

UNIVERSITÉ PAUL SABATIER



Faculté de Médecine de Toulouse Rangueil

Institut de Formation en Psychomotricité

Le Walking Corsi est-il un test de navigation spatiale ?

Les individus utilisent-ils préférentiellement des données égocentrées ou allocentrées pour retenir le trajet à effectuer ?

Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'État de Psychomotricité

Yohana JONQUILLE

Juin 2022

Sommaire

Introduction.....	1
I- Partie théorique.....	2
1- Notions d'espace.....	2
1.1- Perception et repérage spatial.....	2
1.2- Repères topologiques.....	3
1.3- Systèmes de référence.....	3
1.3.1 Référentiel égocentré.....	3
1.3.2 Référentiels exocentrés ou allocentrés.....	4
1.4- La pensée spatiale.....	4
1.5- La navigation.....	5
1.5.1 Le comportement spatial.....	5
1.5.2 La représentation symbolique dans la navigation.....	7
1.5.3 Le langage dans la navigation.....	7
1.5.4 Modèles neurocognitifs de la navigation.....	9
Modèle de Wiener et al (2009).....	9
Modèle de Wolbers et Hegarty (2010).....	10
Modèle de Chrastil (2013).....	11
1.6- Neuropsychologie de l'espace.....	13
1.6.1 Voies dorsales et voies ventrales.....	13
1.6.2 L'intégration multi-sensorielle de l'information.....	14
1.7- Les tests qui mesurent les capacités spatiales.....	15
1.7.1 Les tests de navigation.....	15
Test d'orientation spatiale de Guiford-Zimmerman.....	16
L'épreuve des trajets au sol de Zazzo.....	16
Le Walking Corsi Test.....	16
1.7.2 Les tests sur la pensée spatiale.....	16
Principaux tests mesurant les fonctions visuo-spatiales.....	16
Test d'orientation droite-gauche.....	17
Test de développement de la perception visuelle (DTVP-3).....	18
Test de rétention visuelle de Benton (BVRT).....	18

Beery VMI – 6th edition.....	19
Traitements visuo-spatiaux de la Nepsy II.....	19
L'épreuve des bâtonnets.....	20
Test de rotation mentale.....	20
Test de praxie constructive tri-dimensionnelle de Benton.....	21
L'épreuve des blocs de Corsi.....	21
2- L'espace chez l'enfant.....	21
2.1- Pré-requis à la perception de l'espace.....	21
2.1.1 Le développement de la vision.....	22
2.1.2 Le développement de l'audition.....	23
2.1.3 Le développement de la proprioception et du système vestibulaire.....	24
2.2- La perception de l'espace.....	26
2.2.1 Théorie de l'attachement et comportement exploratoire.....	26
2.2.2 Le schéma corporel.....	28
2.2.3 La latéralité.....	29
3- Aspect neurologique.....	31
3.1- Maturité cérébrale, développements sensori-moteur et neuro-moteur.....	31
3.2- Cortex pariétal, cortex parahippocampique et représentation spatiale égo-centrée.....	32
3.3- L'hippocampe, la mémoire épisodique et la mémoire spatiale allocentrée.....	33
3.3.1 Apparition de la mémoire spatiale allocentrée à 2 ans.....	34
3.3.2 Amélioration de la résolution spatiale entre 18 mois et 4 ans.....	36
3.3.3 Amélioration de la résolution spatiale et temporelle de 3 ans et demi à 7 ans.....	36
3.3.4 Une carte cognitive sans vision entre 5 ans et 9 ans.....	38
4- Conclusions sur les capacités exploratoires de l'enfant.....	39
4.1- A la naissance.....	39
4.2- Dès 4 mois.....	39
4.3- A partir de 2-3 ans et jusqu'à 7-8 ans : l'orientation spatiale.....	40
4.4- A partir de 8 ans : la structuration spatiale.....	40
II- Partie pratique.....	41
1- Hypothèses.....	41

2- Procédure.....	41
2.1- Participants.....	41
2.2- Tests utilisés.....	42
2.2.1 L'épreuve de Piaget.....	43
2.2.2 Épreuve des trajets au sol de Zazzo.....	43
2.2.3 Le test de discrimination droite-gauche ou test de Bergen.....	44
2.2.4 Les blocs de Corsi.....	45
2.2.5 Le Walking Corsi.....	45
Création du test.....	45
Différentes versions du Walking Corsi Test.....	46
Ce que mesure le test.....	47
2.3- Protocole expérimental.....	48
2.4- Analyse des données.....	49
3- Résultats.....	49
3.1- Caractéristiques des tests selon l'âge et le sexe des sujets.....	50
3.1.1 Blocs de Corsi.....	50
3.1.2 Walking Corsi.....	51
3.1.3 Batterie de Piaget.....	51
3.1.4 L'épreuve des trajets au sol de Zazzo.....	52
3.1.5 Le test de Bergen, ou test de discrimination droite-gauche.....	52
3.2- Corrélations entre les tests.....	53
3.2.1 Corrélations significatives fortes.....	54
3.2.2 Corrélations significatives moyennes.....	54
3.2.3 Absence de corrélation.....	54
3.2.4 Recherche de corrélations en fonction de l'âge des participants.....	55
III- Discussion.....	56
Conclusion.....	59
Bibliographie.....	60
Annexes.....	66
Annexe 1 : L'épreuve de Piaget.....	66
Annexe 2 : Test de discrimination droite-gauche de Bergen.....	67

Annexe 3 : Blocs de Corsi.....	77
Annexe 4 : Walking Corsi.....	78
Résumé.....	79
Abstract.....	79

Introduction

L'espace est une notion complexe à laquelle les individus sont confrontés tous les jours, et pour tous les actes de la vie quotidienne. Si en psychomotricité les notions d'attention, de planification, de mémorisation, de visuo-construction et de mouvements sont centrales, la navigation est une capacité moins abordée. C'est pourtant l'action conjointe des différents processus qui permettent à l'individu de se déplacer et d'interagir de façon adaptée et efficace avec son environnement.

Il a semblé intéressant d'approfondir le sujet de la navigation au travers du Walking Corsi, test en cours d'étalonnage et qui est l'objet de plusieurs théories quant à ses qualités psychométriques et aux capacités qu'il permet de mesurer.

Une autre question se pose : L'utilisation préférentielle d'une stratégie égocentrique ou allocentrique évolue-t-elle avec l'âge du sujet ?

Pour répondre à ces questionnements, les notions d'espace, et plus précisément la navigation, seront développées dans un premier temps. L'accent sera ensuite mis sur le développement des capacités spatiales chez l'enfant.

Une étude de cohorte auprès d'enfants de 6 à 10 ans sera menée au regard de ces apports théoriques. Les hypothèses ainsi que la procédure y seront détaillés, puis les résultats seront communiqués. Une discussion viendra lier les résultats à la théorie, pour amener du sens à l'analyse des différentes données ainsi obtenues.

La conclusion viendra mettre les résultats en perspective avec le thème de ce mémoire et permettra une ouverture vers d'autres possibilités.

I- Partie théorique

1- Notions d'espace

1.1- Perception et repérage spatial

Pour Piaget (1948), se repérer dans l'espace est le fait de percevoir les relations des choses entre elles et de comprendre son déplacement par rapport aux objets. Pécheux (1990) définit le mouvement comme une activité de la personne qui s'organise dans un espace qui lui est extérieur. Ainsi s'orienter dans l'espace c'est être capable de se déplacer dans un milieu sans se perdre. Pour y arriver, il faut être capable de construire une représentation spatiale de l'environnement dans lequel on s'est déplacé. Cette représentation spatiale dépend à la fois de la qualité de l'interaction entre l'individu et le milieu et du degré d'expérimentation spatiale de ce dernier.

L'orientation spatiale avec locomotion permet une orientation géographique en fonction du comportement spatial de la personne, de l'expérience active qu'elle a eu dans ce milieu. Liben (1989) fait la distinction entre le comportement spatial qui est l'activité sensori-motrice dans l'espace, et la représentation mentale qui regroupe les moyens qu'a l'individu pour traiter les informations spatiales d'un environnement afin de s'y orienter de façon efficace.

Pour s'orienter dans l'espace on va donc prélever des points de repères, orienter et articuler notre corps, nos déplacements en fonction de ces repères. C'est pourquoi l'expérience dans le milieu favorise la mise en place de référentiels spatiaux structurés, l'utilisation de stratégies d'exploration et la construction d'une représentation spatiale de l'environnement.

La perception de l'espace influe l'adaptation de l'individu à celui-ci. La structuration de l'espace qui l'entoure permet à l'homme de se repérer au sein de son environnement et de s'y déplacer, d'organiser et de réaliser ses mouvements dans un cadre spatial référencé. L'appréciation et la gestion de l'espace, de la distance entre soi et les autres pose aussi les bases de la communication entre individus.

1.2- Repères topologiques

La première construction de l'espace va être de nature topologique. C'est à dire que les objets de l'environnement vont être considérés les uns après les autres, de manière juxtaposée.

Les repères topologiques sont des repères que l'on a vus et qu'on a pu appréhender dans notre environnement direct. Ce sont les repères qu'on peut prendre en référence car ils nous paraissent proéminents dans notre environnement et on sait qu'on est passé devant. Par exemple, en allant à l'école j'ai tourné au niveau de la boulangerie rouge.

1.3- Systèmes de référence

Les repères prélevés dans l'environnement sont inscrit dans un référentiel, c'est par rapport à ce dernier qu'on encode l'emplacement des repères. Le référentiel nous permet alors d'organiser les différentes tâches spatiales, et en particulier les tâches de navigation. Il existe deux systèmes de référence principaux, que l'on utilise au quotidien.

1.3.1 Référentiel égocentré

C'est l'utilisation de son propre corps comme point de référence à toute relation spatiale. D'après Hatwell (1990), les nourrissons n'ont accès qu'à ce référentiel pendant les deux premières années de leur vie. Ces repères sont relatifs au corps : à ma droite, derrière moi,... ou à des objets, mais depuis mon point de vue : à droite du canapé,...

Ce point de vue dépend de la position et de l'orientation du sujet qui seront respectivement l'origine et l'axe de référence pour toute mesure de distance (Simonnet, 2013). Pour désigner l'emplacement d'un objet par rapport au sujet, on peut s'exprimer en degrés ou en unités horaire en utilisant la métaphore de l'horloge : à 3 heures par rapport à l'emplacement initial du sujet.

1.3.2 Référentiels exocentrés ou allocentrés

Ces repères sont extérieurs au corps, cela consiste à utiliser un point de l'environnement extérieur comme référence lors de l'encodage d'une relation spatiale. On peut créer des cartes mentales, faire des rotations mentales et donner des indications depuis la position de l'autre ou par rapport à un objet (Berthoz, 1997).

Le référentiel allocentré peut être absolu ou relatif (Levinson, 1996).

Le référentiel allocentrique absolu est utilisé lorsque l'objet n'est pas présent dans l'environnement et qu'on ne peut le désigner en utilisant des repères que nous avons construits. L'information est alors construite en utilisant les quatre points cardinaux pour orienter l'objet, le déplacement ou donner simplement sa localisation.

Le référentiel allocentrique relatif correspond à tout objet choisi comme repère et à partir duquel on va définir les rapports spatiaux avec d'autres objets, construire les repères suivants.

1.4- La pensée spatiale

La pensée spatiale, anciennement cognition spatiale, implique par définition l'utilisation de l'ensemble des processus mentaux cognitifs suivants :

- la mémoire de travail. La mémoire de travail visuo-spatiale est particulièrement impliquée dans l'apprentissage d'un itinéraire à partir de matériel visuel, alors que la mémoire de travail verbal est sollicitée pendant l'apprentissage d'itinéraires expliqués verbalement ou présentés visuellement (réalité virtuelle).
- l'apprentissage spatial, permis notamment par les informations proprioceptives et vestibulaires, la manipulation mentale des informations spatiales ou des décisions d'itinéraire à prendre.
- la mémoire, avec le rappel des repères, une reconnaissance des lieux, des indications topologiques,...
- l'attention portée à l'environnement et aux déplacements.
- le raisonnement, pour notamment créer des liens entre deux zones connues, imaginer les raccourcis dans les cartes mentales.
- la résolution de problèmes.

La cognition spatiale a pour particularité que l'utilisation du langage n'est pas obligatoire à son bon fonctionnement (Grison et Gyselinck, 2019).

La pensée spatiale est définie comme la capacité de représenter, transformer et générer des informations symboliques non linguistiques (Linn et Petersen, 1985). Elle est donc la somme des capacités spatiales qui permettent la résolution de problèmes spécifiques dont la solution nécessite des déplacements ou des modifications d'un objet dans le temps. La résolution de problèmes spatiaux n'implique généralement pas le langage, car son utilisation est plus coûteuse (Soppelsa, 2018).

