

Complexifier quantitativement et qualitativement le contexte d'apprentissage pour faire émerger des stratégies cognitives variées : évaluation d'une habileté spatiale par l'utilisation d'environnements virtuels

Duroisin Natacha, Ph. D.

Université de Mons, INstitut d'Administration Scolaire

Université Charles-de-Gaulle - Lille 3, PPsychologie : Interactions, Temps, Emotions, Cognition

natacha.duroisin@umons.ac.be

Résumé

Percevoir un espace, s'y déplacer, (se) le représenter et reproduire des itinéraires sont des compétences essentielles voire vitales pour chaque être humain quel que soit son âge. Pourtant, l'enseignement formel laisse peu de place à l'apprentissage et l'évaluation de telles habiletés spatiales alors que leur mauvaise acquisition pose de nombreux problèmes dans la vie quotidienne (désorientation, mauvaise représentation de l'espace, trouble de la latéralité, utilisation abusive du GPS). Au départ de tâches de navigation spatiale, et plus précisément d'apprentissage d'itinéraires dans des environnements virtuels, dans lesquelles tous les enfants et adolescents peuvent s'engager cognitivement, nous montrons que ces derniers développent, en fonction de leur âge, des stratégies de résolution de problèmes différentes. Nous montrons également qu'il est possible et important de complexifier les contextes d'apprentissage de façon quantitative et qualitative afin de faire émerger de nouvelles stratégies cognitives plus ou moins élaborées. Les environnements virtuels utilisés se révèlent alors être des outils d'évaluation intéressants pour y parvenir et pour remédier aux manques des évaluations plus traditionnelles. Au-delà d'un intérêt porté à la solution d'un problème donné, nous attirons, d'une part, l'attention sur l'utilisation de certains contextes d'apprentissage (ici virtuels) qui invitent les élèves à faire preuve de flexibilité cognitive. D'autre part, nous montrons que capacité à faire preuve de flexibilité cognitive est un élément important pour se montrer efficace face à la résolution de divers types de problèmes scolaires (i.e. en dehors de ce type de contexte virtuel).

Mots-clés

Contextes, didactiques, enseignement-apprentissage, processus cognitifs, environnements virtuels, navigation spatiale, perspective développementale, résolution de problèmes.

Pour citer cet article : Duroisin, N. (2016). Complexifier quantitativement et qualitativement le contexte d'apprentissage pour faire émerger des stratégies cognitives variées : évaluation d'une habileté spatiale par l'utilisation d'environnements virtuels. *Evaluer. Journal international de Recherche en Education et Formation*, 2(3), pp. 33-45.

1. Introduction

Si l'espace constitue en soi un objet d'apprentissage, Freksa (2004, p. 54) indique que la cognition spatiale concerne « les moyens par lesquels les humains, les animaux ou les machines pensent l'espace, la façon dont ils agissent et interagissent dans l'espace, et la façon dont ils peuvent exploiter les structures spatiotemporelles par des processus computationnels ». L'étude de la cognition spatiale permet ainsi d'appréhender, de comprendre et d'évaluer les stratégies et processus cognitifs impliqués lors d'activités diverses présentant une composante spatiale (i.e. utilisation du processus de décentration pour faciliter la lecture d'un plan de coupe en biologie ou pour créer ou comprendre un dessin technique en mécanique, élaboration de représentations mentales pour favoriser le passage à l'abstraction...). C'est en ce sens qu'a été et est toujours considérée la cognition spatiale par les chercheurs en sciences cognitives. Que les recherches soient, à l'origine, menées sur les animaux (principalement sur les rongeurs : Tolman & Honzik, 1930 ; Tolman, 1948 ; O'Keefe & Dostrovsky, 1971 ; O'Keefe & Nadel, 1978) ou, plus récemment, avec des humains (quels que soient leur âge et leur profil, qu'ils présentent ou non certaines pathologies), un des objectifs principaux est de s'intéresser à l'acquisition, l'organisation, l'utilisation et la révision des connaissances provenant d'environnements spatiaux, réels ou abstraits, humains ou virtuels (Barkowsky & Freksa, 2003). En d'autres termes, il s'agit de comprendre comment sont interprétées et organisées en mémoire les informations spatiales pour être réutilisées ultérieurement dans des contextes similaires ou nouveaux, qu'ils soient ou non relatifs à l'espace.

La cognition spatiale concerne tous les individus. Tout au long de leur vie, ils acquièrent, développent et exercent des connaissances et habilités spatiales qui leur permettent de faire face à des situations et des contextes variés. Ces recherches partent de constats similaires : les situations faisant appel à la spatialité posent de nombreuses difficultés quand elles font l'objet d'évaluations (désorientation, mauvaise représentation de l'espace, trouble de la latéralité...) et ce, quel que soit l'âge ou le contexte, scolaire ou non (Berthelot & Salin, 1992 ; Duroisin, 2015).

A travers la description de deux expérimentations, un des objectifs de cet article est de montrer l'intérêt d'un outil d'évaluation qui s'appuie sur les nouvelles technologies et plus précisément sur l'utilisation de la réalité virtuelle. Nous montrerons, en effet, que les environnements virtuels utilisés lors des tâches de navigation facilitent la maîtrise des conditions dans lesquelles les expériences sont menées et, de ce fait, l'évaluation des performances et des processus cognitifs mis en œuvre par les élèves (Duroisin & Demeuse, 2015). Conjointement, l'article vise aussi deux objectifs complémentaires : d'une part, de montrer que les stratégies cognitives mises en œuvre lors de tâches de navigation spatiale dépendent de l'âge des sujets et, d'autre part, de mettre en évidence la manière dont le contexte d'apprentissage peut influencer l'élaboration de ces stratégies cognitives.

Dans la première section de l'article, l'habileté de navigation spatiale et les stratégies cognitives impliquées lors des tâches de navigation classique font l'objet d'une brève description. La deuxième section de l'article décrit comment est évaluée l'habileté de navigation spatiale à partir d'environnements virtuels dans lesquels la complexité des contextes varie quantitativement et qualitativement. La troisième section porte sur la description d'une expérimentation menée dans une perspective développementale. Plusieurs parcours de reproduction d'itinéraires sont proposés aux enfants et adolescents dans la ville virtuelle nommée « V-Squarecity ». Nous rapporterons que les stratégies cognitives déclarées par les jeunes enfants y sont différentes de celles rapportées par les adolescents. La quatrième

section porte, quant à elle, sur la description d'une expérimentation menée dans deux villes virtuelles qualitativement différentes. L'utilisation de V-Sinuosity auprès d'une population d'enfants âgés de 10-11 ans, soit avec des participants situés dans une tranche d'âge où l'on n'observe pas encore de stratégies de préférence clairement établies, permet de montrer que le contexte d'apprentissage peut entraîner le développement de stratégies cognitives davantage spatiales, basées sur l'observation d'éléments issus de l'environnement. Enfin, la dernière section de l'article est consacrée, d'une part, à discuter les résultats obtenus lors des expérimentations effectuées en regard des récentes découvertes réalisées dans le domaine des neurosciences et, d'autre part, à évoquer l'intérêt d'employer un outil d'évaluation basé sur l'utilisation de la réalité virtuelle.

