

# ENVIRONNEMENTS VIRTUELS POUR LE DÉVELOPPEMENT DE CONNAISSANCES SPATIALES

Sylvia Coutat

Université de Genève

Berthelot et Salin (1992) ont défini les connaissances spatiales comme les connaissances qui « permettent à chacun de maîtriser l'anticipation des effets de ses actions sur l'espace, leur contrôle, ainsi que la communication d'informations spatiales » (p.9). Les travaux en psychologie utilisent le terme d'habiletés spatiales qui englobe les capacités d'un individu à représenter et manipuler mentalement les informations visuelles perçues, tout en intégrant les relations spatiales entre les éléments d'information (Carroll, 1993). Berthelot et Salin (1992) ont proposé diverses situations qui visent l'apprentissage de ces connaissances spatiales. Ces situations utilisent les différents espaces de travail définis par Brousseau (1983) : micro, méso et macro-espace. Les situations du macro-espace sont en général simulées car les activités dans des grands espaces sont peu envisageables à l'école. Cependant aujourd'hui la réalité virtuelle pourrait donner accès à un macro-espace simulé, et de nouvelles ambitions pourraient être envisagées. Dans cette communication nous présentons une recherche<sup>1</sup> en cours en collaboration avec Roland Maurer (spécialiste en orientation spatiale), Mireille Bétrancourt (spécialiste des technologies numériques en situation d'apprentissage), Jean-Luc Dorier (spécialiste en didactique des mathématiques) et Sandra Berney (psychologue) qui interroge les potentiels et les limites de l'utilisation d'un macro-espace virtuel pour la construction de connaissances spatiales. Une première étape de cette recherche s'appuie sur une séquence d'enseignement testée dans 3 classes (7 ans à 10 ans) dont nous présenterons quelques résultats d'analyses et perspectives.

## ÉLÉMENTS THÉORIQUES

Notre approche s'appuie à la fois sur une entrée didactique et psychologique. Pour cela nous reprenons tout d'abord quelques travaux en didactique puis en psychologie cognitive pour terminer avec les études majeures autour des introductions d'outils technologiques en classes en lien avec l'orientation spatiale.

### Les apports didactiques

Lorsque l'on parle *Espace* (selon le Plan d'Etude Romand) on pense aux figures, solides et propriétés géométriques. Cependant dans ce domaine se glissent aussi les apprentissages en lien avec le *repérage spatial*. Selon Berthelot et Salin (1993) les problèmes dits spatiaux sont liés à des actions ou des communications autour de déplacements, fabrications ou dessins de l'espace sensible. Ainsi, ces connaissances se retrouvent dans d'autres disciplines comme la géographie ou le sport. Selon Soury-Lavergne et Maschietto (2015) qui reprennent les travaux de Clairault (1741) on peut distinguer le champ spatial du champ géométrique, chacun possédant ses propres problèmes. Alors que le champ spatial utilise l'espace, le mouvement et la perception, le champ géométrique fonctionne à partir des propriétés géométriques et d'une validation théorique basée sur les démonstrations. Les dessins comme objets du monde sensible appartiennent au champ spatial, pourtant ils sont souvent utilisés dans le champ géométrique comme représentants des figures géométriques (Laborde, 2004). Cette double appartenance leur apporte un double statut qui n'est pas toujours saisi par les élèves. En effet, dans le champ spatial les dessins peuvent être support de la réflexion alors que dans le champ géométrique ils deviennent outil d'aide mais non suffisant pour la

---

<sup>1</sup> Cette recherche s'est effectuée dans le cadre du projet financé par le Fonds national suisse de la recherche scientifique– FNS (Subside no100019\_188947 / 1) : « Rethinking the links between spatial knowledge and geometry in primary education through virtual environments ».

démonstration. Dans le champ géométrique les dessins donnent accès à certaines propriétés des figures représentées. Pour accéder à ces propriétés il est nécessaire de mobiliser la déconstruction dimensionnelle proposée par Duval (1994). Ainsi les droites qui composent les dessins doivent être distinguées des formes globales représentées, par exemple, distinguer dans le carré ce qui est de l'ordre de sa surface avec son contour et ce qui est de l'ordre des côtés et des sommets. Les propriétés géométriques du carré concernent des relations entre ses côtés et non sa surface. Il est aussi possible de dessiner un carré sans vouloir utiliser ses propriétés, lorsqu'on dessine une maison par exemple, c'est plutôt la forme globale du carré qui peut être visée. Un même dessin peut renvoyer aux deux champs. Le dessin peut devenir un outil d'articulation lorsqu'il est consciemment utilisé comme représentant d'une figure avec les biais que toute représentation implique. Cependant si le dessin est confondu avec la figure qu'il représente, alors toutes les configurations particulières visibles, et uniquement celles-ci, sont associées à la figure. Dans ce deuxième cas, le dessin devient un objet de tension entre les deux champs. Si on trace une droite sur une feuille, ce dessin ne peut être qu'une représentation de la figure géométrique : en effet une droite est de dimension 1 et le crayon implique nécessairement une certaine épaisseur. De plus, le dessin de la droite n'est pas infini, il se limite à la feuille de papier. On retrouve les contraintes du dessin dans le champ géométrique, les dessins ne sont que des représentations des figures géométriques (objets idéaux de la géométrie théorique). Les dessins sont en général dans l'espace de la feuille de papier et donc réduits ou limités. Cet espace de papier est aussi désigné comme le micro-espace par Berthelot et Salin (1999). Un espace plus grand est le méso-espace, espace qu'il est possible de percevoir d'un seul regard en tournant éventuellement la tête. Enfin un dernier espace est le macro-espace qui nécessite des mémorisations et recollements tel un quartier ou une ville. Montello (1993) ajoute un quatrième espace (espace géographique) encore plus grand qui ne peut être visualisé que par des plans comme des pays ou la Terre et l'univers. Selon Wang (2014), chacun de ces espaces implique des compétences spécifiques mais partage certains objets avec les autres espaces comme par exemple les dessins qui eux-mêmes appartiennent à la fois au champ géométrique et au champ spatial. Berthelot et Salin (1992) ont soulevé la pertinence d'un travail dans le macro-espace pour l'acquisition de connaissances spatiales et géométriques. Cependant l'accès à ce macro-espace est difficile dans un contexte scolaire, il est souvent simulé par des artifices de la situation (exemple la situation des enveloppes Berthelot et Salin (1999)).

