisés dans cette même perspective didactique : le jeu « Schattenbauspiel », le « Structuro », le cube Soma en sont des exemples.²

Les observations menées auprès des élèves et des futurs enseignants ont en outre soulevé la question de l'adaptation des deux tailles d'espace et de leur pertinence en regard des besoins plus spécifiques aux élèves. En effet, des difficultés de type praxiques, motrices ou cognitives ne trouvent pas systématiquement de réponse dans une taille d'espace ou dans l'autre de manière exclusive. Cet aspect mériterait ainsi d'être investigué dans une visée comparative entre les deux échelles d'une part, et entre plusieurs difficultés spécifiques, comme la dyspraxie, la déficience visuelle ou intellectuelle d'autre part.

BIBLIOGRAPHIE

- Anghileri, J. (2006). Scaffolding practices that enhance mathematics learning. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 9, 33-52.
- Berthelot, R. & Salin, M. H. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire* [Thèse de doctorat, Université Sciences et Technologies-Bordeaux I]. <https://theses.hal.science/tel-00414065>
- Berthelot, R. & Salin, M.-H. (1999). L'enseignement de l'espace à l'école élémentaire. *Grand N*, 65, 37-59.
- Bloch, I., & Salin, M. H. (2004). Espace et géométrie : Géométrie dans le meso-espace à l'école primaire et au début du collège. Dans *Actes du 30e Colloque de la COPIRELEM Avignon 2000* (pp. 293-306).
- Brousseau G. (2000). Les propriétés didactiques de la géométrie élémentaire. L'étude de l'espace et de la géométrie. Dans *Séminaire de Didactique des Mathématiques*, Rethymnon 2000.
- Bruner, J. S. (1983). Le rôle de l'interaction de tutelle dans la résolution de problème. Dans *Le développement de l'enfant*. PUF (Ed.) (pp. 261-280). PUF.
- Charnay, R. & Douaire, J. (2006). *Ermel-Apprentissages Géométriques et résolution de problèmes au cycle 3*. Hatier.
- Conférence intercantonale de l'instruction publique (2010). *Mathématiques et Sciences de la nature (cycle 2). Plan d'études romand*. CIIP.
https://www.planetudes.ch/documents/10273/36907/PER_print_FG_C1_CommentGeneraux.pdf
- Conférence intercantonale de l'instruction publique (2021). *Fiche d'information sur la dyspraxie à l'école régulière (version complète)*. CIIP.
<https://www.ciip.ch/Activites/Pedagogie-specialisee/Fiches-pedagogiques>
- Deruaz, M., Dias, T., Gardes, M.-L., Gregorio, F., Ouvrier-Bufferet, C., Peteers, F. & Robotti, E. (2020). Exploring MLD in mathematics education: Ten years of research. *The Journal of Mathematical Behavior*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2020.100807>.
- Dias, T. (2018). *Enseigner les mathématiques à l'école*. Magnard.
- Dias, T. & Serment, J. (2016). Formation à la géométrie dans l'espace par la construction de polyèdres. Dans E. Petitfour (Eds.), *Actes du XXXXIII colloque COPIRELEM*.
<http://hdl.handle.net/20.500.12162/2890>
- Dias, T. & Serment, J. (2020). Faire de la géométrie en grand. *Au fil des maths*, 535, 37-41.
<http://hdl.handle.net/20.500.12162/3859>

² Schattenbauspiel (Dusyma) ; Structuro (Nathan)

- Dutriaux, L. & Gyselinck, V. (2016). Cognition incarnée : Un point de vue sur les représentations spatiales. *L'Année Psychologique*, 116(3), 419–465. <https://doi.org/10.4074/S0003503316000373>
- Duval, R. & Godin, M. (2005). Les changements de regards nécessaires sur les figures. *Grand N*, 76, 97-126. https://irem.univ-grenoble-alpes.fr/medias/fichier/76n2_1554801689010-pdf
- Gibel, P. & Blanquart-Henry, S. (2017). Favoriser l'appropriation des propriétés géométriques des quadrilatères à l'école primaire : étude d'une situation d'apprentissage dans le meso-espace. *Revue des Sciences de l'Education*, 43(1), 37–84. <https://www.erudit.org/fr/revues/rse/2017-v43-n1-rse03267/1042074ar/>
- Margolinas, C. (1998). Le milieu et le contrat, concepts pour la construction et l'analyse de situations d'enseignement. Dans *Université d'été de La Rochelle* (pp. 3-16). IREM de Clermont-Ferrand.
- Núñez, R.E., Edwards, L.D. & Filipe Matos, J. (1999). Embodied cognition as grounding for situatedness and context in mathematics education. *Educational Studies in Mathematics* 39, 45–65.
- Perrin-Glorian, M. J. & Salin, M. H. (2010). Didactique de la géométrie. Peut-on commencer à faire le point ? Dans L. Coulange & C. Hache (dir.). *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques-Année 2009* (pp. 47-82). IREM de Paris. <http://docs.irem.univ-paris-diderot.fr/up/publications/AAR10001.pdf>
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1948). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. PUF.