2. La navigation spatiale et les stratégies cognitives

2.1 L'habileté de navigation spatiale

Darken et Sibert (1996) considèrent les habiletés spatiales comme des processus cognitifs qui permettent d'exprimer la manière dont on apprend un environnement et les relations qui existent entre les repères fournis par cet environnement. L'ensemble des comportements humains repose sur des habiletés spatiales. Celles-ci sont sollicitées à chaque instant où l'individu est amené à effectuer des déplacements dans un environnement connu ou inconnu, à générer, conserver, récupérer et transformer des informations visuelles, à comprendre les relations unissant certains objets et à les manipuler mentalement. L'habileté de navigation spatiale compte ainsi parmi les habiletés spatiales qui sont les plus sollicitées dès les premiers mois de vie. La réalisation des déplacements nécessite de connaître son point de départ et son point d'arrivée, de choisir l'itinéraire à suivre pour atteindre le point d'arrivée et d'effectivement suivre cet itinéraire. Pick, Rieser, Wagner & Garing (1999) définissent *l'habileté de navigation spatiale* comme la capacité qu'a un individu à se localiser et se déplacer dans un espace donné en se basant sur la perception et la compréhension de l'organisation spatiale, à localiser un but par rapport à sa position propre, à estimer des distances, des rotations et l'orientation par rapport à un point de départ et/ou d'arrivée. Dans un environnement donné, naviguer spatialement signifie également être capable de reconnaître des lieux et des scènes que l'on peut appréhender selon des perspectives différentes, dans des contextes qui peuvent varier (i.e. environnements différemment structurés).

2.2 Distinction entre les stratégies utilisées lors de déplacements dans l'espace

Pour naviguer dans un environnement, plusieurs stratégies peuvent être employées et dépendent de la complexité du problème spatial à résoudre (Arleo & Rondi-Reig, 2007). Les théoriciens behavioristes furent les premiers à identifier une des stratégies de navigation en se basant sur l'association « stimulus-réponse ». Cette stratégie, dite de « réponse » (Duroisin, 2015), fait appel à des « indices proximaux de l'environnement et la position du sujet par rapport à ces indices » (Etienne, 2012, p. 17). Nécessitant une mise à jour constante de la relation entre le corps qui est en mouvement (mise à jour égocentrée), les indices de l'environnement et le but à atteindre, cette stratégie est de type « je tourne à droite après le bâtiment bleu, je tourne à gauche après le bâtiment rouge... ». À côté de cette stratégie de navigation, plus spatiale, qui se base essentiellement sur la perception égocentrique de repères présents dans l'environnement, une stratégie de « comptage » a également été mise en évidence (Duroisin, 2015 ; Duroisin & Demeuse, 2015). Cette stratégie est basée sur l'enregistrement, le codage et la restitution d'une série d'informations (nombre de rues dépassées et directions prises) et nécessite une décentration, c'est-à-dire une prise de recul

par rapport aux informations directement perceptibles dans l'environnement. Cette stratégie de « comptage » est de type « 1x tout droit, 1x tout droit, 1x tout droit, gauche, 1x tout droit, 1x tout droit, droite », « 3x tout droit, gauche, 2x tout droit puis droite » ou, dans sa forme la plus élaborée sous la forme de chunks (moyen mnémotechnique basé sur l'agrégation d'informations ; Miller, 1956), « 3e, gauche, 2e, droite... » voire « 3G2D ». Reposant sur la mémorisation d'injonctions de tournants « à droite » et « à gauche » à partir d'une position de départ égocentrée, cette stratégie consiste en une connaissance déclarative. Une stratégie « mixte » a également été identifiée. Il s'agit d'une stratégie combinée qui allie la stratégie de « réponse » à la stratégie de « comptage ». Ainsi, d'une part, les participants prennent en considération les repères fournis par l'environnement et, d'autre part, ils « comptent » et restituent les informations codées. Un autre type de stratégie, basé sur la mémorisation des relations existantes entre les points de repères, consiste en « l'élaboration de cartes cognitives » (O'Keefe & Nadel, 1978). Il s'agit d'une stratégie spatiale qui conduit l'individu à se créer mentalement une carte de l'environnement préalablement exploré et qui contient des informations spatiales relatives aux routes et aux relations environnementales. Enfin, d'autres auteurs (Lambrey & Berthoz, 2003 ; Lafon, Vidal & Berthoz, 2009) ont identifié d'autres stratégies, plus kinesthésiques, relatives à la perception de l'environnement extérieur et sur l'utilisation d'informations proprioceptives (basées sur la perception, consciente ou non, de la position des différentes parties du corps lors d'un déplacement notamment).

3. Evaluation de l'habileté de navigation spatiale à partir d'environnement virtuels

3.1 Utilisation de la réalité virtuelle

Les questionnements relatifs à l'apprentissage spatial, au développement du sens spatial, à l'orientation... ne sont pas récents (Piaget & Inhelder, 1948). Cependant, nous avons pu constater dans notre thèse (Duroisin, 2015) que certaines habiletés spatiales, notamment la navigation spatiale, ne font l'objet d'aucune évaluation tout au long du cursus scolaire. Si l'évaluation de ce type d'habileté pose certaines difficultés (notamment en matière de sécurité mais aussi en raison du format traditionnel, de type « papier-crayon », des évaluations), l'avènement de nouvelles technologies telle que la réalité virtuelle, offre à présent de nouvelles pistes de recherche pour évaluer ces habiletés « oubliées » (i.e. Jansen-Osmann & Berendt, 2002 ; Wallet, Sauzéon, Rodrigues & N'Kaoua, 2009 ; Farran, Courbois, Van Herwegen, Cruickshank & Blades, 2012 ; Wallet, Sauzéon, Larrue & N'Kaoua, 2013). D'un point de vue technique, la réalité virtuelle peut être définie comme étant un « domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs » (Fuchs, Arnaldi & Tisseau, 2003, cités par Arnaldi, Fuchs & Guitton, 2006, p. 8). En plus de proposer des environnements sécuritaires, la réalité virtuelle permet de présenter, dans un contexte défini, des stimuli sélectionnés (Burdea & Coiffet, 1993 ; Fuchs & Moreau, 2003), d'exercer un contrôle précis sur toutes les variables d'un environnement donné et d'effectuer toutes les manipulations nécessaires afin de répondre à des questionnements spécifiques (Kelly & Gibson, 2007). Ainsi, dans le cas des expérimentations décrites ci-après, les élèves ont évolué dans des environnements urbains sans risque et dans lesquels les conditions d'expérimentation sont strictement identiques et ne varient pas en fonction de l'expérimentateur ou de divers aléas. L'utilisation de la réalité virtuelle a donc permis de répliquer une étude sur un grand nombre de sujets, d'âges différents, sans que cela n'introduise de biais dans les résultats (Peters, Wu & Winter,