Selon Berthelot et Salin (1993) « chaque enfant possède des connaissances spatiales avant même que l'on se propose de lui apprendre des connaissances de géométrie » (p.40). En classe, la distinction n'est pas toujours évidente entre les connaissances spatiales et les connaissances géométriques. Les connaissances géométriques sont un objectif d'enseignement, visible dans les programmes et manuels scolaires. Elles renvoient entre autres aux caractéristiques et aux propriétés des figures géométriques. Les connaissances spatiales apparaissent dans les tâches de l'espace sensible à travers l'étude des relations spatiales entre les objets. Pourtant des liaisons indispensables entre les deux types de connaissances ne sont pas vraiment explicites. Selon Soury-Lavergne et Maschietto (2015), l'acquisition de connaissances spatiales est une première étape vers l'acquisition de connaissances géométriques. Dans la géométrie des solides, le travail autour des patrons de solides est une articulation entre le champ spatial et le champ géométrique. En effet l'élève doit agir sur l'une des représentations pour obtenir la seconde. Dias et Serment (2017) utilisent des solides géants pour travailler les sections de cubes. Dans cette tâche les solides dépassent l'espace de la feuille et les élèves peuvent entrer à l'intérieur. Ainsi ils parviennent à mobiliser le méso-espace et les élèves s'appuient sur leur relation à l'espace pour développer des connaissances géométriques. Les situations développées par Dornier et Coqueret (2009) ou Masselot et Zin (2008) visent l'acquisition de connaissances spatiales à travers des situations de repérage dans l'espace. Ces situations mettent le corps au centre de la tâche dans le méso-espace. Alors que les liens entre les connaissances spatiales et les connaissances géométriques apparaissent dans l'étude des solides, ici les conséquences sur les connaissances géométriques sont plus difficilement identifiables. Pourtant des liens existent. Les études en psychologie (Buckley, Seery & Canty, 2019 ; Newcombe, 2016 ; Wai, Lubinski & Benbow, 2009) montrent certaines corrélations entre de fortes aptitudes spatiales et des réussites dans les STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics). Afin d'identifier plus finement ces liens entre spatial et géométrique, la partie suivante s'intéresse à une approche psychologique des connaissances spatiales.