De par son indépendance au langage, le traitement cognitif des données spatiales peut être décrit comme étant universel. Cette théorie peut être soutenue par le fait que le bébé explore et intègre les informations perceptives bien avant d'apprendre à parler (Acredolo, 1978).

1.5- La navigation

1.5.1 Le comportement spatial

La navigation est la capacité qu'a un individu de se déplacer sans se perdre et à atteindre un but dans un environnement donné. Il existe plusieurs stratégies permettant de trouver son chemin.

Une stratégie simple consiste à suivre un trajet en se déplaçant d'un point à un autre.

Le déplacement par pilotage décrit le fait d'explorer son environnement à la recherche d'un élément ou d'une cible en particulier.

La navigation à l'estime est une stratégie particulière où l'individu déduit sa position à partir de la distance et de la direction empruntés. Ces stratégies déjà existantes chez les espèces animales sont décuplées chez l'humain grâce à ses capacités de représentation mentale (Van der Ham & Claessen, 2017).

Afin de ne pas nous perdre, nous utilisons des points de repères qui nous paraissent ressortir dans l'environnement, mais nous pouvons aussi élaborer des cartes ou utiliser le langage pour indiquer le chemin à prendre.

Newcombe, Uttal, et Sauter (2013) ajoutent que notre capacité à naviguer est liée à la représentation mentale que l'on fait des objets et des particularités de notre environnement, mais aussi de l'actualisation de notre position dans cet environnement en fonction de nos déplacements.

Siegel et White (1975) affirment que la capacité de navigation est permise par deux principales connaissances spatiales, qui sont les connaissances d'itinéraire et les connaissances de survol.

Un itinéraire peut être une route, un trajet à suivre familier ou connu par le biais d'un tiers. La connaissance d'itinéraires nécessite de connaître quel virage prendre, à quel repère, dans un environnement connu pour atteindre un but précis. Le référentiel égocentrique est ici prédominant, bien que l'utilisation d'un référentiel allocentrique soit possible.

Les connaissances de survol sont elles entièrement dépendantes d'un référentiel allocentrique dans la mesure où elles correspondent aux informations spatiales obtenues avec une vue depuis le ciel.

Noordzij, Zuidhoek et Postma (2006) ont cherché à savoir si la connaissance que l'on développe d'un environnement est différente, selon que nos connaissances soient de type survol ou de type itinéraire.

Les chercheurs ont évalué le degré de connaissance d'un environnement chez les participants après que ceux-ci aient bénéficié d'informations de survol, ou d'informations d'itinéraire. L'environnement inconnu est ici un zoo ou un centre commercial. Il est décrit verbalement aux participants d'une des deux façons suivantes :

- sous la forme d'un itinéraire, « tu marches jusqu'au magasin de jouets, et devant le magasin de jouets tu tournes à droite avec un angle de 90° , puis tu continues tout droit ».
- sous la forme d'une vue de dessus, « le magasin de jouets est à l'angle le plus au nord de la première partie ».

Après avoir laissé le temps aux participants d'assimiler les informations transmises, la qualité de la carte mentale qu'ils ont créée est évaluée de plusieurs façons. Dans l'épreuve de comparaison de distances, les chercheurs ont demandé aux participants

d'évaluer la distance entre des repères. Les participants qui ont le mieux réussis sont ceux ayant obtenu des connaissances de survol.

De cette expérience, Van der Ham et Claessen (2017) émettent l'hypothèse que nous pensons l'environnement vu de dessus, sous forme d'une carte mentale allocentrique. L'écart de performances entre les participant s'expliquerait alors par le fait que les individus ayant eu des connaissances d'itinéraire ont essayé de les transformer en carte mentale allocentrée, alors que les autres participants avaient directement une information allocentrée.

L'expérience a été reprise et adaptée pour être proposée à un groupe de personnes aveugles et à groupe de personnes voyantes. Toutes les personnes aveugles ont été plus performantes avec la connaissance d'itinéraire. On peut supposer que le fait de penser un environnement avec une carte mentale allocentrée n'est accessible que par l'expérience visuelle (Van der Ham et Claessen, 2017).

1.5.2 La représentation symbolique dans la navigation

La représentation symbolique est l'habileté propre à l'homme qui lui permet de remplacer un objet réel par des signes ou des symboles. Cette capacité de représentation symbolique de l'espace est importante dans la pensée spatiale car elle augmente nos capacités de résolution de problèmes spatiaux. On peut en effet utiliser les cartes, la production graphique et les croquis, ou encore le langage pour résoudre les problèmes spatiaux, et par extension naviguer dans l'espace (Soppelsa, 2018).

1.5.3 Le langage dans la navigation

L'enfant explore, découvre et maîtrise son environnement avec d'acquérir le vocabulaire associé (Hickman, 2012). C'est donc la maîtrise et les connaissances spatiales qui permettent à l'enfant d'acquérir le langage spatial. Celui-ci est évolutif, il commence avec des termes dichotomiques, et commence souvent avec dedans/dehors, dessus/dessous,...

La connaissance des termes droite/gauche se fait plus tardivement, avec la prise de

conscience par l'enfant de sa propre asymétrie corporelle qui lui permettra de différencier sa droite et sa gauche, et plus tard de projeter ces termes à son environnement (Lurçat, 1976).

Le langage spatial regroupe tout le vocabulaire qui nous est nécessaire à la résolution de problèmes spatiaux. Il nous permet de décrire les relations entre les objets, de donner un itinéraire. Pour transmettre les informations de la manière la plus compréhensible possible et adaptée au contexte, on utilise soit une description catégorielle, soit des coordonnées (Postma, 2016).

Postma indique que dans la description catégorielle, nous utilisons soit des informations de localisation, soit des informations asymétriques.

Les informations de localisation sont communiquées par des mots spatiaux qui permettent la perception d'une position approximative de l'objet. Cette perception de l'objet peut être égocentrique ou allocentrique, selon le référentiel utilisé. On retrouve essentiellement le vocabulaire à gauche / à droite, en face / à côté en précisant si c'est depuis mon point de vue, ou depuis un objet (le livre à ma droite / le livre à côté de la lampe).

Les catégories asymétriques regroupent les notions devant / derrière, dessus / dessous qui impliquent une perception de l'extérieur et des relations des objets entre eux. On n'est pas obligé de voir l'environnement décrit pour visualiser la relation entre un objet qui est dessus et celui dessous, ni même devant ou derrière. Cela nous est permis par nos connaissances des relations spatiales.

La description par coordonnées est utilisée dans un cadre différent, lorsque l'utilisation d'informations précises est importante pour l'action qui va être menée sur l'environnement. On utilise alors un référentiel métrique pour les distances.

Le langage spatial n'est pas universel, il diffère selon les cultures et la construction grammaticale de la langue parlée. Au-delà de la construction des phrases qui peut différer, certains pays favorisent l'utilisation de référentiels égocentriques, alors que d'autres se basent sur des référentiels allocentriques.

En Europe, nous favorisons l'utilisation d'un référentiel égocentrique quand nous donnons des indications spatiales, y compris pour les itinéraires.

A l'inverse, dans une situation en intérieur où les enfants Aborigènes australiens de 12 à

15 ans pouvaient utiliser aussi bien un référentiel égocentrique que géocentrique, trois quarts des enfants ont préféré utiliser des informations géocentriques pour communiquer. Au Népal et en Inde, les mères utilisent majoritairement le référentiel géocentrique (points cardinaux) pour s'adresser à leurs enfants, et ce depuis leur plus jeune âge. Dès 3 ans, il a été observé que les enfants utilisaient également des indications et un vocabulaire spatial adapté au référentiel géocentrique, qui est devenu leur norme (Dasen, 2006 ; Levinson, 2003).

Ces études montrent que le langage peut néanmoins impacter la façon dont est traitée l'information spatiale.

1.5.4 Modèles neurocognitifs de la navigation

La navigation est une habileté complexe qui fait l'objet de nombreuses recherches depuis des siècles, et malgré cela les scientifiques n'ont pas trouvé de consensus pour l'expliquer en un modèle unique. Les chercheurs se rejoignent sur le fait que la navigation soit une fonction cognitive complexe, avec de nombreuses composantes.

Van der Ham et Claessen (2017) ont proposé la synthèse des modèles empiriques les plus récents qui essaient, grâce à la littérature, de proposer un modèle neurocognitif unique de la navigation.

Modèle de Wiener et al (2009)

Wiener et al présentent une taxonomie centrée autour du comportement de navigation. L'accent est ici porté sur les processus cognitifs qui aident à la prise de décision en fonction de la tâche d'orientation et de ses modalités.

S'il manque à ce modèle les notions de référentiels, la prise de repère ou le sens de direction, il offre tout de même un point de départ qui permet de caractériser le comportement spatial. Ce modèle pourrait être modifié pour inclure les autres aspects de la navigation (Van der Ham et Claessen, 2017).

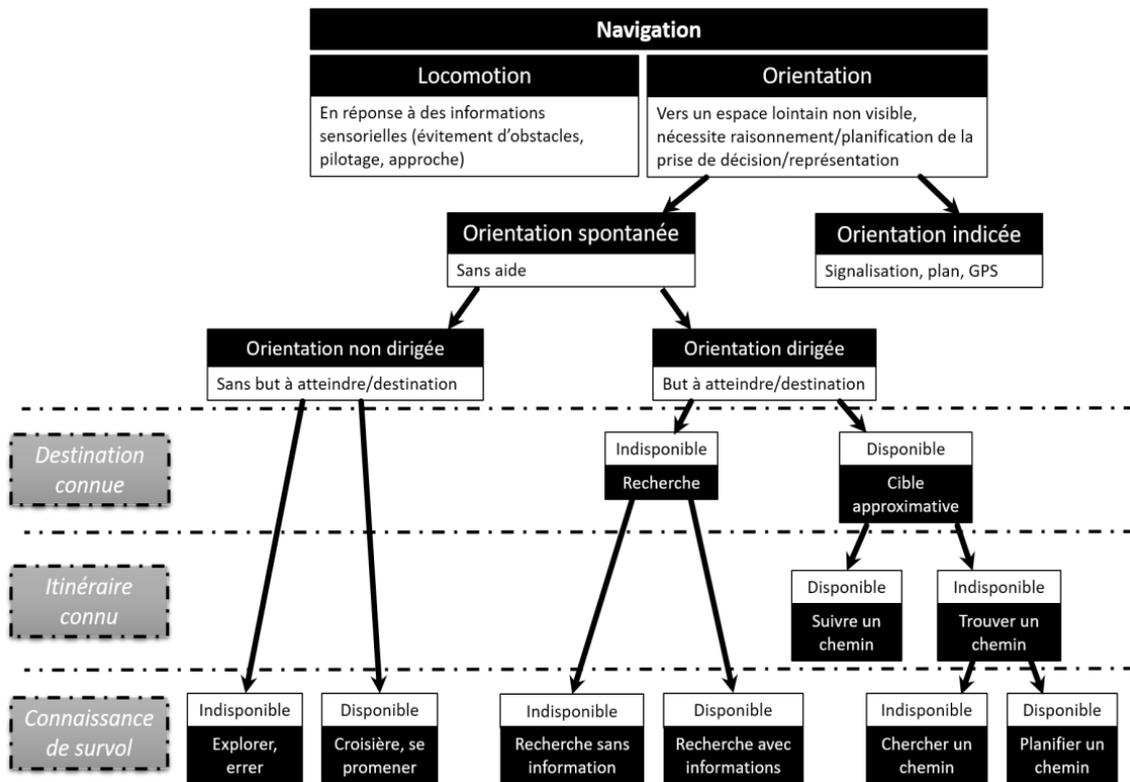


Figure A : Modèle neurocognitif de la navigation de Wiener et al (2009)

Modèle de Wolbers et Hegarty (2010)

Le modèle Wolberts et Hegarty est celui qui est le plus cité dans la littérature car il présente l'avantage non négligeable d'organiser la majorité des processus impliqués dans la navigation tout en faisant le lien avec la perception, l'encodage et la représentation de l'information liée à la navigation (Van der Ham et Claessen, 2017).

Le principal défaut de ce modèle est qu'il propose un schéma du fonctionnement chronologique des processus impliqués dans la navigation, sans toutes fois aborder leurs caractéristiques fonctionnelles.

L'encodage de points de repères se fait sur les trois niveaux de ce modèle, et deux études viennent proposer d'aborder la mémoire des repères comme une fonction unitaire indépendante de ces catégories.

L'agnosie topographique est une incapacité à utiliser les points de repères présents dans l'environnement pour s'orienter. Le sujet peut toujours représenter des lieux, des plans ou des itinéraires qui lui sont connus. En revanche, si on montre à la personne un cliché d'un endroit qui lui est familier, ou dans lequel elle se trouve actuellement, elle ne reconnaît pas

du tout son environnement.