2010). En outre, la réalité virtuelle s'avère également être un outil de recherche intéressant qui permet de capturer, en temps réel, l'activité et la performance de l'individu selon des composantes comportementales, cognitives, motrices et/ou physiologiques (Klinger, 2008). La majeure partie des actions effectuées par le sujet peut ainsi être observée de manière simultanée, précise et naturelle, sans que le sujet en ait conscience. Les environnements virtuels apparaissent donc comme des outils d'évaluation utiles permettant d'étudier les comportements et la cognition dans le domaine de l'apprentissage spatial (Kelly & Gibson, 2007) et ce, même pour l'évaluation des stratégies plus kinesthésiques (Larrue, 2011).

Créés pour permettre l'accomplissement d'actions déterminées dans un espace donné, les environnements virtuels requièrent l'utilisation d'interfaces homme-machine (IHM). L'interface comportementale dont il sera ici question est une interface uni-manuelle, une manette de jeu, plus communément appelée joystick. Pour des raisons ergonomiques, l'utilisation du joystick a été préférée à l'utilisation de la souris ou du clavier (Ventura, Shute, Wright & Zhao, 2013). Les commandes, entre le joystick et l'ordinateur, sont gérées par le moteur de jeu Unity®. Pour éviter le *motion sickness* (ou cinétose) survenant lors d'une situation de discordance entre la perception visuelle et le système vestibulaire (conflit sensori-moteur), l'utilisation d'un écran a été préféré à l'usage d'un casque sans *oculus rift* (on parle ainsi de réalité virtuelle non immersive, Psotka, 1995).

3.2 Des villes virtuelles « sur mesure » qui permettent de réaliser des exercices de reproduction d'itinéraires : V-Squarecity et V-Sinuosity

Les villes virtuelles, telles que celles que nous avons générées¹, permettent la réalisation d'exercices quotidiennement réalisés par l'individu, en lien avec l'habileté de « navigation spatiale », c'est-à-dire des exercices de navigation par « reproduction ». Les exercices de navigation par « reproduction » consistent à suivre des parcours balisés et à reproduire à l'identique ces parcours sans l'aide des balises. La consigne, donnée avant de débiter l'activité, est la suivante : « *Tu te trouves dans une ville que tu ne connais pas, tu dois suivre le chemin indiqué par les balises bleues. À la fin du parcours, un temps d'arrêt sera marqué. Tu seras ensuite remis à ton point de départ et il te sera demandé de refaire exactement le même chemin mais les balises bleues auront disparu* ». Concrètement, à l'aide d'une manette de jeu, le participant parcourt un itinéraire dans l'environnement virtuel en suivant les balises (points bleus indiquant le chemin à suivre). Il ne peut pas choisir un autre itinéraire que celui qui est balisé. Dès que le participant est arrivé à la fin du parcours, il est replacé automatiquement au point de départ et doit reproduire le même chemin sans la présence des balises. Les exercices de navigation par « reproduction » comportent à chaque fois plusieurs parcours. Ils sont réalisés dans des parties différentes de la ville. Ainsi, est évaluée la capacité à reproduire des itinéraires dans des environnements inconnus, non familiers. Aucune limite de temps n'est fixée pour la réalisation des exercices. Chaque participant réalise la même série de parcours dans le même ordre.

Ces parcours sont tous caractérisés par un nombre de points de décision (nPD) et par un nombre de points d'inflexion (nPI) différents. Les points de décision (PD) correspondent à chaque intersection où le sujet est amené à faire un choix quant à la direction qu'il veut prendre (soit continuer tout droit, soit prendre une rue à droite ou à gauche). Chaque intersection constitue donc un point de décision indépendamment du fait que le participant change ou non de direction (Klippel, Tappe & Habel, 2003 ; Quesnot & Roche, 2015). Le nPD d'un parcours détermine sa longueur. Les points d'inflexion (PI) correspondent, quant

¹ Les environnements virtuels ont été créés en collaboration avec la Faculté Polytechnique de Mons.

à eux, à chaque intersection où le sujet doit effectivement changer de direction (Smith, 2015). Quand le participant prend une des rues qui se trouve à sa droite ou à sa gauche, il s'agit d'un point d'inflexion. En d'autres termes, un point d'inflexion est, de facto, un point de décision tandis qu'un point de décision ne constitue pas forcément un point d'inflexion.

3.2.1 Un contexte d'apprentissage qui varie quantitativement...

Des parcours de longueurs variables (comprenant 5, 7, 9 et 13 points de décision) avec plus ou moins de changements de direction (1, 3, 4 et 5 point(s) d'inflexion) sont proposés aux participants. Dans cet article, les parcours sont décrits en termes de nombres de points de décision et point(s) d'inflexion de la manière suivante « nPD_nPI ». Ainsi, le nombre de points de décision précède toujours le nombre de points d'inflexion. Un parcours nommé « 5_2 » décrit un parcours composé « de 5 points de décision et 2 points d'inflexion » alors que le parcours nommé « 9_1 » décrit un parcours composé « de 9 points de décision et 1 point d'inflexion ».