## Les apports en psychologie cognitive pour l'orientation spatiale

Selon Piaget et Inhelder (1972) pour comprendre l'espace il faut pouvoir se le représenter. Ainsi l'enfant développe ses premiers apprentissages du corps par ses interactions avec l'espace, ses mouvements. Cela l'amène à l'apprentissage des premières propriétés en acte. Cette première appréhension sensorielle de l'espace évolue à travers différents stades de développement pour aboutir à un espace représenté. Jusqu'à 6 ans l'enfant ne peut conceptualiser que son propre point de vue. Par exemple le test des trois montagnes de Piaget indique que face à un paysage, l'enfant ne parvient pas à concevoir que certaines parties du paysage seront visibles selon la position de l'observateur et le point de vue qui en découle. Cela peut aussi être illustré lors d'une partie de cache-cache où les enfants se cachent les yeux pour ne pas voir les autres sans concevoir qu'ils peuvent être vus. A partir de 6 ans, les enfants deviennent capables de concevoir des points de vue différents d'un même objet. Les objets ne sont plus identifiés uniquement selon lui-même mais selon son environnement. A cet âge l'enfant commence aussi à concevoir l'espace comme un plan. C'est à partir de 11 ans que l'espace est finalement conceptualisé indépendamment du sujet et selon un système de référence stable (Piaget & Inhelder, 1972). Des habiletés spatiales doivent être développées par les enfants mais les processus et facteurs qui agissent sur ce développement ne sont pas encore partagés par tous les chercheurs en psychologie cognitive. Carroll (1993) définit les habiletés spatiales comme les habiletés ou processus cognitifs nécessaires au traitement d'informations visuelles ou spatiales. Elles renvoient aux capacités de chacun à se représenter mentalement, transformer et manipuler des informations visuelles perçues souvent en 3 dimensions. Ces capacités sont liées à plusieurs facteurs. Il n'existe pas de consensus autour du nombre de ces facteurs, mais les principaux définis par Carroll (1993) sont la visualisation spatiale, l'orientation spatiale, la rotation mentale, et la navigation spatiale. La visualisation spatiale est l'habileté à appréhender, encoder (transformer le message visuel en message cognitif) et manipuler mentalement les formes spatiales. L'orientation spatiale est définie par McGee (1979) comme la capacité à imaginer les objets selon différents points de vue. La rotation mentale est impliquée dans les rotations d'objets du plan. Finalement la navigation spatiale implique le mouvement (réel ou virtuel) du sujet. Elle s'appuie sur l'habileté à se localiser et se déplacer dans un espace en s'appuyant sur la perception et la compréhension de l'organisation de cet espace. Selon Tolman (1948), la navigation spatiale utilise une carte cognitive qui est une représentation mentale de l'organisation de l'espace dans lequel on se trouve. Les cadres de références soutiennent les différentes représentations des informations spatiales. Selon Bell (2002), ces cadres de référence apportent une structuration des informations spatiales et contribuent au développement des connaissances spatiales. Deux cadres de référence peuvent être convoqués. Le premier, que l'enfant se construit est le cadre de référence égocentrique, il se base sur le point de vue du sujet et est dépendant de sa perspective et orientation. Les objets peuvent rapidement être localisés selon s'ils sont devant, derrière, à gauche, à droite, au-dessus ou au-dessous du sujet. Le cadre de référence allocentré utilise un système de coordonnées implicites, indépendant de l'observateur et de l'emplacement des objets.

## Les apports technologiques dans l'enseignement relatif à l'orientation spatiale

Les technologies entourent notre quotidien ainsi que celui des enfants. Les premiers travaux en sciences de l'éducation autour de l'orientation spatiale remontent au programme LOGO dans les années 1970. Avec le développement des sciences et techniques ils n'ont fait que croître. L'articulation entre connaissances spatiales et connaissances géométriques apparaît à travers l'utilisation des logiciels de géométrie dynamiques comme par exemple Cabri-Géomètre. Plus récemment des séquences didactiques impliquant des technologies pour le développement de connaissances spatiales émergent. On trouvera l'utilisation du logiciel Scratch dans les grands degrés (Billy *et al.*, 2017). Pour les petits degrés, certains chercheurs ont pu expérimenter des mini-robots comme les Bee-bot (Berrouiller & Eysseric, 2019). Ces divers apports technologiques permettent aux élèves d'interagir dans un espace sensible afin de développer des connaissances spatiales communes à la classe. Bien que très attractives pour les élèves, ces technologies ne sont pas de simples jeux (même s'ils en ont l'apparence) et leur utilisation en classe s'accompagne de situations de communication. Ces dernières ont pour but de compléter des situations d'action par une

formalisation des connaissances. Dans leurs travaux autour du repérage spatial, Rabatel et Martinez (2018) s'intéressent notamment à cette formalisation par l'étude de la production des traces écrites dans la construction des connaissances spatiales. Dans sa thèse Duroisin (2015) a utilisé des villes virtuelles pour analyser le développement de connaissances spatiales chez les élèves de 6 à 15 ans. Pour cela elle a utilisé des tâches de reproduction d'itinéraires dans des villes européennes (routes irrégulières, intersections à plus de deux routes : une ou plusieurs à gauche et une ou plusieurs à droite) ou américaines (environnement régulier et intersections de deux routes : une à droite, une devant, une à gauche). Elle identifie des stratégies différentes selon le type de ville et les différents indicateurs (servant de points de repère par exemple). Par exemple, pour des parcours à reproduire dans des villes européennes la stratégie la plus utilisée met en relation des mouvements et des éléments de l'environnement (tourner à droite après la boulangerie). Dans les villes américaines les stratégies utilisées relèvent plutôt du comptage (prendre la deuxième à droite). Ainsi, si on veut agir sur des connaissances spatiales, les villes européennes, semblent plus adaptées. Finalement, elle soulève la présence très discrète du travail sur les connaissances spatiales dans les classes et dans les évaluations. Selon elle, les technologies ne peuvent qu'être des atouts supplémentaires pour « exercer des habiletés spatiales comme la visualisation et le changement de perspectives qui, comme cela a été mis en évidence dans ce travail, posent de nombreux problèmes aux élèves. » (Duroisin, 2015, p.437).