D'après le modèle de Wolbers et Hegarty, la personne ne devrait pas avoir de problèmes à naviguer dans son environnement si sa perception, le traitement et la représentation spatiale ne sont pas altérés. Or, ce n'est pas le cas, on peut donc confirmer que la mémoire des repères et leur reconnaissance est probablement une fonction unitaire indépendante (Aguirre et d'Esposito, 1999 ; Mendez et Cherrier, 2003).

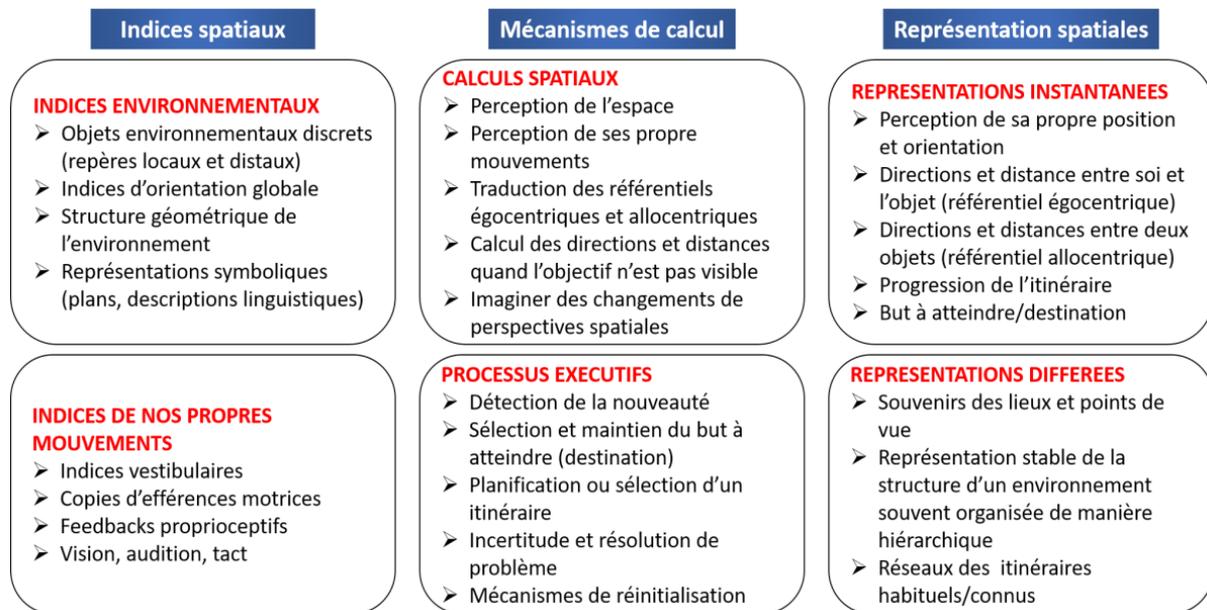


Figure B : Modèle neurocognitif de la navigation de Wolbers et Hegarty (2010)

Van der Ham et Claessen (2016) émettent l'hypothèse qu'il faudrait créer un modèle sur les capacités de navigation dans lequel les fonctions cognitives impliquées et les processus seraient détaillés, sans relation chronologique.

Modèle de Chrastil (2013)

Chrastil a construit son modèle de navigation en s'appuyant sur les corrélats neuronaux. Il décrit quatre catégories de connaissances spatiales et sept processus cognitifs qui vont venir s'inscrire dans ces catégories.

Dans la réalisation de sa taxonomie, Chrastil a choisi de distinguer la connaissance de l'itinéraire et la connaissance de survol, bien que ce postulat soit discuté dans la littérature.

Les connaissances graphiques sont ici décrites comme une catégorie dans les connaissances spatiales, ce qui fait d'elles une habileté spatiale à représenter un espace réel en carte mentale. Les connaissances graphiques seraient alors un mélange entre la connaissance de survol, qui permet de créer une carte mentale, et l'itinéraire qui permet le déplacement réel. La carte mentale devient alors l'itinéraire pour naviguer dans l'espace. En réalité, si l'on demande à une personne de nous indiquer le chemin entre deux points, il va utiliser une carte mentale pour nous indiquer le chemin, sans avoir pour autant parcouru ce chemin de lui-même.

	Repère	Itinéraire	Connaissance graphique (carte mentale)	Survol
Reconnaissance d'un lieu	X	X	X	X
Apprentissage par séquence		X	X	
Identification des points de prise de décision	X	X	X	
Apprentissage de la réponse		X		
Association d'idées		X	X	
Localisation du but à atteindre			X	X
Intégration du chemin				X

Figure C : Modèle neurocognitif de la navigation de Chrastil (2013)

Pour conclure sur ces modèles neurocognitifs de la navigation, Van der Ham et Claessen (2017) soulignent qu'ils sont basés sur la littérature, et qu'à ce jour, aucune étude n'a été réalisée pour les expérimenter et tester leur viabilité. Pour cela, il faudrait les tester d'un point de vue neurocognitif et affirmer que les différents processus sont indépendants et représentent des fonctions différentes.

Des études à grande échelle mesurant les différences inter-individuelles dans des tâches de navigation où tous les processus cognitifs sont engagés seraient nécessaires. Les données quantitatives, mais aussi qualitatives avec l'observation clinique des individus peuvent aider dans l'identification et la séparation des processus.

1.6- Neuropsychologie de l'espace

1.6.1 Voies dorsales et voies ventrales

Le traitement de l'information visuelle se fait par deux voies. D'abord elle arrive par le noyau géniculé latéral du thalamus et rejoint le cortex strié du lobe occipital. Du cortex, l'information est ensuite projetée vers les aires préstriatales, extrastriatales et les aires associatives visuelles. Le traitement de l'information par l'ensemble de ces aires permet de donner le sens des couleurs, des formes, de la localisation et du mouvement. C'est à ce moment que les informations visuelles sont divisées en 2 voies : la voie ventrale occipito-temporale et la voie dorsale occipito-pariétale (Van der Ham et Ruotolo, 2017).

Après être passée par le noyau géniculé latéral du thalamus, l'information visuelle passe du cortex strié, avec l'aire V1, aux aires préstriées, les aires V2 et V3. De là l'information transite par l'aire V4 et est ensuite projetée vers le cortex inféro-temporal par la voie ventrale. Ces régions sont impliquées dans le traitement de l'identification des objets et de leurs attributs (formes, couleurs, et textures) (Ungerleider et Mishin, 1982).

La voie ventrale fait un traitement statique de l'information, que ce soit pour les représentations en deux ou en trois dimensions. Cette voie, aussi appelée la « voie du quoi » permet notamment la réalisation d'activités de visuo-construction et la reconnaissance des objets et de leurs caractéristiques (Goodale et Milner, 1992).

Dans la voie dorsale, l'information visuelle du cortex strié, avec l'aire V1, est projetée vers l'aire visuelle temporale moyenne, ou V5. De là, l'information est envoyée aux régions médiale et médiale supérieure du lobe temporal, et sur le lobe pariétal ventral inférieur. Cette voie recueille les informations de mouvements et de direction, c'est pourquoi elle est impliquée dans l'intégration des fonctions visuelles motrices (Ungerleider et Mishin, 1982).

La voie dorsale permet un traitement dynamique de l'information, en lien avec le mouvement. Cette voie, aussi appelée « voie du où » permet la réalisation des tâches d'attention spatiale, de rotation mentale et de localisation (Goodale et Milner, 1992).

La voie dorsale est elle-même subdivisée en 3 voies : pariétale pré-motrice, pariétale préfrontale et médiale temporale. Cela permet d'encoder également les mouvements des yeux et du corps, la stabilité des représentations visuelles pendant le mouvement et le traitement de l'espace distant. A ces informations s'ajoutent les informations du champ visuel central et des champs périphériques, permettant ainsi une représentation de l'espace égocentrique en lien avec les segments corporels, leurs mouvements et orientations (Kravitz, Saleem, Baker et Mischkin, 2011 in Van der Ham & Ruotolo, 2017).

L'utilisation préférentielle d'une de deux voies se fait en fonction de la nature du problème, statique ou dynamique, et du coût que cela a pour la personne. En pratique, les deux voies fonctionnent régulièrement ensemble, permettant ainsi un traitement global de l'espace. L'association aux informations de formes et de couleurs des objets de la voie ventrale des informations dynamiques de localisation et de manipulation de la voie dorsale permet la production d'un mouvement finalisé et adapté, en cohérence avec le traitement des informations spatiales (Van der Ham et Ruotolo, 2017).

1.6.2 L'intégration multi-sensorielle de l'information

L'intégration multi-sensorielle est la capacité cérébrale qui met en concordance les informations provenant des différents canaux sensoriels afin de générer un ensemble cohérent. Elle permet l'extraction des informations nécessaires à l'adaptation à l'environnement.

L'appréhension adaptative de l'espace, éviter un objet, adapter sa prise à la taille et à la forme des objets sont permis par la somme des informations visuelles, auditives et somato-sensorielles. Cet ensemble permet à la personne de percevoir son espace péri-personnel (CNRS, 2005). Ces informations sont perçues à différents niveaux corporels et sont traitées dans des zones cérébrales distinctes. Les systèmes doivent donc communiquer pour générer un ensemble cohérent et aboutir à une information spatiale.

Van der Stoep, Postma et Nijboer (2017) ont décrit les différents principes de fonctionnement des neurones bimodaux et trimodaux, qui répondent respectivement à 2

ou 3 stimuli sensoriels différents :

- l'effet positif de l'alignement spatial des informations sur l'activité de ces neurones explique lorsque les stimuli proviennent de la même source environnementale, l'information est mieux intégrée au niveau du système nerveux.
- la proximité temporelle est similaire, si deux informations sont émises dans le même intervalle temporel, alors il y a renforcement de l'intégration sensorielle.
- le principe d'efficacité inversée explique que plus l'information reçue est faible, plus l'activation multi-sensorielle est activée permettant ainsi d'augmenter la perception des stimuli de faible intensité, et vice versa.

Toutefois, ces stratégies ne sont pas toujours présentes et dépendent souvent de la nature de la tâche en cours de réalisation. Dans les situations où les différentes informations sensorielles se contredisent, il y a hiérarchisation d'un sens par rapport à l'autre, en faveur du sens le plus fiable au moment.

L'intégration multi-sensorielle permet de recevoir une information plus complète, et par conséquent permet au sujet d'augmenter son efficacité face aux données spatiales. En situation de double tâche par exemple, le fait de recevoir une information spatiale multi-sensorielle mobilise plus l'attention que si on ne recevait qu'une information uni-sensorielle (Van der Stoep, Postma et Nijboer, 2017).

1.7- Les tests qui mesurent les capacités spatiales

L'espace n'étant pas une donnée unitaire, il est important d'avoir plusieurs outils nous permettant de caractériser les différentes habiletés spatiales.

1.7.1 Les tests de navigation

Actuellement, il existe peu de tests étalonnés qui permettent d'évaluer les capacités de navigation d'une personne. On retrouve principalement 3 tests : le test d'orientation spatiale de Guiford-Zimmerman, l'épreuve des trajets au sol de Zazzo et le Walking Corsi Test.

Test d'orientation spatiale de Guiford-Zimmerman

Ce test d'orientation spatiale est une mesure de la résolution de problèmes spatiaux par une analyse qui prend en compte le déplacement du corps. Il faut ici trouver quel changement de position est impliqué dans deux vues consécutives. 60 items sont proposés au sujet, avec une complexité croissante. Chaque item est composé de 2 représentations d'un paysage vu depuis un bateau. Le sujet doit alors dire quel mouvement du bateau permet le passage du premier point de vue au second. Ce test s'adresse aux adultes uniquement (Soppelsa, 2018).

L'épreuve des trajets au sol de Zazzo

L'épreuve des trajets au sol de Zazzo est une épreuve unique en 1982 car elle est la première épreuve à proposer une lecture de plan bidimensionnelle et le passage à un plan tridimensionnel avec déplacement du sujet. Ce test est étalonné de 5 ans 6 mois à 11 ans 6 mois (Marquet-Doléac, 2018).

Le Walking Corsi Test

Ce test correspond à une version agrandie, sur tapis, des blocs de Corsi. Il est étudié depuis 2008, lors de sa création par Piccardi et al. Les modalités du Walking Corsi Test seront davantage développées dans la seconde partie de ce mémoire.

1.7.2 Les tests sur la pensée spatiale

Principaux tests mesurant les fonctions visuo-spatiales

Le tableau ci-dessous présente une liste exhaustive des tests permettant d'évaluer les fonctions visuo-spatiales des individus, selon des dimensions plus précises et l'âge du sujet (Lewandowski, 2018).

Par la suite, certains tests seront détaillés, il s'agit essentiellement de ceux bénéficiant d'un étalonnage français, ainsi que les plus communs en psychomotricité.