3.2.2 ... et qualitativement

Les exercices de reproduction d'itinéraires s'effectuent dans des villes différentes. Deux villes virtuelles ont été créées selon des plans différents. La première ville est nommée V-Squarecity (Virtual Squarecity, voir Figure 1A) et est définie selon un plan régulier ou hippodaméen. Celui-ci est caractérisé par des routes qui se croisent en angle droit, créant ainsi des îlots carrés ou rectangulaires (Louail, 2010). Dans cette ville, les sections de routes sont de mêmes longueurs. Organisée selon un plan irrégulier (voir Figure 1B), la seconde ville virtuelle est nommée V-Sinuositycity (virtual Sinuositycity). Dans cette ville, les routes partent d'un point central et peuvent être de longueurs variables. Elles ne sont pas perpendiculaires les unes par rapport aux autres et peuvent comporter plusieurs embranchements situés à droite et/ou à gauche, ce qui est impossible dans V-Squarecity.

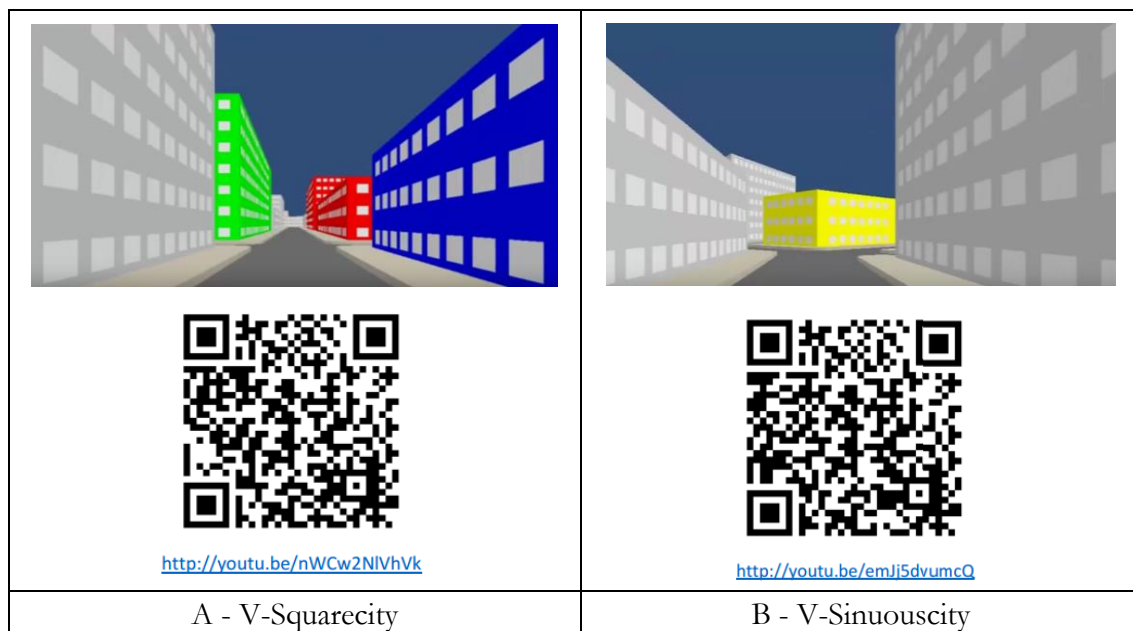


Figure 1 : Illustrations des villes virtuelles V-Squarecity (A) et V-Sinuositycity (B) (Duroisin, 2015)

Même si, à l'heure actuelle, il est possible de concevoir des environnements d'un fort réalisme (Larrue, 2011), l'objectif de la recherche a été de développer et d'expérimenter des villes au design simplifié afin de réduire et de contrôler l'ensemble des variables contenues dans chacun des environnements. Dans ces derniers, il est possible de modifier différentes caractéristiques des parcours, du bâti (types de bâtiments, taille et pourcentage de coloration des bâtiments) et de la structure afin de déterminer l'influence de ces modifications sur les performances de navigation des élèves ou sur les stratégies qu'ils mettent en œuvre dans la résolution des exercices demandés.

3.3 Des entretiens cognitifs qui permettent d'identifier les stratégies cognitives déclarées être utilisées lors des exercices de reproduction d'itinéraires

À l'issue de la réalisation des exercices de navigation par « reproduction », un bref entretien cognitif est mené avec chaque participant. Ces entretiens sont basés sur la procédure de verbalisation qui consiste à faire exprimer aux participants les actions qu'il a précédemment effectuées (verbalisation rétrospective²) (Dogu & Erkip, 2000 ; Chebat, Gelinat-Chebat & Therrien, 2005 ; Tenbrinck, 2008 ; Tenbrinck, D'Odorico, Hertzberg, Mazman, Meneghetti, Reshoft & Yang, 2012). La passation de cet entretien permet à l'expérimentateur de prendre connaissance des stratégies de navigation déclarées par les participants lors de la navigation.

4. Complexifier de manière quantitative le contexte afin de faire émerger des stratégies différentes selon l'âge

Les participants âgés de 6 à 15 ans (N = 113) qui naviguent dans V-Squarecity doivent réaliser différents parcours de longueurs variables (variation du nombre de points de décision) et comprenant plus ou moins de tournants (variation du nombre de points d'inflexion). Les plus jeunes participants, âgés de moins de 10 ans, appréhendent principalement cet environnement selon un point de vue égocentrique et développent, dès lors, une stratégie de « réponse » (59,1% des participants âgés de 6 ans- 7 ans ; 47,8% des participants âgés de 8 ans- 9 ans, voir Figure 2). Cette stratégie est cependant considérée comme uniquement efficace lors de la réalisation de parcours simples, c'est-à-dire lorsque les parcours comprennent un nombre peu élevé de points de décision et de points d'inflexion. Quand les trajets sont plus complexes, c'est-à-dire avec un nombre plus important de points de décision et comportant plus de points d'inflexion, cette stratégie de « réponse » nécessite trop de ressources cognitives (importance du nombre d'éléments à mémoriser) et devient progressivement inefficace. Pour pouvoir reproduire avec exactitude des itinéraires d'une complexité quantitativement plus importante (c'est-à-dire, avec un nPD supérieur à 7 et un nPI supérieur à 3), le recours à une stratégie plus économique d'un point de vue cognitif est alors la solution à privilégier. Seuls les participants plus âgés, majoritairement à partir de 12 ans, développent une stratégie de « comptage ». En étant capable de décentration, ceux-ci parviennent à se détacher de la perception directe de l'environnement pour mettre au point