### Habiletés spatiales et technologie quels potentiels pour la classe ?

En complément de ces différentes approches, il s'agit maintenant de s'interroger sur les potentiels apports de la technologie pour l'apprentissage et le développement d'habiletés spatiales en contexte scolaire. Tout d'abord, certains chevauchements entre la psychologie cognitive et la didactique semblent envisageables. En effet, le concept de cadres de référence utilisé en psychologie (allocentré et égocentré) peut être rapproché des systèmes de référence utilisés en didactique des mathématiques ; le repérage relatif qui prend en compte le point de vue du sujet, peut être rapproché du cadre de référence égocentré. Le repère subjectif qui utilise des repères indépendants du sujet et le repère absolu qui est dans l'environnement mais indépendant du sujet et des objets qui le composent peuvent être associés au repère allocentré. Ainsi des liens sont à faire entre les apports didactiques et psychologiques. Berthelot et Salin (1992) pointent le manque de situations du macro-espace dans l'enseignement. Les technologies peuvent permettre l'accès à un macro-espace simulé à travers les environnements virtuels. En effet, dans un environnement virtuel il est possible de créer un macro-espace selon des objectifs en ayant le contrôle des différentes variables de l'environnement. Ainsi la conception de situations mettant en œuvre des connaissances spatiales spécifiques semble envisageable. Cela nous amène à nous interroger sur le potentiel didactique des environnements virtuels utilisant des cadres de référence divers. Nous souhaitons étudier dans quelle mesure un travail autour des cadres de référence (référentiels) et l'articulation de différents espaces, en particulier le macro-espace (simulé) et le micro-espace, peut agir sur l'acquisition de connaissances spatiales. Afin d'obtenir des éléments de réponse, nous avons construit une séquence d'enseignement impliquant l'utilisation d'un environnement virtuel. Cette séquence a été menée dans une école de Genève classée zone d'éducation prioritaire. Trois classes de différents degrés ont été impliquées, une classe de 4H (élèves de 7-8 ans) une classe de 5H (élève de 8-9 ans) et une classe de 6H (élèves de 9-10 ans).

### LA SÉQUENCE D'ENSEIGNEMENT

Toutes les séances de la séquence utilisent une ville virtuelle (Fig. 1). Cette ville contient des routes grises, des façades grises et des façades de quelques magasins (coiffeur, boucherie, cinéma, ...) que nous appelons des vitrines. Les élèves se déplacent dans la ville à l'aide des flèches directionnelles du clavier. Ils peuvent avancer ou reculer, tourner à droite ou à gauche. L'écran de l'ordinateur simule la vision d'un personnage immergé dans la ville et adopte son point de vue, il donne une perspective égocentrée de l'environnement. Cette simulation utilise un repère relatif. Parfois les élèves ont accès à toute la ville et peuvent se rendre aux frontières de celle-ci. Parfois ils n'ont accès qu'à un quartier délimité par des barrières. Pour chaque séance les élèves sont en binôme. Nous souhaitons favoriser les échanges verbaux entre les élèves et

recueillir le maximum d'informations sur leurs représentations. Parfois les élèves doivent manipuler des plans ou des supports papier. Afin de ne pas favoriser une orientation de ces supports, nous les avons découpés pour qu'ils aient une forme ronde. Ainsi les élèves peuvent tourner leur feuille librement, aucune orientation n'est proposée.



Fig. 1 : Une rue de la ville virtuelle

### Séance 1 – initiation

Lors de la première mise en situation les élèves ont accès à une partie de la ville. Ils peuvent se déplacer librement dans le quartier. Des vitrines y sont disposées. Cette première situation a pour but d'initier les élèves aux déplacements dans la ville par les flèches du clavier. Pour stimuler les élèves dans cette exploration nous leur demandons de trouver un maximum de vitrines différentes. Suite à cette exploration, un questionnaire permet de travailler la gauche, la droite, le demi-tour et quart de tour dans le contexte de la ville virtuelle.

### Séance 2 – du virtuel au réel

La deuxième séance reprend une exploration d'un quartier de la ville. Les vitrines ainsi que les barrières ne sont pas placées au même endroit que précédemment, ainsi l'élève est face à une nouvelle ville. La tâche est de reconstruire ce quartier à l'aide de cubes en bois. Les cubes vierges représentent les façades grises et les autres portent le nom de vitrines du quartier (Fig. 2).



Fig. 2 : Ensemble de cubes disponibles pour reconstruire le quartier

Cette séance a pour but de travailler une première mise en correspondance entre un cadre de référence égo-centré, utilisé lors de l'exploration de la ville dans l'environnement virtuel et un cadre de référence allocentré utilisé lors de la reconstruction du quartier avec les cubes.

### Séance 3 – lecture de plan

Lors de cette séance, les élèves ont accès uniquement à un chemin dans la ville virtuelle délimité par des barrières. Ils ont un plan succinct de ce quartier de la ville sur une feuille (Fig. 3).