Dimensions	Tests	Subtests	Âge
Visuo-perceptive	DTVP-3	Discrimination figure-fond Constance de forme Complétion visuelle	4-12 ans
	K-ABC-II	Reconnaissance de formes, reconnaissance de visages	3-12 ans
	Test de rétention visuelle	Administration A	8-11 ans
	Test des formes identiques		6-17 ans
	GEFT PEFT CEFT		adulte 3-5 ans 6-10 ans
	Benton Facial Recognition Test		7-14 ans
	Beery VMI	Visual Perception	2-18 ans
Visuo-spatiale	Nepsy-II	Flèches; Orientation	3-12 ans
	Jugement d'orientation des lignes de Benton		7-14 ans
	Test de rotation mentale		15-19 ans
	Blocs de Corsi		4-12 ans
Visuomotrice	M-ABC	Dextérité manuelle 3	4-12 ans
	DTVP-3	Coordination visuo-motrice	4-12 ans
	Nepsy-II	Précision visuo-motrice	3-12 ans
	Beery VMI	Motor coordination	2-18 ans
Visuoconstructive Dessin	Figure de Rey A Figure de Rey B		6 ans-adulte 3-6 ans
	Nepsy-II	Copie de figures	3-12 ans
	Test de rétention visuelle	Administration M	8-11 ans
	DTVP-3	Copie	4-12 ans
	Beery VMI		2-18 ans
	Dessin de l'horloge		6-12 ans
Visuoconstructive Assemblage 2D	Test des bâtonnets		7-12 ans
	WISC IV	Cubes	6-17 ans
	K-ABC-II	Triangles	3-12 ans
Visuoconstructive Assemblage 3D	Test des praxies tri-dimensionnelles de Benton Nepsy-II	Cubes	5-10 ans Adultes 3-12 ans

Figure D: Tableau regroupant les tests visuo-spatiaux (Albaret, 2018)

Test d'orientation droite-gauche

La batterie de Piaget-Head, ou test d'orientation droite-gauche évalue la connaissance des notions droite et gauche sur soi, sur autrui et par rapport aux objets. Elle permet d'obtenir une échelle de développement de 6 à 12-14 ans. Ce test est constitué de 3 épreuves du test de Piaget et 3 épreuves du Test original de Head.

Les épreuves du test de Piaget seront détaillées plus tard dans ce mémoire.

Les 3 épreuves du Test original de Head sont les suivantes :

- imitation des mouvements de l'observateur, en face à face
- exécution des mouvements sur ordre oral
- imitation sur figures schématiques (main droite ou gauche qui va montrer l'œil ou l'oreille côté gauche ou droit) (Lewandowski, Albaret, 2018).

Test de développement de la perception visuelle (DTVP-3)

La dernière édition du test de Frostig (DTVP-3) présente 5 subtests, eux-mêmes répartis en deux indices selon la part de motricité qu'ils comportent :

- le subtest 1 « coordination visuo-motrice » consiste à tracer un trait entre des lignes droites ou incurvées d'écartement varié
- le subtest 2 « copie » porte sur 18 formes géométriques de complexité croissante
- le subtest 3 « figure-fond » nécessite de repérer, au sein d'un ensemble de figures enchevêtrées, différentes formes plus ou moins simples
- le subtest 4 « closure ou complétion visuelle » demande de compléter mentalement des formes géométriques afin d'indiquer celle qui correspond au modèle présenté
- le subtest 5 « constance de forme » porte sur le repérage de formes géométriques simples dont la taille, l'orientation et l'entourage varient.

Ce test est étalonné sur une population d'enfants américains entre 4 et 12 ans (Rontani, Soppelsa, Albaret, 2018).

Test de rétention visuelle de Benton (BVRT)

Ce test évalue plusieurs aspects des fonctions visuo-spatiales : visuo-moteur, visuo-spatial et visuo-constructif, ainsi que la mémoire visuelle. L'étalonnage français concerne les enfants de 8 à 12 ans.

Le BVRT se compose de deux carnets de 2 séries de procédures, certaines proposent une reproduction graphique de formes géométriques, alors que les autres sont sur un système de choix multiples. Pour les 2 séries, on retrouve respectivement 4 et 5

administrations qui font varier les paramètres de temps d'exposition et les conditions de reproduction (Albaret, 2018).

Beery VMI – 6th edition

Le Beery VMI (Beery-Buktenica Developmental tests of Visual-Motor Integration 6th edition) est un test évaluant l'aptitude du sujet à intégrer ses capacités visuelles et motrices dans le but d'accomplir une tâche visuo-motrice. Ce test présente le grand avantage d'être étalonné de 2 à 100 ans.

La principale épreuve propose une copie de 24 formes et figures géométriques dans un espace limité. Deux épreuves peuvent être rajoutées, pour affiner l'évaluation clinique :

- l'échelle de perception visuelle, l'examineur demande au sujet de pointer des images ou formes géométriques. Cela permet d'évaluer la reconnaissance visuelle et la perception en enlevant la dimension motrice.
- l'échelle de coordination motrice permet une observation clinique de l'équilibre et de la motricité fine, pendant que le sujet réalise des tâches de coordination visuo-motrice chronométrées (Faddoul, 2018).

Traitements visuo-spatiaux de la Nepsy II

Ce domaine est composé de 6 épreuves envisageant la perception, l'analyse, la manipulation d'informations de nature spatiale en 2 ou 3 dimensions. On retrouve les compétences visuo-spatiales et visuo-motrices en 2D et 3D, le jugement d'orientation, la localisation spatiale et la discrimination visuelle (Marquet-Doléac, 2018). Les épreuves :

- la copie de figures met en jeu les compétences motrices et visuo-spatiales dans une tâche de reproduction de figures géométriques en 2D. Elle propose une difficulté croissante, tant sur la densité d'informations que sur les rapports topologiques,...
- les cubes, qui évaluent les aptitudes visuo-spatiales et visuo-motrices pour des constructions 3D d'après des modèles bidimensionnels, ou tridimensionnels pour les plus jeunes.
- les flèches permettent de mesurer l'aptitude d'un individu à juger de l'orientation d'une droite.

- les puzzles géométriques évaluent les capacités de discrimination visuelle, de localisation et de rotation mentale. L'enfant doit retrouver des modèles cibles qui peuvent être retournés, à l'intérieur d'un rectangle.
 - les puzzles d'images proposent aux enfants de replacer plusieurs sections d'une photo à l'intérieur d'une photo quadrillée incomplète. C'est ici la discrimination qui est mise en jeu car il faut extraire un élément d'un fond confus.
 - l'orientation, l'enfant doit retrouver une maison à partir d'un plan schématique.
- Les épreuves s'adressent aux 5-16 ans, à l'exception des puzzles d'images qui commencent à 7 ans.

L'épreuve des bâtonnets

Cette épreuve évalue les praxies visuo-constructives et la capacité à opérer des transformations spatiales, ici la réversibilité, chez des enfants de 6 ans 6 mois à 11 ans 5 mois, étalonnage français. Ce test peut également être proposé à des sujets cérébrlésés.

4 bâtonnets de bois avec une extrémité noire sont à la disposition de l'examineur, et 4 à disposition du sujet. 10 figures sont à reproduire. Dans un premier temps l'examineur est à côté du sujet, et les deux parties reproduisent les figures dans le même sens. Dans la seconde partie, l'examineur est en face du sujet, qui doit alors procéder à une rotation à 180° pour proposer une figure identique (Albaret, 2018).

Test de rotation mentale

Chaque item du test de Vandenberg et Kuse est composé de 5 figures alignées, avec un modèle à gauche suivi de 4 structures parmi lesquelles le sujet doit identifier celles qui sont en tout point identiques au modèle. En France, ce test a été étalonné sur une population de lycéens de 15 à 19 ans. Le principal intérêt de ce test est de pouvoir être présenté dans le cadre d'un examen psychomoteur de l'adulte. Il est également régulièrement utilisé dans le cadre de recherches sur des populations adultes (Albaret, 2018).

Test de praxie constructive tri-dimensionnelle de Benton

Le test de Benton propose 3 modèles de construction en bois, avec les 29 blocs nécessaires à leur réalisation. Ce test est proposé aux adultes cérébrolésés de 16 à 60 ans, et aux enfants de 5 ans 4 mois à 10 ans 3 mois.

Il permet de renseigner sur les capacités visuo-constructives des enfants, notamment dans le dépistage d'un Trouble Développemental de la Coordination. Chez les adultes cérébrolésés, ce test permet de distinguer les atteintes de l'hémisphère droit de celles de l'hémisphère gauche aussi bien pour la note totale, que pour le type d'erreurs, les sujets cérébro-lésés du côté droit présenteraient, par exemple, plus de phénomènes d'accolement (Albaret, 2018).

L'épreuve des blocs de Corsi

Le test des blocs de Corsi permet l'évaluation des performances en mémoire visuo-spatiale à court terme et en mémoire de travail chez les sujets âgés de 6 à 12 ans. Ce test sera développé plus en détail dans la seconde partie de ce mémoire.

2- L'espace chez l'enfant

Le point de départ à l'organisation de l'espace est la différenciation entre soi et l'environnement, avec la conscience de ses limites corporelles propres et de ce qui se passe de l'autre côté de ces limites, le dehors.

2.1- Pré-requis à la perception de l'espace

Pour construire, comprendre et appréhender l'espace qui l'entoure, l'enfant va apprendre à l'explorer avec ses capacités perceptives, visuelles, auditives,... qui évoluent très rapidement dès sa naissance. La perception de l'espace évolue au même rythme que l'enfant et va dépendre dans un premier temps de la maturation de son système neuro-sensoriel.

2.1.1 Le développement de la vision

Chez l'Homme, le développement de la vision est soumis au développement de plusieurs capacités sous-jacentes, qui vont mûrir dès la naissance de l'enfant pour atteindre la précision de la vision d'un adulte.

La perception des objets est permise grâce à plusieurs procédés. On retrouve en premier l'acuité visuelle qui est le pouvoir de discrimination de l'œil, la capacité à voir distinctement les détails afin de les reconnaître.

Dans le but d'évaluer l'acuité visuelle des nourrissons, Held et al. (1981) ont mené des recherches sur l'acuité visuelle des nourrissons en utilisant des planches stimuli avec des fréquences de traits différents. Le bébé est toujours dans une recherche de stimulation, et la planche qu'il va regarder le plus longtemps permettra de déduire quel degré de stimuli visuel il est capable de discriminer, l'hétérogénéité étant plus stimulante que l'homogénéité. L'acuité visuelle du nouveau-né correspondrait à des barres sombres de 2,5mm de larges vues à une distance de 30cm. C'est à 4 ans que l'acuité visuelle de l'enfant se superpose à celle de l'adulte.

La perception de la couleur permet de percevoir les objets, notamment pour les surfaces de même brillance mais de couleurs différentes, et aussi les distances car les objets lointains nous apparaissent légèrement bleutés. Teller et Bornstein (1987) ont montré que les bébés de moins de 3 mois sont aussi sensibles que les adultes aux variations du spectre des couleurs, mais ne perçoivent pas bien la couleur bleue. Dès 4 mois le nourrisson perçoit les mêmes catégories de couleurs qu'un adulte (Bornstein, 1981).

La perception de la profondeur et de la distance impliquent d'autres procédés. On retrouve d'abord les indices fournis par le mouvement. Ici, la rétine est stimulée sur plusieurs points sans mobiliser la coordination binoculaire. Quand une image se rapproche rapidement, elle grossit très rapidement sur la rétine et déclenche un réflexe de protection

face à ce danger. A moins d'un mois et face à cette situation, les bébés se rejettent vers l'arrière, écarquillent leurs yeux et placent leurs bras entre eux et l'objet en approche (Bower et al, 1971). En revanche, quand l'objet se déplace rapidement mais de façon asymétrique pour ensuite passer à côté du bébé, on ne retrouve pas cette réaction, juste une poursuite oculaire. Ainsi le bébé est sensible dès sa naissance aux notions de rapprochement et d'éloignement (Ball et Tronick, 1971).

« L'expérience de la falaise visuelle » (Gibson et Walk, 1960) propose à des bébés âgés de 6 mois de se déplacer sur une plaque de verre pour rejoindre leur maman, de l'autre côté. Sous la plaque de verre un dispositif de falaise est simulé par l'utilisation d'une surface texturée placée « côté proche », puis « côté profond ». En modifiant les paramètres de tailles des carreaux « profonds » et « proches », les chercheurs ont montré, grâce à l'attitude et au refus de traverser des bébés, qu'ils utilisent la parallaxe du mouvement. Cette dernière dit que quand le sujet bouge, les éléments proches se déplacent plus vite dans le champ visuel que les éléments lointains. Avant 6 mois, certains bébés traversent la falaise visuelle, mais aucun ne traverse au-delà de 6 mois.

Avant la fin de leur première année, les bébés peuvent détecter les caractéristiques et la distance des objets dans leur environnement et peuvent diriger directement leur regard sur le point qui les intéresse le plus. Tous ces acquis sont primordiaux pour pouvoir construire une représentation de son environnement et développer des capacités exploratoires.