² Lors des pré-expérimentations menées (N = 30), il avait été demandé aux participants d'oraliser les stratégies, en temps réel, lors de la réalisation des exercices. Cette façon de recueillir des informations sur les stratégies cognitives s'est avérée être un exercice difficile pour la majorité des participants âgés de 6 à 13 ans. En effet, ces participants ne parvenaient pas, en même temps, à se concentrer sur l'exercice en tant que tel (reproduire son chemin) et à verbaliser l'ensemble des éléments pris en compte pour effectuer le déplacement (le plus souvent, les participants ne pensaient pas à oraliser les informations et il fallait à chaque fois le leur rappeler). Étant donné l'impossibilité de prendre connaissance des informations de manière directe, il a été décidé de les interroger *a posteriori* (verbalisation rétrospective).

une stratégie différente basée sur l'agrégation d'informations spatiales. Caractérisée par un comptage sous la forme de *chunks* - plus ou moins élaborés -, cette stratégie s'avère être efficace lorsqu'il s'agit de reproduire des parcours qui comprennent un plus grand nombre de points de décision et de points d'inflexion. Le passage d'une stratégie de « réponse », soit d'une stratégie plus spatiale, à une stratégie de « comptage », requérant des capacités de synthèse, est quant à lui remarqué à l'âge de 10-11 ans. Les participants de cette tranche d'âge recourent en effet davantage à une stratégie « mixte » alliant la stratégie de « réponse » à la stratégie de « comptage » (Figure 2).

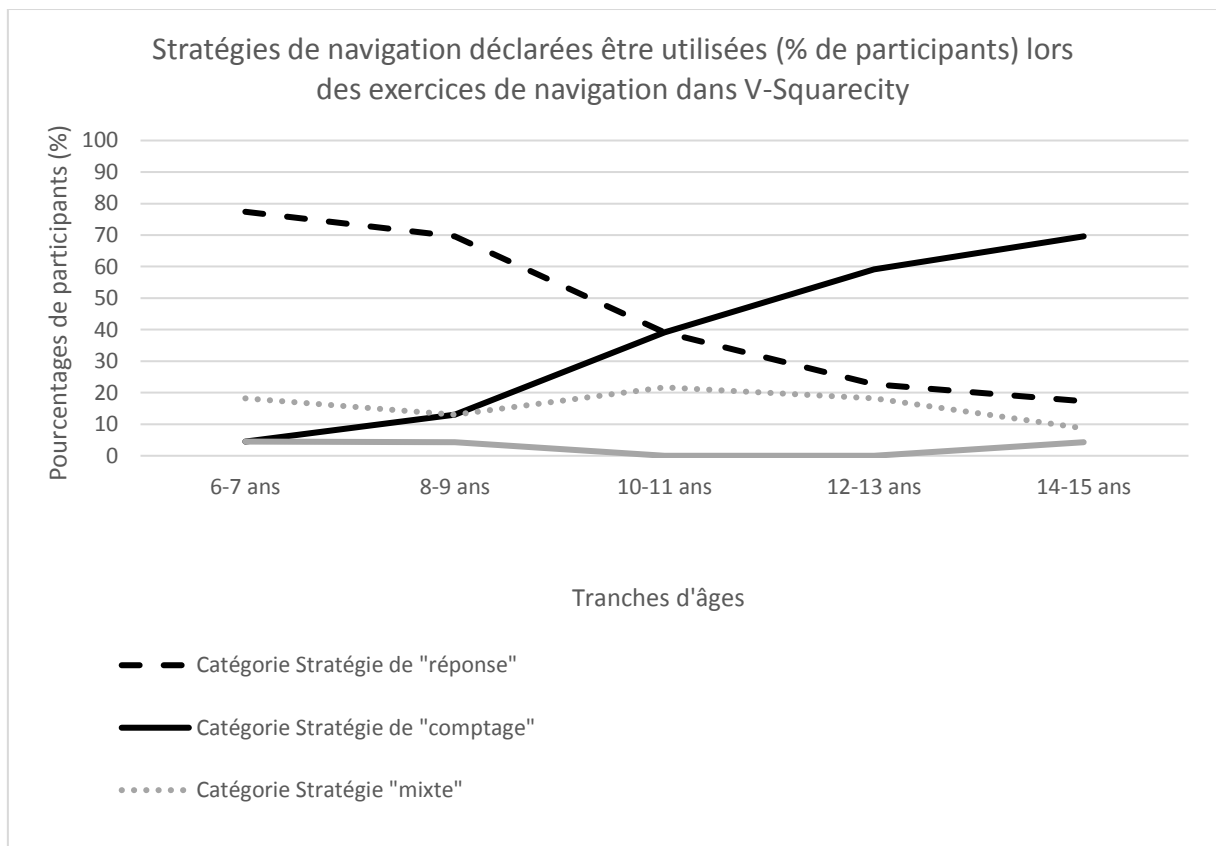


Figure 2 : Pourcentages des participants (par tranches d'âges) qui déclarent avoir utilisé une des stratégies lors des exercices de navigation dans V-Squarecity

5. Complexifier de manière qualitative le contexte afin de faire émerger des stratégies cognitives plus spatiales

Alors que dans un environnement régulier, peu complexe du point de vue de la géométrie de la ville, la résolution du problème spatial était rendue possible et efficace par l'utilisation d'une stratégie de « comptage », on s'interroge, à présent, sur le changement qualitatif du contexte. Ce sont deux villes définies selon, d'une part, un plan régulier (V-Squarecity) et, d'autre part, irrégulier (V-Sinuosity) qui sont cette fois utilisées auprès de participants (N = 30) âgés entre 10 et 12 ans³. Ces élèves sont situés dans une tranche d'âge où l'on n'observe pas encore de stratégies de préférence clairement établies. Concrètement, ils sont amenés à reproduire des parcours d'une complexité quantitative identique (même nPD et même nPI) dans les deux villes (V-Squarecity et V-Sinuosity). Les données, issues des entretiens

³ Il ne s'agit pas du même échantillonnage que pour l'expérimentation décrite ci-avant.

cognitifs, rendent compte des stratégies que déclarent avoir utilisé les participants pour la réalisation des parcours dans les deux types de villes. Ces stratégies diffèrent considérablement en fonction de la complexité qualitative du contexte dans lequel sont réalisés les parcours. Ainsi, dans V-Squarecity, une majorité de participants disent avoir recours à une stratégie de « comptage » alors que pour un parcours de même complexité quantitative (même nPD et même nPI), dans V-Sinuosity, plus de la moitié de ces mêmes participants déclarent utiliser une stratégie de « réponse » (Figure 3).