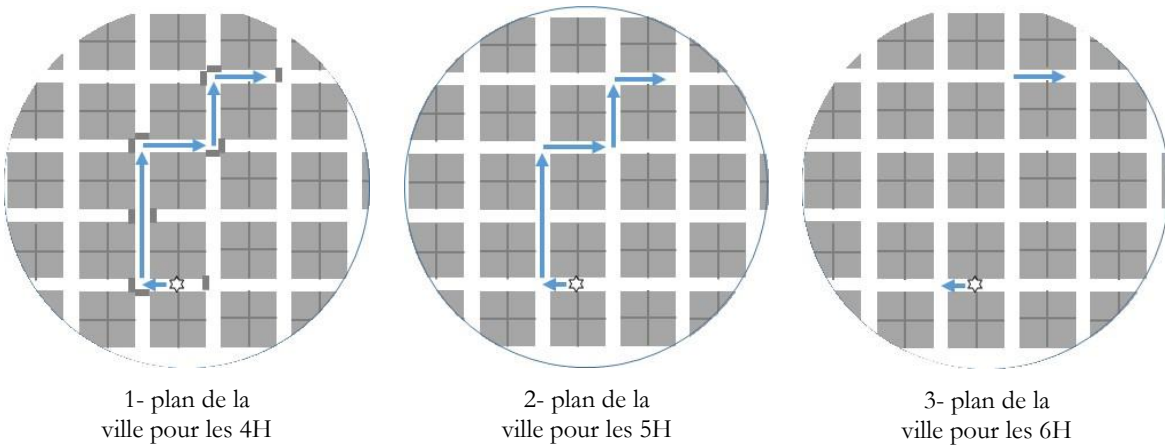


Fig. 3 : Plans selon les degrés concernés

Pour les deux premières séances les trois classes utilisent la même tâche avec la même consigne. Dans cette troisième séance, le plan proposé aux élèves diffère selon la classe. Dans la classe de 4H le point de départ est indiqué ainsi que le parcours et les barrières qui contraignent le déplacement. Dans la classe de 5H les barrières ne sont plus représentées. Finalement dans la classe de 6H seuls le départ et l'arrivée sont visibles sur le plan. Ces personnalisations visent une adaptation de la tâche selon les degrés. Afin que les élèves les plus jeunes (4H) parviennent à articuler le cadre de référence allocentré du plan avec le cadre de référence égocentré de la ville virtuelle, un maximum d'éléments utiles à l'exploration du quartier sont représentés sur le plan. Ainsi les déplacements peuvent être anticipés à l'aide du plan, tout comme les zones inaccessibles. A l'opposé pour les élèves les plus âgés (6H) le plan est épuré, la mise en correspondance entre le plan et la ville virtuelle est à la charge de l'élève tout au long du déplacement, l'anticipation de ce déplacement n'est plus possible.

Dans cette séance, les élèves doivent placer les gommettes qui mentionnent les vitrines au bon endroit sur le plan le long du parcours (Fig. 4).

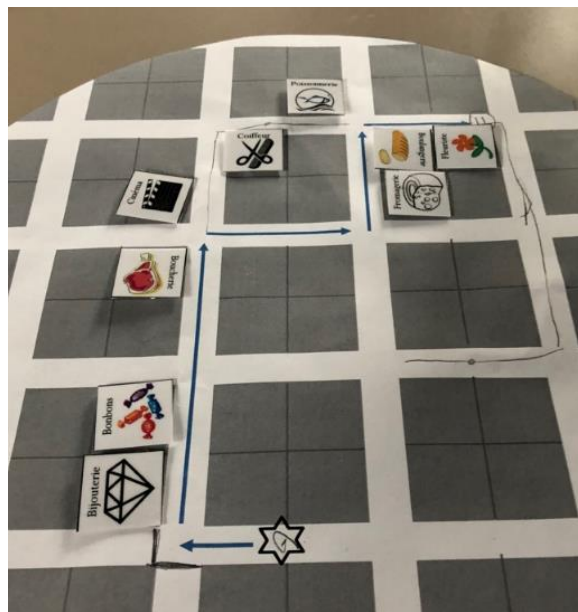


Fig. 4 : Gommettes positionnées sur le plan

## Séance 4 – une chasse au trésor

Dans la dernière séance les élèves ont accès à toute la ville, les barrières qui contraignaient l'exploration ont disparu. Ils ont un plan simplifié de la ville à leur disposition avec un parcours dessiné (Fig. 5). L'objectif de la tâche est de réaliser le parcours dans la ville virtuelle et de trouver quel objet est au bout du parcours.

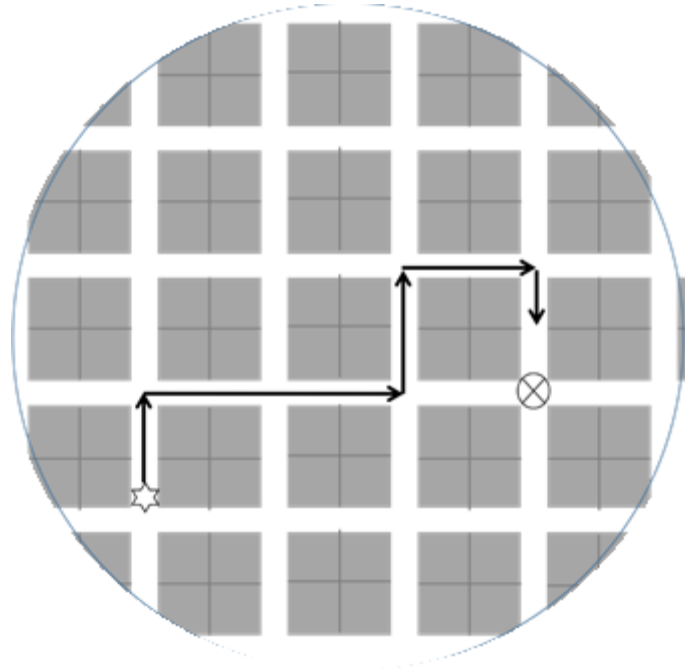


Fig. 5 : Plan du parcours dans la séance 4

Dans cette tâche les élèves doivent articuler les deux environnements avec peu d'éléments sur le plan (aucune vitrine reportée sur le plan) et aucune indication directionnelle dans la ville virtuelle.