2.1.2 Le développement de l'audition

Le modèle d'Eisenberg (1976) qui repose sur l'organisation phylogénétique de l'espèce humaine ainsi que sur les recherches antérieures aux siennes semble être le plus complet sur les capacités auditives du nourrisson. Le nouveau-né possède des capacités auditives très développées, proches de celles de l'adulte. Il arrive à différencier les sons en fonction de leur fréquence, et ne réagit pas de la même façon aux fréquences basses qu'aux fréquences hautes. Son attention est plus mobilisée par les sons de basse fréquence, celle utilisée lorsque l'on parle normalement. Le nourrisson montre une nette préférence pour les tonalités basses, qui auraient des connotations agréables dans la

mesure où ce sont les fréquences utilisées par ses proches pour lui parler avec affection. Inversement, le bébé se retrouve en état de détresse face à des fréquences hautes. Ces réactions seraient réflexes, un héritage de l'évolution (De Broca, 2017).

Lorsqu'on propose des signaux complexes et variables aux nourrissons, ils expriment des réactions différenciées, ce qui montre qu'ils peuvent extraire des informations parmi un stimuli important.

Plus précisément, le fœtus est capable de percevoir des sons dès la 26ème semaine d'aménorrhée, et le système auditif est presque mature dès le 7ème mois de grossesse. A sa naissance, bébé est capable de reconnaître la voix de sa mère, et celle de son père s'il l'a beaucoup entendue. Jusqu'à ses 3 mois il réagit aux sons par sursaut, clignement des yeux et mimiques faciales. Dès 3 mois il est capable d'orienter sa tête vers le son entendu, il peut réagir à une voix même sans en voir l'émetteur.

Il est important de noter que les réactions aux stimuli auditifs sont limitées par le développement moteur et cognitif de l'enfant (De Broca, 2017).

Les informations auditives permettent de transmettre des données de localisation et distance. Elles sont peu souvent traitées de façon isolée, ces informations viennent essentiellement en soutien des autres stimuli dans le cadre de l'intégration multi-sensorielle de l'information (Van der Stoep, Postma et Nijboer, 2017).

2.1.3 Le développement de la proprioception et du système vestibulaire

La proprioception est la configuration actuelle du corps, connue grâce aux signaux sensoriels reçus. Cette sensibilité recueille les données propres au corps et à son emplacement dans l'espace, qu'il soit ou non en mouvement. Le flux d'informations est reçu en continue, ce qui permet à la proprioception de jouer un rôle important dans l'ajustement postural dans la mesure où elle influe le tonus musculaire.

La proprioception est un système sensoriel qui reçoit ses informations de différents capteurs proprioceptifs : les récepteurs articulaires et musculaires, les récepteurs cutanés, la vue, les afférences cervicales, le système vestibulaire et les afférences psycho-émotionnelles.

Parmi les récepteurs articulaires on retrouve les corpuscules de Ruffini, situés dans la capsule articulaire. Ils transmettent l'information que les muscles sont contractés ainsi que la vitesse et la direction des mouvements réalisés. Les organes de Golgi sont dans les ligaments et tendons articulaires. Ils communiquent la force produite par un muscle et l'emplacement précis des articulations à chaque instant. Ils envoient un message à la moelle épinière qui inhibe le motoneurone lorsque la contraction d'un muscle est trop importante, permettant la relaxation de ce dernier. Les corpuscules paciniformes sont des récepteurs d'accélération. Peu nombreux dans la capsule articulaire, ils ne s'activent que pour les mouvements rapides.

Les mécano-récepteurs cutanés transmettent souvent la première information. Situés sur la peau, ils transmettent toutes les informations d'étirement ou de déformation de cette dernière.

Les récepteurs musculaires, appelés fuseaux neuromusculaires sont situés dans la fibre musculaire, se raccourcissant ou s'allongeant en même temps qu'elle. Ils envoient deux types d'informations au cerveau : des informations statiques qui indiquent l'état d'allongement du muscle et la position du corps, et des informations dynamiques sur la direction, la vitesse et l'arrêt du mouvement (Robert-Ouvray, Servant-Laval, 2015).

Le système vestibulaire participe essentiellement à l'équilibration du corps, qu'il soit en mouvement ou au repos. Il permet notamment la stabilisation de la scène visuelle pendant les mouvements de la tête, ou les déplacements. Ceci nous permet d'avoir une image stable sur notre rétine en dépit des mouvements.

La stabilisation de la posture est permise par l'activation des canaux semi-circulaires et des otolithes qui excitent les voies vestibulo-spinales qui vont à leur tour déclencher les ajustements posturaux. L'équilibration descend alors de la tête vers les pieds. Le système vestibulaire est mature dès la naissance du bébé (Robert-Ouvray, Servant-Laval, 2015).

C'est avec toutes ces informations que le cerveau peut connaître en temps réel la taille de l'individu et la longueur de ses membres, mais aussi la position de ce corps dans l'espace. Fort de ces informations, le cerveau peut alors ajuster les commandes musculaires pour atteindre un objectif et diriger de façon précise ce corps dans l'espace (Lopez, 2005).

2.2- La perception de l'espace

A sa naissance et pendant les premiers mois de sa vie, le nourrisson ne se différencie pas de sa mère, ils ne font qu'un. Ce n'est qu'en grandissant et en expérimentant que l'enfant se différencie de son entourage et ressent son corps en tant que tel (Tereno et al, 2007). Une fois différencié, l'enfant ressent son asymétrie corporelle et motrice et devient un être latéralisé.

2.2.1 Théorie de l'attachement et comportement exploratoire

John Bowlby a développé dès 1958 une première théorie de l'attachement entre le jeune enfant et sa figure d'attachement. Le lien d'attachement est ce qui relie l'enfant à une personne particulière vers laquelle il dirige toute son attention. Il peut s'agir de sa mère, de son père ou de toute personne avec qui l'enfant a une relation durable.

La figure d'attachement fonctionne idéalement comme un havre de sécurité, une source de réconfort et de protection pour les besoins physiologiques. Face aux perturbations environnementales, elle sert aussi de base de sécurité à l'exploration. Au vue de ces données, Bowlby conclue que tous les enfants établissent des liens avec les adultes qui sont proches d'eux et qui s'en occupent, indépendamment du traitement reçu (Bowlby, 1969-1982). Il propose ensuite un modèle de développement de l'attachement en quatre phases :

- Phase 1 : Orientation et signaux avec une discrimination limitée des figures (8 à 12 semaines). Des compétences de sociabilisations émergent dans le but de maintenir le contact avec les autres, jusqu'aux 12 semaines de l'enfant qui marquent l'apogée de cette phase : bébé sourit et reconnaît les personnes.
- Phase 2 : Orientation et signaux dirigés vers les figures différenciées (12 à 24 semaines). Petit à petit, bébé adapte ses réponses aux personnes avec qui il développe une relation particulière.
- Phase 3 : Maintien de la proximité avec une figure différenciée par locomotion et d'autres signaux (6 à 36 mois). Le nourrisson poursuit son développement moteur, cognitif et émotionnel. Il apprend à se déplacer, à explorer son environnement et s'expose à de

nouveaux dangers, à de nouvelles peurs. Pour y pallier, il renforce son système d'attachement pour avoir un havre de paix et de sécurité vers lequel aller en cas de besoin. Une fois rassuré, il peut reprendre son exploration.

- Phase 4 : Formation d'un partenariat réciproque corrigé quant au but (après 36 mois). L'enfant réalise que ses actions influencent l'autre et il peut désormais prendre en compte le point de vue de la figure d'attachement.

En somme, le développement de l'attachement se crée autour des soins prodigués par la figure parentale, et la participation de l'enfant augmentera avec le temps (Sroufe, 1990).

Mary Ainsworth, collaboratrice de John Bowlby, reprend et poursuit ses travaux. Elle définit la sécurité dans l'attachement comme l'état de confiance qu'à le bébé quant à la disponibilité de sa figure d'attachement (Ainsworth et al, 1978). Elle mettra au point la Situation Étrange dans le but d'évaluer ces relations de sécurité dans l'attachement. Au cours de l'expérience, il y a des moments de séparation et de retrouvailles, ainsi que l'entrée d'un adulte inconnu dans la pièce où se trouvent le bébé et sa figure d'attachement. Suite à son expérience, Mary Ainsworth et ses collègues objectivent 3 types d'attachement : l'attachement sécurisé, l'attachement insécure évitant, et l'attachement insécure ambivalent ou résistant. L'attachement désorganisé ou désorienté sera ajouté quelques années après (Main et Solomon, 1990).

Les systèmes exploratoires et les types d'attachement sont des systèmes motivationnels étroitement liés qui fonctionnent comme une balance :

- dans l'attachement sécurisé, la balance est parfaitement équilibrée. Quand l'exploration diminue car l'enfant a peur, le système d'attachement s'active et l'enfant retourne vers sa figure d'attachement. Une fois rassuré, il repart en exploration. Ce système permet le développement d'une vraie autonomie chez l'enfant.

- dans l'attachement insécure évitant, quand l'enfant ressent de la peur pendant son exploration, il va très peu se tourner vers sa figure d'attachement, il va être dans de l'inhibition et tenter de se rassurer seul en se refermant sur lui-même. Il n'exprime pas sa détresse à la figure d'attachement.

- dans l'attachement insécure résistant, le système d'attachement s'active dès que l'enfant s'éloigne et prend peur mais ne va plus se désactiver, il va rester inconsolable et collé à sa figure d'attachement. L'enfant ne poursuit pas son exploration, il reste sur ses stimuli

émotionnels négatifs et ne saisit pas des stimuli de son environnement pour aller explorer.

- dans l'attachement inséure désorganisé l'enfant va se rapprocher de sa figure d'attachement quand il a peur, mais il va ressentir de l'angoisse vis-à-vis de cette dernière et se reculer, se trouvant effrayé seul et sans savoir quoi faire. Il n'y a aucune stratégie exploratoire (Ainsworth et al, 1978).

La théorie de l'attachement, dans toutes ses modalités, est importante pour la mise en place d'un comportement exploratoire efficace et de qualité chez le jeune enfant, avant même sa première année.

2.2.2 Le schéma corporel

Le schéma corporel, c'est la connaissance que l'on a de soi en tant qu'être corporel. Ces connaissances regroupent nos limites corporelles dans l'espace, nos capacités motrices, notre capacité à nous exprimer au travers de notre corps, percevoir nos différents segments corporels, désigner et nommer les parties de notre corps, la capacité à représenter notre corps mentalement ou graphiquement.

Le schéma corporel se construit au fil des expériences vécues, Il est intrinsèquement lié au développement de la motricité et de l'affectivité. Sa construction est liée à la maturation du système nerveux, à l'ambiance affective qui encadre les expériences motrices et d'exploration faites par l'enfant. Elle se poursuivra et s'actualisera tout au long de la vie de l'individu (Lièvre, Staes (2012)).

Chez l'enfant, on peut extraire des paliers de développement du schéma corporel :

- Le corps subi, pendant les premiers mois de vie du bébé. Pendant les premiers mois de sa vie, bébé subit son corps. Il peine à contrer la gravité et sa motricité réflexe est involontaire, induite par le système nerveux sous-cortical. La relation parents-enfants est primordiale pour qu'il ressente son corps, soit dans des sensations de soutien, de bercement, de portage, d'enroulement et de sécurité.
- Le corps vécu. Bébé expérimente et reçoit beaucoup d'informations sensorielles et motrices, il découvre le résultat de ses actions sur les objets et son entourage. Ses capacités cognitives et affectives sont liées de telles sortes à ce que son but soit toujours

atteint.

- Le corps perçu de 3 à 7 ans. L'enfant est dans une phase de perfectionnement de sa motricité et il commence à montrer une préférence manuelle, ce qui évoluera vers l'installation de sa latéralité. Le jeu symbolique émerge grâce à la transposition des émotions par une gestuelle et des mimiques spécifiques. A partir de 5 ans, l'enfant commence à avoir une connaissance suffisamment précise de son corps pour ajuster et perfectionner un mouvement qu'il a perçu comme non satisfaisant.

- Le corps connu. L'enfant va affiner sa connaissance du corps et va être capable de discriminer les différents segments corporels et de les nommer sur soi et sur autrui. Il accède aussi à la représentation du corps par le dessin ou la fabrication, ses représentations vont s'affiner et comporter plus de détails en grandissant. Sa connaissance du corps va également lui permettre de l'orienter dans l'espace, de reproduire une position montrée et de ressentir la position de ses membres dans l'espace avec plus de précisions. Il arrive aussi à s'adapter aux contraintes environnementales et essaye plusieurs possibilités pour passer un obstacle, par exemple (Lièvre, Staes (2012)).