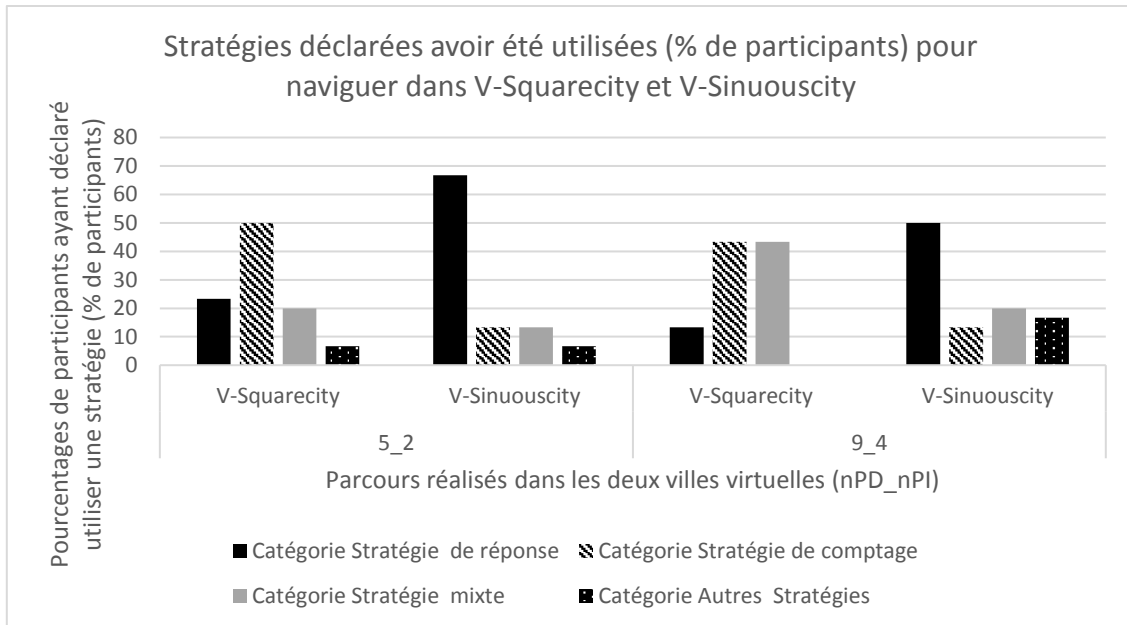


Figure 3 : Stratégies que déclarent avoir mises en œuvre les participants (%) pour naviguer dans V-Squarecity et V-Sinuosity

Dans un environnement défini selon un plan plus irrégulier, qualitativement plus complexe, il apparaît donc que la stratégie de « comptage » devient difficile à mettre en œuvre en raison de l'organisation intrinsèque de l'environnement. Il est en effet difficile d'agréger l'information spatiale disponible puisque celle-ci n'apparaît pas dans une forme qui peut être facilement traitée (présence de plusieurs rues à droite ou à gauche, ce qui ne permet plus de synthétiser le chemin à retenir en termes de nombre et de direction unique). Ce contexte, rendu qualitativement plus complexe, conduit alors le participant à développer une stratégie cognitive plus spatiale requérant l'utilisation des repères présents dans l'environnement.

6. Discussions et conclusions

Alors que les travaux relatifs à l'apprentissage spatial ne sont pas récents (Piaget & Inhelder, 1948), on assiste actuellement, dans de nombreux domaines (i.e. en médecine, Ernst *et al.*, 2014), à un regain d'intérêt pour ce sujet étant donné que les compétences spatiales sont, d'une part, des pré-requis à une multitude d'études et de professions (Humphreys, Lubinski & Yao, 1993 ; Sorby, 1999 ; Nagy-Kondor, 2014) et, *a contrario*, globalement peu maîtrisées par les individus quel que soit leur niveau d'études (Duroisin, 2015). L'octroi du Prix Nobel de médecine 2014 à O'Keefe et aux époux Moser a également relancé l'intérêt pour l'étude des compétences spatiales et des stratégies cognitives qui leur sont associées.

Dans cet article, nous avons montré l'intérêt d'utiliser un outil d'évaluation « original », appuyé sur les nouvelles technologies, et plus spécifiquement sur la réalité virtuelle, pour

appréhender les compétences spatiales des élèves et les processus cognitifs associés. L'utilisation de la réalité virtuelle a notamment permis d'évaluer des compétences qui ne sont habituellement pas évaluées en raison du format traditionnel des évaluations, de répliquer l'étude sur un grand nombre de sujets sans que cela n'introduise de biais dans les résultats, de capturer -en temps réel- l'activité et la performance des élèves selon des composantes comportementales et cognitives. Par ailleurs, nous avons aussi montré que cet « outil » permettait notamment d'illustrer le rôle joué par un contexte d'apprentissage différent. Il a ainsi été démontré que le contexte peut être complexifié quantitativement ou qualitativement et que cette différence de complexité peut engendrer un traitement différencié des informations spatiales présentes dans l'environnement. Ainsi, dans un environnement régulier, lorsque le contexte est quantitativement complexifié, c'est-à-dire quand les parcours comportent un nombre plus important de points de décision ou de points d'inflexion, les stratégies mises en œuvre par les participants dépendent de leur âge. Les participants plus âgés (12-13 ans et 14-15 ans) déclarent ainsi développer une stratégie de « comptage », basée sur l'agrégation d'informations, tandis que les plus jeunes (6-7 ans et 8-9 ans) disent utiliser une stratégie de « réponse », qui s'avère *in fine* moins efficace lors des parcours plus complexes. Lorsque le contexte est qualitativement complexifié, c'est-à-dire que l'environnement n'est plus uniquement régulier, mais qu'il est défini selon un plan irrégulier, nous avons pu démontrer que des stratégies cognitives différentes sont sollicitées. En environnement régulier, la stratégie de « comptage » est privilégiée tandis qu'en environnement irrégulier, une stratégie plus spatiale nécessitant la prise de connaissance des repères de l'environnement est privilégiée. Nous avons, de cette manière, pu mettre en évidence que l'évaluation des compétences et stratégies spatiales n'est pas aussi aisée que l'on pourrait le penser et nécessite de prendre des précautions lors du choix des contextes d'apprentissage. Alors que la majorité des études réalisées en cognition spatiale portent sur l'exploitation d'environnements réguliers de type « cartesian grids, squareland, city-block raster » (tel V-Squarecity) ou « radial maze » (Astur, Tropp, Sava, Constable & Markus, 2004), il a été ici démontré que ce type d'environnement n'évalue pas réellement le spatial. Si l'objectif est d'évaluer des stratégies et des compétences spatiales (orientation, utilisation de points de repères, exploration d'environnements...) alors, l'emploi d'environnements moins réguliers (tel V-Sinuosity), où le recours aux stratégies de comptage s'avère peu efficace, doit être privilégié. *A contrario*, si l'objectif est d'évaluer les capacités d'organisation des informations spatiales, les environnements réguliers peuvent être employés.