### QUELQUES ÉLÉMENTS D'ANALYSE

#### Remarques générales

Bien que les élèves de 4HI soient ceux qui ont rencontré le plus de difficultés, certaines difficultés se retrouvent dans les trois classes. Nous en présentons quelques-unes.

Lors de la séance 1 les rappels autour de la gauche, la droite ainsi que le demi-tour et le quart de tour sont les bienvenus pour tous. L'objectif était de faire prendre conscience des rotations liées aux déplacements dans la ville virtuelle mais la terminologie reste fragile dans tous les degrés. Dans les séances suivantes, certains élèves font l'économie des rotations et ne font pas de demi-tour mais se déplacent à reculons. Ce déplacement, bien que très peu utilisé dans la vie réelle, est très accessible et économique dans la ville virtuelle car il permet de conserver à l'identique l'environnement extérieur. En effet si on fait un demi-tour, tout ce qui se trouvait à droite se retrouve à gauche après le demi-tour. Il s'agit alors d'adapter sa carte cognitive à la nouvelle orientation.

Une autre difficulté est liée à la modélisation de la ville. Certains élèves ne semblent pas prendre en compte que les magasins sont tous à un angle et possèdent donc 2 vitrines, chacune étant dans une rue différente. Cette difficulté provient certainement de la vision « grand angle » choisie dans la modélisation de la ville qui « aplatit » les angles dans les intersections.

La séance 2 semble être la plus intéressante, voici quelques éléments d'analyse.

## Séance 2 – dans les productions

Cette séance a été la plus difficile pour les élèves, en particulier pour les 4H. La Fig. 6 représente une disposition des cubes correspondant au quartier de la ville avec le plan associé. Les bâtonnets de bois représentent les barrières au-delà desquelles les élèves ne peuvent aller. Lors de l'exploration du quartier, trois intersections sont à reproduire, ainsi que six voies sans issue.

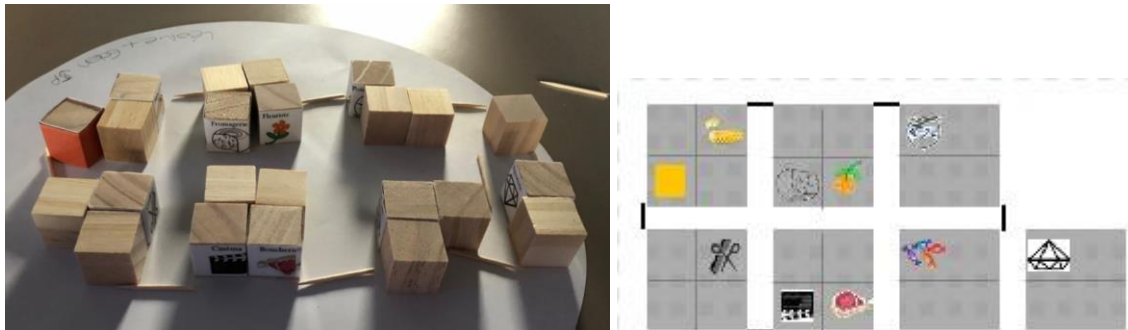


Fig. 6 : Disposition des cubes pour la séance 2 avec le plan

Dans certaines reconstructions, quelques rues n'apparaissent pas, les cubes sont collés ou les intersections ne sont pas représentées. Une représentation (Fig. 7-2) propose une seule rue et tous les cubes collés.



1- Dispositions des cubes sans rues ou intersections



2- Le quartier représenté comme une seule rue

Fig. 7 : Des rues et intersections non visibles

Une interprétation serait que la représentation du quartier n'est pas spatiale mais temporelle. Ainsi les élèves représentent ce qu'ils voient au fur et à mesure qu'ils découvrent le quartier, ils ne prennent alors pas en compte les relations entre les vitrines ou les espaces vides entre elles. La position des cubes est très dépendante du parcours de l'élève, il ajoute une vitrine ou une façade grise au fur et à mesure qu'il en aperçoit une.

Pour d'autres élèves les façades et vitrines sont mises en relation à l'échelle de la rue ou d'un bloc de façades, mais les relations entre les rues et les blocs de sont pas prises en compte. Par exemple, les vitrines sont positionnées en respectant des contraintes très locales (Fig. 8.). Dans la production de la Fig. 8-1 la fromagerie et le fleuriste sont l'un à côté de l'autre mais le marchand de bonbons n'est plus dans la même intersection que le fleuriste. Les différents blocs de cubes semblent déconnectés les uns des autres. Dans la Fig. 8-2 certaines correspondances dans une rue sont représentées comme la vitrine orange et le coiffeur et éventuellement le fleuriste et la poissonnerie. Cependant les intersections qui permettent la correspondance entre ces rues ne sont pas reproduites.