2.2.3 La latéralité

La latéralité correspond à l'utilisation préférentielle d'une des parties du corps, plus précisément la main, l'oreille, l'œil et la jambe. C'est aussi ce qu'on appelle l'asymétrie fonctionnelle du corps. On a une main dominante pour effectuer les tâches les plus complexes, mais il peut arriver qu'on utilise l'autre main pour réaliser des tâches moins coûteuses. La mixité manuelle décrit ce phénomène qui fait que toutes les tâches ne sont pas forcément réalisées avec la main dominante. Holder (2005) décrit la préférence manuelle comme un reflet de la spécialisation manuelle, car c'est une capacité motrice permettant la réalisation de tâches qui exigent force, précision et rapidité. La performance est optimisée par le fait que ce soit toujours la même main et donc les mêmes mécanismes musculaires et neurologiques qui soient utilisés. Pour appuyer ces affirmations, Steele et Uomini (2005) ont eux défini la dominance manuelle en rapport avec la performance et la préférence de la main. Ainsi la main la plus mobilisée et la plus efficiente sera la main dominante.

La latéralisation regroupe les différents éléments internes et externes à la personne qui vont influencer la latéralité au cours de son développement. Les influences sont alors multiples : génétiques, neurologiques et maturationnels pour les facteurs endogènes, mais aussi sociales et éducatives pour les facteurs exogènes.

Le cerveau est divisé en deux hémisphères. L'hémisphère droit est spécialisé au niveau des émotions et des perceptions alors que l'hémisphère gauche est plus spécialisé pour le langage et les activités motrices. Chaque hémisphère ayant des fonctionnalités dominantes, une partie est toujours plus développée que l'autre, ce qui conduit à l'asymétrie organisationnelle du cerveau. Les hémisphères contrôlent majoritairement les comportements des membres du côté opposé. La proportion des droitiers étant dominante dans la population, l'hémisphère gauche est bien souvent le plus développé. Chez les droitiers, l'hémisphère gauche contrôle également certains mouvements qui intéressent le corps entier. Le fait que les fonctions motrices soient latéralisées chez l'humain peut expliquer sa capacité à réaliser des tâches complexes. Un traitement en parallèle et séparé des informations est favorisé par l'asymétrie du cerveau.

L'asymétrie du cerveau apparaît avant la fin du premier trimestre de grossesse. Au même moment, le fœtus va avoir tendance à bouger plus souvent un bras que l'autre et à porter plus un pouce que l'autre à sa bouche (Schaafsma et al. 2009 ; Milenkovic et al. 2016 ; Loffing et al. 2016). A cette préférence intra-utérine va se rajouter la position de la tête : les bébés tournent préférentiellement la tête d'un côté plutôt que l'autre, et du même côté qu'à la fin de la grossesse. Cette orientation va influencer les premiers mouvements manuels et le début de la saisie chez l'enfant, qui privilégie le côté où il reçoit le plus de stimuli visuels (Schaafsma et al. 2009).

L'environnement peut également influencer la latéralité de l'individu, qui est très instable jusqu'à ses 4 ans, mais n'est réellement ancrée que vers 9 ans. La pression socioculturelle peut avoir une forte influence, souvent pour empêcher les enfants d'être gauchers. L'imitation, présente très tôt chez le bébé, et l'adaptation à son environnement peuvent aussi influencer la préférence manuelle. Au moment de la gestation, le taux de testostérone augmente lorsque la mère est confrontée à un fort niveau de stress. Or, cette hormone ralentit le développement de l'hémisphère gauche, qui présente déjà naturellement un développement plus lent que le droit. Cela pourrait expliquer en partie pourquoi les hommes sont statistiquement plus gauchers que les femmes, bien que celles-ci puissent être aussi réceptives à la testostérone mais en quantité plus faibles (Milenkovic

et al. 2016). D'autres études ont montré que l'exposition du cerveau des fœtus mâles à des ultrasons affecte la migration des neurones, créant ainsi une dominance cérébrale anormale de l'hémisphère droit.

Malgré les nombreuses études, on ne sait pas à quel degré l'asymétrie du cerveau influence la latéralité chez l'homme. La seule chose dont on est certains, c'est que plusieurs facteurs interviennent séparément, et qu'on ne peut pas en isoler un pour expliquer le phénomène.

Dans le développement de l'enfant, on a d'abord le développement du schéma corporel, avec la connaissance de soi, puis la latéralité qui est permise par la conscience de l'asymétrie corporelle, et finalement la structuration spatiale. La latéralité soutenue par l'asymétrie corporelle permet l'acquisition de la connaissance droite / gauche. Toutefois, un enfant peut être latéralisé sans connaître les termes « droite-gauche ».

Plus en détail, on peut observer la dominance pédestre quand un enfant monte les marches, entre 1 et 2 ans généralement. La dominance oculaire est installée vers 2 ans et demi. Le processus de latéralisation est plus long et possède des périodes d'instabilité, notamment entre 2 et 3 ans, et entre 5 et 6 ans. On peut réellement objectiver une latéralité manuelle dominante vers 7-8 ans (De Lièvre, Staes, 2012).

Pour indiquer sa droite et sa gauche, il faut utiliser un référentiel égocentrique puisque le point central est nous-même. De la même façon, pour donner des indications topologiques par rapport à des objets ou la latéralité d'une personne en face de nous, il faut changer de référentiel et utiliser un référentiel allocentrique.

3- Aspect neurologique

3.1- Maturité cérébrale, développements sensori-moteur et neuro-moteur

Le développement neuro-sensoriel commence très tôt dans la maturation du fœtus.

Le toucher est le premier sens à être mature, dès la 20ème semaine d'aménorrhée. Il ressent le liquide amniotique et l'enveloppement pendant toute la suite de la grossesse. A

la naissance, le nourrisson est très sensible au contact, aux caresses, et garde en mémoire les différents touchers.

La kinesthésie permet au bébé de ressentir et d'adapter ses mouvements dès le deuxième trimestre de grossesse. Il s'adapte très tôt aux mouvements lents ou doux que ses parents peuvent lui proposer.

Au dernier trimestre de grossesse, l'olfaction est très mature et le nourrisson reconnaît très bien son entourage à leur odeur. Cela peut être rassurant pour lui car c'est un sens important dans le processus d'attachement.

L'audition est quasiment mature avant la naissance, les réactions du nourrisson aux sons sont essentiellement dépendantes de son développement moteur.

Comme vu précédemment, la vision de l'enfant évolue assez rapidement après sa naissance. Le nourrisson y voit à 30cm, et a une affinité particulière pour le visage humain. A 4 mois, sa vue est relativement proche de celle de l'adulte (De Broca, 2017).

A sa naissance, le processus de myélinisation et de maturation cérébrale ne sont pas terminés. Le nourrisson est dirigé par le système nerveux sous-cortical, sa motricité est essentiellement réflexe. Son tonus est très caractéristique avec une hypertonie des membres et une hypotonie de la tête et du tronc, il est dans un schéma d'extension. Dès 2 mois, le tonus axial s'améliore et bébé peut pencher et tourner la tête. A 3 mois, le système nerveux supérieur prend le dessus et bébé peut ramener ses bras dans l'axe, les mains sous ouvertes et les pieds s'agitent en rythme. La progression céphalo-caudale de la maturation neurologique est presque aboutie et bébé multiplie les acquisitions. Il est désormais maître de ses mouvements et les réflexes archaïques sont désormais inhibés par la maturité neurologique (De Broca, 2017).

3.2- Cortex pariétal, cortex parahippocampique et représentation spatiale égo-centrée

Les représentations spatiales égo-centrées d'objets sont encodées depuis l'emplacement de l'observateur. Ces représentations spatiales égo-centrées sont régies par de nombreuses régions cérébrales spécifiques.

Dans une première étude menée par Galati et al. (2000) qui consistait à dire si un segment visuel était aligné à l'axe médian de leur corps, ils ont mis en évidence l'activation d'un réseau d'aires fronto-pariétales, dont l'aire 7 de Brodmann, la jonction temporo-pariétale, le cortex frontal inférieur et le lobule pariétal supérieur. Ce dernier présente une grande activité lors de la localisation de nos propres segments corporels dans l'espace. Le cortex pariétal postérieur constituerait un lieu d'intégration des informations visuelles, vestibulaires, auditives et somesthésiques.

Le cortex insulaire est un centre d'intégration vestibulo-somesthésique. Avec le cortex somesthésique secondaire et le gyrus temporal supérieur, il contribuerait à la formation de représentations centrales (Bottini et al. 2001). De plus, il apparaît que les neurones du cortex vestibulaire pariéto-insulaire ont une direction préférentielle codée dans un référentiel centré sur la tête, et non sur l'espace extra-personnel. Cela favorise donc un repérage spatial égocentré, et même céphalocentré.

La neuropsychologie humaine a également montré l'implication des aires prémotrices dans la représentation du référentiel spatial égocentré. En effet, lorsque ces aires sont lésées le sujet présente une perception et une orientation de l'axe du tronc perturbés (Darling et al., 2003).

La représentation égocentrée est effective chez le jeune enfant dès 8 mois, lorsqu'il différencie son corps de l'environnement.

3.3- L'hippocampe, la mémoire épisodique et la mémoire spatiale allocentrée

Les représentations spatiales allocentrées permettent un encodage des objets en relation avec les autres objets et emplacements qui peuplent l'environnement, et ce indépendamment du point de l'observateur.

3.3.1 *Apparition de la mémoire spatiale allocentrée à 2 ans*

Pamela Banta Lavenex et ses collègues (2021) ont créé un paradigme dans le but d'objectiver et d'observer l'émergence d'un repère spatial allocentré chez le jeune enfant. Ce paradigme consiste en l'installation d'une « arène » de quatre mètres sur quatre mètres délimitée par des rideaux sur trois de ses côtés et une corde sur le dernier. Cette arène est située dans une salle plus grande avec une table, des chaises, des portes, des fenêtres, l'examineur, ... dans cette arène il y a 18 gobelets gris avec des friandises sous certains. L'enfant est invité à explorer cette arène à la recherche de friandises, sans temps limite, permettant ainsi de garder sa motivation. Une fois qu'il s'arrête, on lui dit de se rappeler où se trouvaient les friandises. D'autres essais lui seront proposés, mais il ne rentrera jamais par la même porte, évitant ainsi l'utilisation d'un repère égocentré. Le fait de se déplacer librement permet également à l'enfant d'intégrer les informations visuelles, vestibulaires et proprioceptives qui entrent dans la création des représentations visuelles allocentrées.

Deux conditions différentes sont proposées à des enfants âgés entre deux et cinq ans. Trois gobelets parmi les dix-huit cachent toujours les mêmes friandises, à la même place. Pour les conditions impaires les gobelets qui cachent les friandises sont rouges, et pour les essais pairs ils sont tous blancs. Dans la condition impaire la stratégie visuelle (couleur rouge) et la stratégie de repérage allocentrée pouvaient aider les enfants à se repérer, alors que dans l'autre condition seule la stratégie allocentrée pouvait fonctionner. Dans les situations où tous les gobelets sont de la même couleur, 26 des 27 enfants entre 3 ans et demi et 5 ans ont réussi à trouver les friandises en se déplaçant directement vers les bons gobelets, en utilisant la stratégie allocentrée. Inversement, seulement 3 enfants sur 17 ont réussi à trouver les friandises chez les moins de 3 ans et demi. Pourtant tous les enfants avaient la même motivation car dans l'autre condition, ils allaient tous vers les gobelets rouges pour récupérer les friandises. Les observations ont tout de même permis de montrer que les enfants de moins de 3 ans et demi se dirigeaient vers la bonne zone mais soulevaient les gobelets adjacents. Une stratégie était bien présente puisqu'ils ne fonctionnaient pas au hasard.

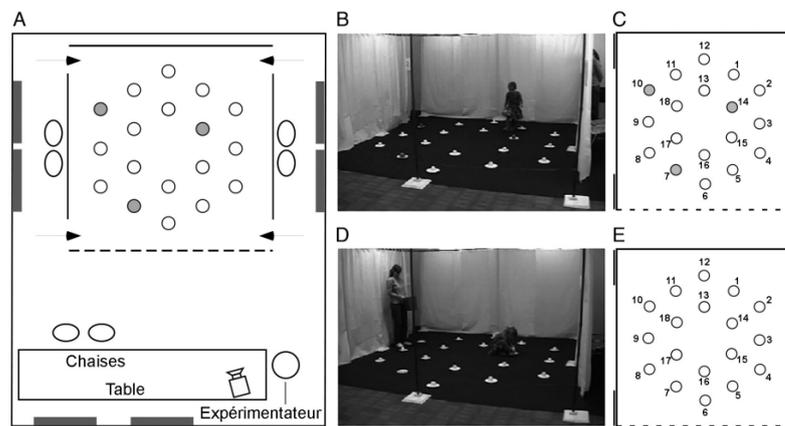


Figure E: Arène en champ ouvert de Lavenex et al, 2021

Une seconde épreuve est mise en place, toujours basée sur la mémoire allocentrée mais qui présente une résolution spatiale plus basse. Le but est de voir si une fois la zone localisée, et qu'il ne reste plus que 4 gobelets beaucoup plus espacés les uns des autres, la performance des enfants augmenterait. Les deux conditions sont maintenues. Dans ces nouvelles conditions, 21 % des enfants de moins de 2 ans, et 84 % des enfants de plus de 2 ans ont réussi à se rappeler des emplacements, sans indigage visuel. Ils ont donc fait preuve d'une capacité de mémoire spatiale allocentrée à basse résolution.