Du point de vue de l'enseignement-apprentissage, différencier les contextes d'apprentissage doit également faire l'objet d'une attention particulière de la part de l'enseignant. En effet, il ne suffit pas de complexifier quantitativement le contexte dans lequel s'effectue l'apprentissage, il convient également de veiller à ce que ce contexte soit complexifié qualitativement afin de favoriser une plus forte flexibilité cognitive (c'est-à-dire, à pouvoir utiliser telle ou telle stratégie cognitive lorsque les conditions environnementales changent) (Arleo & Rondi-Reig, 2007 ; Burguière, 2006). En mathématiques, par exemple, la complexification quantitative du contexte (recours à des nombres plus grands dans des calculs) n'induit pas nécessairement les mêmes stratégies de résolution de problèmes (Gamo *et al.*, 2010) que sa complexification sur le plan qualitatif (remplacement d'un nombre par un caractère symbolique, par exemple).

À l'heure où les nouvelles technologies et les applications de navigation et de géolocalisation sont de plus en plus utilisées, on peut enfin se demander si l'enseignement-apprentissage de connaissances et de compétences spatiales a encore un quelconque intérêt et du sens pour les futures générations. Différentes recherches (Munzer, Zimmer, Schwalm, Baus & Alsan,

2006 ; Ishikawa, Fujiwara, Imai & Okabe, 2008) permettent de répondre par l'affirmative. Elles ont, en effet, démontré que le recours au GPS, à Google Maps, à Google Street View... peut amoindrir les capacités d'orientation et renforcer les lacunes dans le domaine spatial. De récentes recherches réalisées en neurosciences par Bohbot et son équipe au Douglas Mental Health University Institute ont aussi mis en évidence une diminution de l'activité cérébrale chez ceux qui utilisent une stratégie de type stimulus-réponse (Konishi & Bohbot, 2013 ; Duroisin, Bohbot & Demeuse, 2016). Cette activité a été observée à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. Cette équipe a également montré que la stratégie de mémorisation spatiale est associée à plus d'activité de l'hippocampe. Il s'agit d'un fait important puisque l'on sait que la diminution de la substance grise dans l'hippocampe est un facteur de risque pour de nombreux troubles neurologiques et psychiatriques et pour le développement, à plus long terme, de pathologies telles que la dépression ou l'Alzheimer. Il semble donc important d'exercer les connaissances et stratégies cognitives spatiales dès le plus jeune âge et ce, jusqu'à la sénescence, afin de prévenir le développement de certaines pathologies.

7. Références

- Arleo, A. & Rondi-Reig, L. (2007). Multimodal Sensory Integration and Concurrent Navigation Strategies for Spatial Cognition in Real and Artificial Organisms. *Journal of Integrative Neuroscience*, 6(3), 327-366.
- Astur, R., Tropp, J., Sava, S., Constable, R. & Markus, E. (2004). Sex Differences and Correlations in a Virtual Morris Water Task, a Virtual Radial Arm Maze, and Mental Rotation. *Behavioural Brain Research*, 151(1-2), 103-115.
- Bacon, A., Handley, S., Dennis, I. & Newstead, S. (2008). Reasoning Strategies: The Role of Working Memory and Verbal-Spatial Ability. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(6), 1065-1086.
- Barkowsky, T. & Freksa, C. (2003). Transregional Collaborative Research Center SFB/TR 8 Spatial Cognition: Reasoning - Action - Interaction. In F. Schmalhofer, R. Young & G. Katz (Eds.), *Proceedings of EuroCogSci 03* (pp. 453-458). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Berthelot, R. & Salin, M. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire*. Thèse de doctorat en Mathématiques, Université Sciences et Technologies, Bordeaux I.
- Burdea, G. & Coiffet, P. (1993). *La réalité virtuelle*. Paris : Hermès.
- Burguière, E. (2006). *Rôle du cervelet dans la navigation : étude du mécanisme cellulaire de dépression synaptique à long terme des fibres parallèles*. Thèse de doctorat en Sciences du Vivant, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.
- Chebat, J.-C., Gelinas-Chebat C. & Therrien K. (2005). Lost in a Mall, the Effects of Gender, Familiarity With the Shopping Mall and the Shopping Values on Shoppers' Wayfinding Processes. *Journal of Business Research*, 58(11), 1590-1598.
- Darken, R. & Sibert, J. (1996). Navigating Large Virtual Spaces. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 8(1), 49-72.
- Dogu, U. & Erkip, F. (2000). Spatial Factors Affecting Wayfinding and Orientation: A Case Study in a Shopping Mall. *Environment and Behaviour*, 32(6), 731-755.
- 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, 2015.
- Duroisin, N. & Demeuse, M. (2015). Impact of the spatial structuring of virtual towns on the navigation strategies of children aged 6 to 15 years old. *Psychology Journal*, 13(1), 75-99.
- Duroisin, N., Bohbot, V. & Demeuse, M. (2016). Apprendre l'espace à l'école. In *Cahiers pédagogiques « Neurosciences et pédagogie »*, 527, 48-49.
- Etienne, S. (2012). *Etude des processus cognitifs sous-tendant les stratégies utilisées lors de l'apprentissage d'une tâche de navigation spatiale*. Thèse de doctorat en Sociétés, Politique, Santé publique. Sciences cognitives et Ergonomie. Université de Bordeaux 2, France.