1- Production d'élève avec rues déconnectées



2- Production d'élève avec rues déconnectées

Fig. 8 : Constructions en blocs déconnectés

Dans les échanges entre les élèves, on retrouve aussi ce manque de mise en correspondance entre les éléments du quartier. Par exemple pour le binôme de la Fig. 9 les élèves commencent à positionner les cubes et laissent penser que les cubes et groupes de cubes sont placés les uns par rapport aux autres.



1- Reconstruction des quartiers



2- Constat de l'éclatement des constructions chez les voisins



3- Éclatement des blocs de cubes, perte des liens entre les blocs

Fig. 9 : Modification de la disposition des cubes

Les élèves du binôme regardent la construction de leurs voisins « ils n'ont pas mis comme nous » et « ils ont tout espacé » et pour finir « on va faire comme eux ». Les élèves finalement écartent leur groupement de cubes. Cela nous laisse penser que les relations entre les groupements de cubes ne sont finalement pas prises en compte.

## Séances 2 – dans les interactions des élèves

Pour certains binômes la répartition des responsabilités lors de la séance 2, associée à une communication difficile, révèle les spécificités de chaque rôle. En effet, l'élève qui explore la ville ne mobilise pas les mêmes habiletés spatiales que l'élève qui reconstruit la ville. Les échanges entre les élèves doivent prendre en compte les enjeux et contraintes du camarade. Voici un échange entre 2 élèves d'un même binôme. Alix est devant l'ordinateur et se déplace dans la ville. Camille tente de placer les cubes sur la feuille. Les élèves ont déjà commencé le travail et Camille vient de trouver la vitrine de la boulangerie.

Camille : boulangerie, boulangerie

Alix : oui mais je ne sais pas où c'est – c'est où par rapport à, je sais pas moi, le fleuriste

Camille : Là [montre sur l'écran] il y le coiffeur tu tournes et là il y la boulangerie

Il semblerait que Camille identifie plutôt la ville à travers des quartiers selon les vitrines qui peuvent être visualisés par une rotation. À l'opposé, Alix semble avoir besoin de points de repère réguliers qui permettent de relier l'ensemble des vitrines les unes aux autres. Ainsi chaque élève possède sa représentation personnelle d'une partie du quartier mais aucun recoupement entre leurs représentations n'est fait et elles se retrouvent à échanger sur des représentations différentes. Aucun repère commun n'est utilisé dans leurs échanges et Alix se retrouve démunie face à sa tâche de reconstruction de la ville.

Dans d'autres binômes, les échanges fonctionnent et ils communiquent pleinement en articulant en continu le cadre de référence de la ville avec celui des cubes, des points de repères sont explicités et partagés entre eux.

Élève avec les cubes qui regarde l'écran : ça c'est un immeuble orange, (...) comment on le pose maintenant (...) il est à côté de quoi (...) en face de quoi, de quel magasin.

Pendant que l'élève avec les cubes pose des questions, l'élève qui opère les déplacements dans la ville essaie de tourner dans la rue de l'immeuble orange pour visualiser les autres bâtiments. Dans ce cas, les deux élèves échangent et partagent le travail relatif au placement d'un cube sur la feuille. L'élève qui se déplace dans la ville donne des informations pour localiser la vitrine relativement aux vitrines voisines et l'élève qui a les cubes utilise ces informations pour positionner le cube sur la feuille. L'articulation entre les deux cadres de référence se fait à travers la communication entre les deux élèves.

Pour conclure, on remarque dans les échanges que le vocabulaire reste limité. Les élèves utilisent volontiers devant, en face, à côté ou derrière, mais gauche et droite sont remplacés par des « là, ici, de ce côté » avec des gestes de la main.

## PERSPECTIVES

Nous avons conçu la séance 2 pour introduire le repère allocentré, tout en gardant une projection possible dans la ville à travers la reconstruction de la ville en 3D. Il semble que les difficultés de communication à l'intérieur du binôme augmentent la complexité de la tâche. En imposant un travail en binôme dans la séance 2, les informations pour positionner les cubes ne sont pas les mêmes que celles pour explorer la ville. Cet écart dans les responsabilités et contraintes peut expliquer pourquoi certains binômes ne parviennent pas à finaliser la tâche. En effet, parfois, chaque élève du binôme est resté dans sa propre tâche d'exploration ou de construction. Si les besoins d'un élève ou de l'autre ne sont pas clairement explicités ou identifiés, la tâche risque de ne pas aboutir. Il est important que les élèves partagent des points de repères communs, pour pouvoir communiquer autour des positions des différentes vitrines. Nous avons fait le choix de travailler en binôme pour s'assurer des échanges entre les élèves, on voit que cela n'est pas suffisant et qu'il faut s'assurer que chaque élève expérimente et identifie les besoins spécifiques de chaque tâche. Une nouvelle modalité consisterait à ce qu'un élève explore le quartier et construise seul le quartier avec les cubes. Un autre élève pourrait, dans un deuxième temps, valider la construction en comparant la position de vitrines particulières dans la ville virtuelle et dans les cubes. On pourrait aussi imaginer que chaque élève reconstruise sa ville, puis les maquettes sont comparées.