A partir de ces observations, les chercheurs ont conclu que dès 2 ans les enfants arrivent à utiliser une stratégie d'apprentissage spatial allocentré pour encoder une information précise et motivée. Ils expliquent que les circuits hippocampiques ont des niveaux de maturation différents, ce qui expliquerait que les niveaux de résolution de ces informations spatiales évoluent dans le temps.

C'est également à partir de 2 ans que les enfants commencent à encoder les premières mémoires épisodiques et dont ils se souviendront encore une fois adulte, marquant la fin de l'amnésie infantile.

Des études comportementales sur le rat (Gold et Kesner, 2005) et neuroanatomiques et génétiques sur le singe (Lavenex et Lavenex, 2009) ont été menées pour objectiver une spécialisation des différentes régions de l'hippocampe. Elles ont permis de confirmer que ces régions se développent différemment et ont des fonctions distinctes :

- la région CA1 encode une représentation spatiale allocentrée à basse résolution sans l'intervention des autres régions. Ces données spatiales sont dites topologiques. Cette région montre un développement précoce et rapide, dont la maturité serait atteinte vers 2

ans, si on fait un parallèle entre le développement chez les singes et chez les humains.

- le gyrus denté et CA3 sont impliqués dans un processus de séparation de patterns, ce qui permet de distinguer des emplacements proches dans des tâches de mémoire spatiale allocentrée. Pour cela, ces régions transforment des représentations neuronales d'évènements ou d'emplacements proches en des représentations neuronales dissimilaires, permettant ainsi une séparation claire des représentations des informations mémorisées. Ces informations sont métriques, elles concernent notamment les distances et les angles. Ces deux régions ont un développement plus lent et semblent atteindre leur maturité vers 4 ans.

3.3.2 Amélioration de la résolution spatiale entre 18 mois et 4 ans

En reprenant l'expérience précédente d'arène en champ ouvert, avec les deux conditions et les 20 essais à chaque fois, Pamela Banta Lavenex et al (2013) ont créé 4 tâches successives. Pour chacune des tâches, la proximité et la quantité de gobelets sont augmentés, et il est nécessaire de passer une tâche pour faire la suivante.

Les résultats montrent que d'une tâche à l'autre, le nombre d'enfants qui réussissent diminue. Cela concerne aussi les deux premières tâches où seule la distance entre les 4 gobelets, diminue, confirmant ainsi les observations précédentes. La difficulté de la tâche réside dans la proximité des gobelets entre eux, et non dans le nombre car le ratio gobelet / gobelet friandise reste le même tout au long des tâches. Ici, les chercheurs ont montré que l'amélioration des capacités spatiales dès 2 ans est au moins en partie corrélée à l'amélioration des capacités de séparation de patterns, les capacités métriques.

3.3.3 Amélioration de la résolution spatiale et temporelle de 3 ans et demi à 7 ans

Toutes les expériences précédentes comportaient plusieurs essais suivant les mêmes modalités. La mémoire épisodique a au contraire pour composante des informations non répétées. Il est important de privilégier un apprentissage par essai unique, pré-requis pour le développement d'une mémoire épisodique à long terme. Si les enfants n'arrivent pas à former une mémoire épisodique, l'hypothèse est que ce soit parce

qu'ils n'arrivent pas à former des mémoires spatiales allocentrées d'après un apprentissage à essai unique.

Dans ce but, deux groupes sont évalués sur l'arène en champ ouvert : des enfants de 3 ans et demi à 7 ans, et des adultes entre 20 et 30 ans. 3 séances réparties sur 3 jours et pendant 3 semaines ont été présentées aux groupes. Dans la nouvelle arène en champ ouvert, 18 gobelets étaient placés de façon régulière, selon le même schéma qu'utilisé précédemment et qui nécessitait des représentations spatiales à haute résolution chez les enfants de 3 ans et demi. A chaque séance ils avaient 10 essais avec une phase d'encodage (gobelets rouges) et une phase de rappel où il fallait retrouver le gobelet, puis une autre disposition leur était présentée. De cette façon les participants n'ont jamais été évalués 2 fois sur la même disposition. Les capacités de résolution temporelle des participants, soit la capacité à utiliser un essai précédent pour réussir le nouveau, a également pu être évaluée.

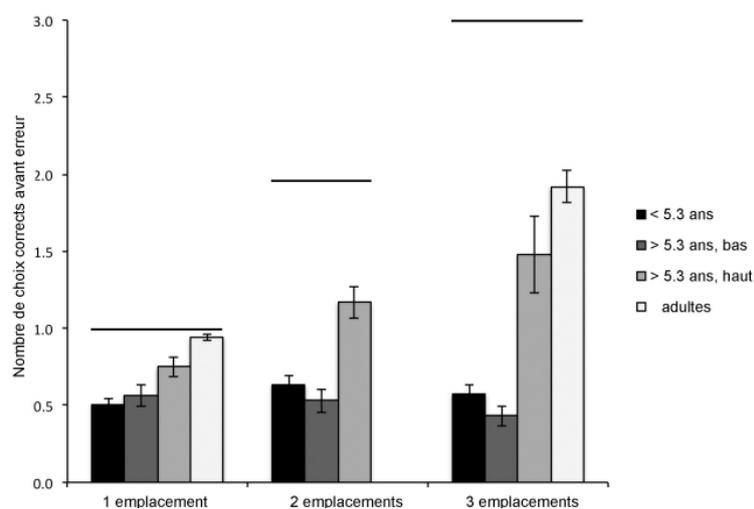


Figure F: *Expérience de Lavenax et al (2021), Nombre d'emplacements visités avant de faire une erreur*

Pour la communication des résultats, les groupes ont été répartis comme suit : les moins de 5 ans et 3 mois, les plus de 5 ans et 3 mois à haute performance ou basse performance, et les adultes. De manière générale la performance s'améliorait entre 3 ans et demi et 7 ans, mais parmi les plus de 5 ans et 3 mois, certains montraient une performance haute similaire aux adultes, alors que d'autres avaient des performances similaires aux enfants plus jeunes. Parmi le groupe des plus de 5 ans et 3 mois qui présentaient une haute performance, leurs quelques erreurs étaient essentiellement d'origine spatiale, se trompant entre deux gobelets adjacents. Inversement, chez les deux autres groupes d'enfants la majorité des erreurs étaient d'ordre temporel, ils allaient vers

des emplacements vus les fois précédentes, et non sur le dernier stimuli. Ils avaient donc des difficultés à à discriminer et à encoder des évènements distincts.

En résumé, ces résultats montrent que les améliorations des performances spatiales sont corrélées avec leur capacité à discriminer tant spatialement que temporellement des événements différenciés et à mémoriser des informations sur essais uniques. Grâce aux expériences évoquées précédemment chez le rat et le singe, il est donc possible que la région CA3 et le gyrus dentelé continuent leur maturation entre 4 et 7 ans chez l'enfant. Les chercheurs ont émis l'hypothèse que la maturation du gyrus dentelé entre 2 et 7 ans pouvait expliquer les améliorations de la discrimination spatiale et temporelle.

3.3.4 Une carte cognitive sans vision entre 5 ans et 9 ans

La mémoire spatiale allocentrée n'est pas limitée à la mémoire visuo-spatiale. En effet, l'humain est généralement sur un fonctionnement multimodal, et les informations recueillies dans l'environnement ne sont pas codées séparément en fonction de leur entrée sensorielle. De cette façon, les représentations spatiales allocentrées et égocentrées peuvent comporter des informations visuelles, mais également vestibulaires et proprioceptives. L'intégration de chemin est permise par les informations transmises par notre corps en mouvement au cerveau, qui est alors capable de les encoder sans soutien visuel (Lavenex et al, 2021).

Pour créer une carte cognitive, il est nécessaire d'utiliser une représentation spatiale allocentrée et le mécanisme d'intégration de chemin qui permet de trouver des raccourcis. Des expériences précédentes ont été menées sur les capacités d'enfants de 2 ans et demi et plus à former une carte cognitive, mais elles n'ont pas été concluantes (Lavenex et al, 2009).

Pamela Banta Lavenex et al (2013) ont donc testé les capacités d'enfants de 5 à 9 ans à construire une carte cognitive sans utilisation de la vision. Pour cela, les enfants étaient guidés les yeux bandés dans une salle, qu'ils avaient vue vide, entre quatre meubles et en suivant plusieurs chemins. Ils sont ensuite libres de se déplacer dans toute

la salle, toujours les yeux bandés.

Deux tiers des participants ont montré des capacités à créer une carte cognitive fonctionnelle : ils ont pu se déplacer librement et emprunter spontanément des raccourcis. Cette capacité est présente à l'âge de 5 ans mais ne semble pas suivre une évolution développementale précise, car la plus jeune participante a montré de meilleures capacités à utiliser une carte cognitive que le participant le plus âgé. De plus, cette expérience démontre l'importance des informations proprioceptives et vestibulaires dans la navigation.

4- Conclusions sur les capacités exploratoires de l'enfant

4.1- A la naissance

A sa naissance, le nourrisson est déjà sensible à son environnement et reçoit des informations visuelles, auditives, tactiles et proprioceptives. Ces différentes modalités sensorielles sont traitées séparément, son système nerveux étant encore immature. Le nourrisson perçoit des espaces en mosaïque, et ne peut pas encore faire de lien entre les stimuli reçus. A ce moment, la perception des choses passe beaucoup par la zone orale, bébé explore les objets en les mettant à la bouche. De plus, il subit son espace car il ne peut pas encore se déplacer, et voit son environnement défiler lorsque qu'il est porté. La maturation neuro-sensorielle et neuro-motrice permettra de créer du lien entre les différentes modalités sensorielles, les déplacements et l'environnement (Pavot et Gallianot, 2015).

4.2- Dès 4 mois

Bébé se déplace et ses mouvements sont plus aboutis, il contrôle désormais ses mouvements. Il expérimente beaucoup, voit des objets, les attrape, les porte à la bouche et joue avec. C'est le début des coordinations oculo-manuelles et des capacités de préhension. Grâce à ses déplacements et ses actions, il peut créer du lien entre les différentes modalités sensorielles et appréhende de plus en plus son environnement direct. Sa compréhension de l'espace est encore limitée et se résume à l'environnement vu et manipulé. Il se repère par rapport à lui-même et ne construit pas de rapport entre les

différentes pièces de la maison.

Sa perception va évoluer avec ses capacités motrices et cognitives. A force de se déplacer, et encore plus avec la marche, le jeune enfant va appréhender des espaces plus grands (Pavot et Gallianot, 2015).

4.3- A partir de 2-3 ans et jusqu'à 7-8 ans : l'orientation spatiale

Dès 2 ans, l'enfant montre des capacités de représentation spatiale topographique, à basse résolution. Il peut donc se repérer à partir d'indices externes à son corps avec des indices de direction, même si cette représentation est encore pauvre et ne permet pas une différenciation fine des objets. C'est aussi la fin de l'amnésie infantile, et la sauvegarde des premiers souvenirs. Le jeune enfant est autonome sur le plan moteur et maîtrise tous ses déplacements, il comprend l'action qu'il peut avoir sur son environnement et sur les autres. Il teste les répercussions qu'ont ses actions sur les autres et continue de faire du lien entre lui et son environnement.

En grandissant, les capacités de mémoire allocentrée vont s'améliorer en même temps que les capacités temporelles et de discrimination spatiale.

Dès 5 ans, l'enfant arrive à créer des cartes cognitives, et peut désormais élaborer des raccourcis, penser des chemins qu'il n'a pas encore empruntés pour relier deux points connus (Pavot et Gallianot, 2015).

4.4- A partir de 8 ans : la structuration spatiale

L'enfant a acquis de bonnes capacités de représentation spatiale, proches de celles de l'adulte, même si ces dernières s'actualisent au fil de ses expériences. L'espace est de plus en plus intellectualisé, l'enfant peut se projeter mentalement dans un espace et penser son action sur ce dernier. L'utilisation des repères égocentrés et allocentrés dépend de la situation et de leur coût énergétique pour l'enfant. Tant que la situation peut être résolue selon un mode égocentré, cette technique va être privilégiée. Ce n'est qu'avec l'expérience que le mode allocentré va être dominant, car il permet une compréhension plus globale et plus précise de l'espace.