- Farran, E., Courbois, Y., Van Herwegen, J. & Blades, M. (2012). How Useful are Landmarks when Learning a Route in a Virtual Environment? Evidence from Typical Development and Williams Syndrome. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111(4), 571-586.
- Freksa, C. (2004). Spatial Cognition an AI perspective. In R., López de Mantaras & L., Saitta (Eds.), *ECAI 2004*. Amsterdam: IOS Press.
- Fuchs, P. & Moreau, G. (2003). *Le traité de la réalité virtuelle*. Paris : Presse de l'Ecole des Mines de Paris.
- Gamo, S., Sander, E. & Richard, J-F. (2010). Transfer of Strategies by Semantic Recoding in Arithmetic Problem Solving. *Learning and Instruction*, 20, 400-410.
- Hamburger, K. & Knauff, M. (2011). Squareland: a Virtual Environment for Investigating Cognitive Processes in Human Wayfinding. *PsychNology Journal*, 9(2), 137-163.
- Humphreys, L., Lubinski, D. & Yao, G. (1993). Utility of Predicting Group Membership and the Role of Spatial Visualization in Becoming an Engineer, Physical Scientist, or Artist. *Journal of Applied Psychology*, 78(2), 250-261.
- Ishikawa, T., Fujiwara, H., Imai, O. & Okabe, A. (2008). Wayfinding with a GPS-Based Mobile Navigation System: A Comparison with Maps and Direct Experience. *Journal of Environmental Psychology*, 28, 74-82.
- Jansen-Osmann, P. & Berendt, B. (2002). Investigating Distance Knowledge Using Virtual Environments. *Environment and Behavior*, 34(2), 178-193.
- Kelly, D. & Gibson, B. (2007). Spatial Navigation: Spatial Learning in Real and Virtual Environments. *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, 2, 111-124.
- Klinger, E. (2008). *Apports de la Réalité virtuelle à la Prise en Charge du Handicap*. Paris : Techniques de l'ingénieur.
- Klippel, A., Tappe, H. & Habel, C. (2003). Pictorial Representations of Routes: Chunking Route Segments During Comprehension. In C. Freksa, W. Brauer, C. Habel & K.F. Wender (Eds.), *Spatial Cognition III. Routes and Navigation, Human Memory and Learning, Spatial Representation and Spatial Learning, Lecture Notes in Artificial Intelligence* (pp. 11–33). Berlin: Springer.
- Konishi, K., & Bohbot, V. D. (2013). Spatial Navigational Strategies Correlate with Gray Matter in the Hippocampus of Healthy Older Adults Tested in a Virtual Maze. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 5(1).
- Lafon, M., Vidal, M. & Berthoz, A. (2009). Selective Influence of Prior Allocentric Knowledge on the Kinesthetic Learning of a Path. *Experimental Brain Research*, 194(4), 541-52.
- Lambrey, S., & Berthoz, A. (2003). Combination of Conflicting Visual and Non-Visual Information for Estimating Actively Performed Body Turns in Virtual Reality. *International Journal of Psychophysiology*, 50, 101-115.
- Larrue, F. (2011). *Influence des interfaces dans le transfert du virtuel au réel*. Thèse de doctorat en Sciences Cognitives. Université de Bordeaux.
- Louail, T. (2010). *Comparer les morphogenèses urbaines en Europe et aux Etats-Unis par la simulation à base d'agents - Approches multi-niveaux et environnements de simulation spatiale*. Thèse de doctorat en Informatique, Université d'Evry, Evry.
- Munzer, S., Zimmer, H., Schwalm, M., Baus, J. & Alsan, I. (2006). Computer-Assisted Navigation and the Acquisition of Route and Survey Knowledge. *Journal of Environmental Psychology*, 26(4), 300-308.
- Nagy-Kondor, R. (2014). Importance of Spatial Visualization Skills in Hungary and Turkey: Comparative Studies. *Annales Mathématiques et Informatiques*, 43, 171–181.
- Nys, M., Gyselinck, V., Orriols, E. & Hickmann, M. (2015). Landmark and Route Knowledge in Children's Spatial Representation of a Virtual Environment. *Frontiers in Psychology*, 5.
- O'Keefe, J & Dostrovsky, J. (1971). The Hippocampus as a Spatial Map. Preliminary Evidence from Unit Activity in the Freely-Moving Rat. *Brain Research*, 34(1), 171–175.
- O'Keefe, J. & Nadel, L. (1978). *The Hippocampus as a Spatial Map*. Oxford: Clarendon Press.
- Peters, D., Wu, Y. & Winter, S. (2010). Testing Landmark Selection Theories in Virtual Environment. In C. Hölscher et al. (Eds.), *Spatial Cognition VII. Lecture Notes in Artificial Intelligence* (pp. 54-69). Berlin: Springer.

Complexifier quantitativement et qualitativement le contexte d'apprentissage pour faire émerger des stratégies cognitives variées : évaluation d'une habileté spatiale par l'utilisation d'environnements virtuels

- Piaget, J. & Inhelder, B. (1948/1972). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Pick, H., Rieser, J., Wagner, D. & Garing, A. (1999). The Recalibration of Rotational Locomotion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performances*, 25(5), 1179–1188.
- Psotka, J. (1995). *Exploring immersion in virtual reality*. New York: SIG-Advanced Applications.
- Quesnot, T. & Roche, S. (2015). Measure of Landmark Semantic Salience Through Geosocial Data Streams. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(1), 1-31.
- Smith, A. (2015). Spatial Navigation in Autism Spectrum Disorders: a Critical Review. *Frontiers in Psychology*, 31(6), 114-131.
- Sorby, S., (1999). Developing 3-D Spatial Visualization Skills. *Engineering Design Graphics Journal*, 63, 21-32.
- Tenbrinck, T., D'Odorico, T. Hertzberg, C., Mazman, G., Meneghetti, C., Reshoft, N. & Yang, J. (2012). Tutorial Report: Understanding Spatial Thought Through Language Use. *Journal of Spatial Information Science*, 5, 107-114.
- Tenbrink, T. (2008). The Verbalization of Cognitive Processes: Thinking-Aloud Data and Retrospective Reports. In W. Ramm & C. Fabricius-Hansen (Eds.). *Linearisation and Segmentation in Discourse. Multidisciplinary Approaches to Discourse* (pp.125-136). Oslo: University of Oslo.
- Tolman, E. (1948). Cognitive Maps in Rats and Men. *The Psychological Review*, 55(4), 189-208.
- Tolman, E. & Honzik, C. (1930). Introduction and Removal of Reward, and Maze Performance in Rats. *University of California Publications in Psychology*, 4, 257-275.
- Ventura, M., Shute, L., Wright, T. & Zhao, W. (2013). An Investigation of the Validity of the Virtual Spatial Navigation Assessment. *Frontiers in Psychology*, 4, 852-857.
- Wallet, G., Sauzéon, H., Larrue, F. & N'Kaoua, B. (2013). Virtual/Real Transfer in a Large-Scale Environment: Impact of Active Navigation as a Function of the Viewpoint Displacement Effect and Recall Tasks. *Advances in Human-Computer Interaction*, 1-7.
- Wallet, G., Sauzéon, H., Rodrigues, J. & N'Kaoua, B. (2009). Transfer of Spatial Knowledge from a Virtual Environment to Reality: Impact of Route Complexity and Subject's Strategy on the Exploration Mode. *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, 6(4), 1-25.