Pour le moment, des questions subsistent concernant les connaissances spatiales développées, en référence à quel savoir ? Un objectif secondaire consisterait à identifier comment ces connaissances s'articulent avec les connaissances géométriques ? Dans le but de répondre à ces questions, nous avons déposé une demande de projet de recherche en collaboration avec les psychologues. L'objectif de cette recherche est de suivre plusieurs classes sur 3 ans et d'identifier d'éventuels liens entre un travail autour des cadres de référence, l'exploration de villes virtuelles et l'évolution des connaissances géométriques voire mathématiques.

## BIBLIOGRAPHIE

Bell, S. (2002). Spatial cognition and scale: A child's perspective. *Journal of Environmental Psychology*, 22 (1–2), 9–27. Doi : <http://doi.org/10.1006/jevp.2002.0250>

- Berrouiller, C. & Eysseric, P. (2019). Beebots et bluebots en classe : analyse de pratiques professionnelles. Dans *COPIRELEM, actes du 45<sup>ème</sup> Colloque de la COPIRELEM*. Blois : ARPEME.
- Berthelot, R. & Salin, M.-H. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire*. Thèse de doctorat en mathématiques, Université de Bordeaux I.
- Berthelot, R. & Salin, M.-H. (1999). L'enseignement de l'espace à l'école primaire. *Grand N*, 65, 37-59.
- Berthelot, R. & Salin, M.-H. (1993). L'enseignement de la géométrie à l'école primaire. *Grand N*, 53, 39-56.
- Billy, C., Cabassut, R., Petitfour, E. & Tempier, F. (2017). Quels apports de la programmation pour la reproduction d'une figure géométrique ? Dans *Colloque Mathématiques en Cycle 3*, Poitiers : IREM de Poitiers.
- Brousseau, G. (1983). Etudes de questions d'enseignement. Un exemple : la géométrie. *Séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique, LSD IMAG*, Grenoble : Université J. Fourier.
- Buckley, J., Seery, N. & Canty, D. (2019). Investigating the use of spatial reasoning strategies in geometric problem solving. *International Journal of Technology and Design Education*, 29(2), 1-22. <http://doi.org/10.1007/s10798-018-9446-3>
- Caroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities. A survey of factor-analytic studies* (1st ed.). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Clairaut, (1741). *Eléments de géométrie*. Paris : Imprimerie et librairie classique de Jules Delalain.
- Dias, T. & Serment, J. (2017). Formation à la géométrie dans l'espace par la construction de polyèdres, Dans *COPIRELEM, actes du 43<sup>ème</sup> colloque de la COPIRELEM*. Le Puy-en-Velay : ARPEME.
- Dornier, J. & Coqueret, M. (2009). On retrouve sa place ! De l'espace vécu à l'espace appréhendé au cycle 2. *Grand N*, 83, 85-95.
- Duroisin, N. (2015). *Quelle place pour les apprentissages spatiaux à l'école ? Etude expérimentale du développement des compétences spatiales des élèves âgés de 6 à 15 ans*. Thèse de doctorat. Université de Mons.
- Duval, R. (1994). Les différents fonctionnements d'une figure dans une démarche géométrique. *Repères Irem*, 17, 121-138.
- Laborde, C. (2004). Como la geometria dinamica puo rinnovare i processi di mediazione delle conoscenze matematiche nella scuola primaria. Dans B. D'Amore & S. Sbaragli (dir.), *La didattica della matematica: una scienza per la scuola* (p. 19-28). Bologna, Italy.
- Masselot, P. & Zin, I. (2008). Exemple d'une situation de formation pour aborder la structuration de l'espace aux cycles 1 et 2. Dans *COPIRELEM, actes du 34<sup>ème</sup> colloque de la COPIRELEM*. Troyes : ARPEME.
- McGee, M.G. (1979). Human spatial abilities: psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889-918.
- Montello, D. R. (1993). Scale and multiple psychologies of space. Dans *Lecture Notes in Computer Science 716* (p. 312-321). Berlin : Springer Verlag.
- Newcombe, N. S. (2016). Thinking spatially in the science classroom. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 1-6. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.04.010>
- Piaget, J. & Inhelder B. (1972). *La représentation de l'espace chez l'enfant* (2e édition). Presses Universitaires de France.
- Rabatel, J.-P. & Martinez, J.-L. (2018). Quelles traces pour opérationnaliser les apprentissages dans un jeu articulable tangible et numérique ? Dans *COPIRELEM, actes du 44<sup>ème</sup> colloque de la COPIRELEM*. Epinal : ARPEME.

- Soury-Lavergne, S. & Maschietto, M. (2015). Articulation of spatial and geometrical knowledge in probleme solving with technology at primary school. *ZDM The International Journal of Mathematics Education*, 47(3), 435–449.
- Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55(4), 189–208.
- Wai, J., Lubinski, D. & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817–835. Doi: <http://doi.org/10.1037/a0016127>
- Wang, L., Cohen, A. S. & Carr, M. (2014). Spatial ability at two scales of representation: A meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, 36, 140-144. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.lindif.2014.10.006>