II- Partie pratique

1- Hypothèses

Les hypothèses de l'étude ont été définies à partir des données scientifiques récoltées sur le développement de la navigation spatiale chez l'Homme, ainsi que sur les différentes recherches menées à l'Institut de Formation en Psychomotricité de Toulouse.

La première hypothèse est que le Walking Corsi est un test évaluant les capacités de navigation spatiale des sujets. Cette idée s'appuie notamment sur les recherches menées par Piccardi et al (2013), les créateurs du Walking Corsi Test. Ces chercheurs ont évoqué à plusieurs reprises cette théorie, pour une population différente de la notre (italienne et étudiante). Leurs recherches seront évoquées dans une autre partie.

La seconde hypothèse, qui découle de la première, serait que les individus âgés de 6 à 7 ans privilégieraient une stratégie égocentrique pour encoder l'information et reproduire le trajet demandé. Au contraire, les sujets ayant plus de 8 ans utiliseraient une stratégie allocentrique plus efficace pour encoder et manipuler l'information. La différence de stratégie utilisée reposerait sur le coût de la stratégie pour l'individu en fonction de son âge (Lavenax, 2021).

2- Procédure

2.1- Participants

Les sujets de cette recherche sont des enfants scolarisés en école primaire, ils ont entre 6 et 10 ans. Afin de se rapprocher au plus près de la population ayant participé à l'étalonnage français des Blocs de Corsi, et à l'étalonnage en cours du Walking Corsi, nous avons exclu :

- des enfants ayant sauté ou redoublé une classe

- des enfants suivis en classe ULIS
- des enfants bénéficiant ou ayant bénéficié d'un suivi psychomoteur ou orthophonique, dans le but d'avoir un échantillon constitué d'enfants « tout venants ».

Au total, ce sont 16 participants qui ont réalisé les passations. Le recrutement s'est fait par l'intermédiaire d'un CLAE à Pézenas, dans l'Hérault, qui a aidé à la mobilisation des parents et a prêté une salle calme pour faire les passations dans la journée. La seconde partie des enfants a été recrutée grâce à la mobilisation des parents d'une école de Villesèquelande dans l'Aude, qui ont accepté de participer au projet, indépendamment de l'école.

Le profil des participants est le suivant :

- 2 filles de 6 ans, scolarisées en CP
- 7 enfants de 7 ans et 1 enfant de 8 ans, scolarisés en CE1, dont 2 garçons
- 3 enfants de 9 ans, scolarisés en CM1, dont 2 garçons
- 1 garçon de 9 ans et 2 filles de 10 ans, scolarisés en CM2

L'enfant de 8 ans a été exclu au moment de l'analyse des données car il était seul dans sa catégorie d'âge, ce qui faussait les courbes de résultats.

2.2- Tests utilisés

Les participants ont été évalués sur différents tests, dont l'ordre de passage a été randomisé afin d'éviter l'effet d'apprentissage. Chaque passation durait en moyenne 40 minutes.

Le choix des tests s'est fait en fonction du domaine qu'ils évaluent, dans le but de répondre aux hypothèses proposées précédemment :

- on a donc les Blocs de Corsi, dont on cherche les différences de résultats avec le Walking Corsi
- l'épreuve des trajets au sol de Zazzo, qui est un test de navigation
- la batterie de Piaget et le test de Bergen qui sont deux tests de connaissance droite-gauche, mais qui demandent soit de donner l'information selon son point de vue, soit en

opérant une rotation mentale. On cherche à évaluer avec ces tests la capacité à utiliser une stratégie allocentrique pour orienter des objets.

2.2.1 L'épreuve de Piaget

Dans la batterie de Piaget-Head, seule l'épreuve de Piaget en 3 parties a été proposée, dans le but d'évaluer les connaissances droite-gauche de l'enfant et la réversibilité en utilisant le langage¹.

L'épreuve est composée de questions portant sur la reconnaissance de la droite et de la gauche :

- sur soi (notées 1 point chacune)
- sur autrui, en face à face (notées 2 points chacune)
- quant à la position relative de 3 objets : des clés, un stylo et une montre (notées entre 2 et 3 selon la difficulté).

Une note sur 20 est obtenue à la fin de la passation (Lewandowski, Albaret, 2018).

2.2.2 Épreuve des trajets au sol de Zazzo

Le test de Zazzo évalue les capacités de navigation du sujet dans un espace défini, avec une lecture de carte.

Le test est composé de 2 séries de 10 trajets. Ces derniers sont dessinés individuellement sur des feuilles carrées en 21x 21 cm, avec une ligne noire représentant le trajet qui passe par certains des 9 points, organisés en 3 lignes de 3 points.

La zone de déplacement est matérialisée par 9 cercles de 7 cm posés au sol, espacés de 1 mètre les uns des autres.

Le sujet est ensuite placé face aux points , on lui précise alors que les 3 points les plus éloignés de lui sont ceux qui figurent sur le haut de sa feuille. Il peut ensuite pointer le départ et effectuer le trajet.

1 Voir annexe 1 : Épreuve de Piaget

Dans la cotation pour le protocole, il a été décidé de s'inspirer de la cotation la plus récente du test, qui consiste à noter la réussite 1 et l'échec 0. Chaque série est ainsi notée sur 10 points (Marquet-Doléac, 2018).

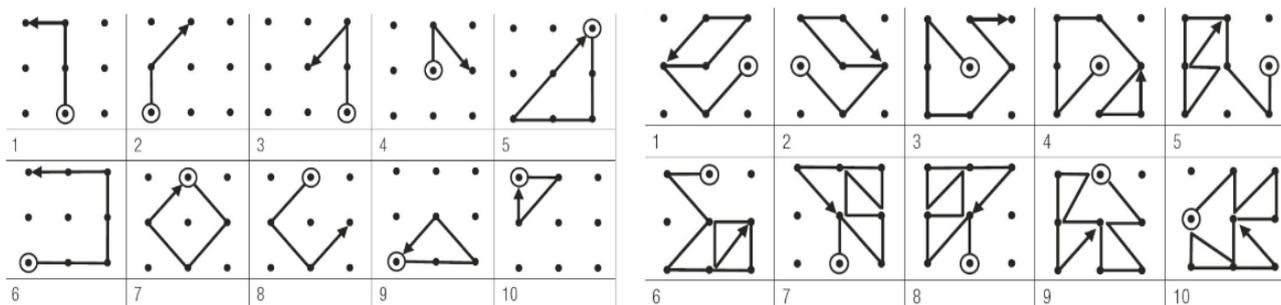


Figure G: Séries A et B de l'épreuve des trajets au sol de Zazzo

2.2.3 Le test de discrimination droite-gauche ou test de Bergen

Ce test est issu des travaux d'Ofte et Hugdahl (2002). Comme son nom l'indique, c'est un test de discrimination droite-gauche qui n'implique pas le langage.

Dans ce test, il est demandé au sujet d'entourer la main droite ou gauche d'un bonhomme. Les bonhommes à tête blanche sont de face et ceux à tête noire sont de dos. La lettre D ou G sous le bonhomme indique s'il faut entourer la main droite ou la main gauche du bonhomme.

Le test se compose d'une première page avec les consignes, qui ont ici été lues à l'enfant, et de trois bonhommes exemples.

La suite est composée de 3 planches, chacune avec 3 feuilles de 16 bonhommes. Dans chaque planche, totalisant 48 bonhommes, 16 ont les deux bras qui croisent l'axe du corps, 16 n'ont qu'un seul bras qui croise l'axe du corps, et 16 n'ont aucun bras qui croise l'axe du corps. Le sujet a une 1 minute 30 pour entourer le plus de mains possible, le plus correctement possible.

La première planche ne comporte que des bonhommes vue de face, la seconde n'a que des bonhommes vus de dos, et la dernière possède les deux vues² (Ofte et Hugdahl, 2002).

Pour la notation, on compte le nombre de bonhommes dont les mains ont été correctement entourées.

² Voir annexe 2 : Test de discrimination droite-gauche de Bergen

2.2.4 Les blocs de Corsi

Ce test se présente sous la forme d'une planche de bois sur laquelle sont disposés 9 cubes en bois. L'examineur montre au sujet une suite de cubes, appelée empan, que le sujet doit reproduire. Le nombre de cubes désignés augmente avec la difficulté. C'est ici que la mémoire visuo-spatiale à court terme est évaluée. Dans la seconde partie, le sujet doit désigner les cubes dans l'ordre inverse de ce qui a été montré par l'examineur, en désignant en premier le dernier cube montré. Dans la partie empan envers, c'est la mémoire de travail visuo-spatiale qui est évaluée³.

La notation correspond au plus grand empan réussi par le sujet. Les empan droits et envers sont traités séparément (Fournier, Albaret, 2013).

2.2.5 Le Walking Corsi

Création du test

Le Walking Corsi Test (WalCT) est une « version tapis » des blocs de Corsi, réalisé à l'échelle 1:10 des dimensions de la planche des Blocs de Corsi (Corsi, 1972). Ce test a été créé par Piccardi et al (2008) et se présente sous la forme d'un tapis de 2,5m par 3m, sur lequel sont disposés 9 carrés de 30cm qui suivent la même disposition que celle des Blocs de Corsi. Un carré de départ a été placé en-dehors du tapis pour permettre à l'examineur et au sujet de se placer au même endroit à chaque item de passation.

La passation du Walking Corsi Test est également inspirée de celle des Blocs de Corsi. Dans le Walking Corsi Test, l'examineur se place sur le carré de départ et se déplace de carré en carré, en effectuant un arrêt sur chacun pour bien marquer le carré cible. Après observation, c'est au sujet de reproduire le trajet montré. Chez Piccardi, seul l'empan droit est administré. La notation correspond ici aussi au plus grand empan réussi par le sujet.

3 Voir Annexe 3 : Blocs de Corsi

Différentes versions du Walking Corsi Test

Au cours des différentes études, les chercheurs ont modifié plusieurs paramètres du test, que ce soit pour s'adapter à leur population, pour des questions pratiques, ou encore pour étudier l'impact de ces modifications sur les résultats obtenus.

On retrouve ainsi :

- une version agrandie du WalCT qui comporte 18 carrés, elle a été proposée par Piccardi et al en 2014
- le tapis magique, qui présente les mêmes paramètres que le WalCT, à la différence près qu'il est électronique. Dans l'invention de Perrochon et al (2014) les carrés s'illuminent pour montrer la séquence au sujet, ce n'est plus l'examineur qui se déplace.
- une version virtuelle et agrandie, avec 18 carrés et qui se pratique en déplaçant un avatar sur ordinateur (Nori et al, 2015)
- un WalCT en réalité virtuelle, avec deux déclinaisons possibles : une projection des 9 carrés et une projection de 9 objets de salon, selon la même disposition (Perrochon et coll, 2018).

Piccardi et al ont aussi modifié les conditions de passations à chacune de leurs études :

- en 2011, ils proposent aux sujets de se déplacer en suivant le trajet dessiné sur une carte
- en 2013, ils proposent l'utilisation de la carte, mais rajoutent deux conditions : un rappel immédiat ou un rappel différé du trajet
- en 2014, ils proposent à un premier groupe de donner verbalement la localisation des carrés du trajet, sans déplacements, alors que le second groupe doit se déplacer comme l'examineur. Les rappels immédiats et différés du trajet sont maintenus. 26

A l'Institut de Formation en Psychomotricité de Toulouse, M. Soppelsa propose une version du WalCT inspirée des Blocs de Corsi de Fournier et Albaret (2013), à l'échelle 1:10. Le Walking Corsi se présente sur un tapis noir de 2,05m sur 2,55m où sont dessinés des carrés blancs de 30cm de côté. Le carré de départ est disposé au centre du côté équivalent à celui du sujet dans les Blocs de Corsi. Ainsi, le sujet voit toujours le matériel

orienté du même côté, seul l'examineur a un point de vue différent.

Les modalités de passation sont les mêmes que celles de Piccardi et al en 2008, avec les emfans montrés par l'examineur puis reproduis en déplacement par le sujet pour la première partie, dite « endroit ». Pour la seconde partie, celle des emfans envers, le sujet doit montrer les cubes dans l'ordre inverse de l'examineur, en commençant donc par le dernier désigné. Cette seconde est elle identique aux Blocs de Corsi de Fournier et Albaret (2013).

La notation correspond également au plus grand emfan réussi par le sujet, et la distinction est faite entre le résultat des emfans endroits, et celui des emfans envers⁴.

Ce que mesure le test

L'étude de Piccardi et al (2008) montre des différences de performance entre les résultats obtenus aux Blocs de Corsi et ceux obtenus au WalCT, soutenus par des différences entre les femmes et les hommes. Les chercheurs pensent alors que les Blocs de Corsi correspondent à une tâche de localisation d'objets, alors que le WalCT impliquerait une mémorisation de trajet.

Dans leur étude de 2010, Piccardi et al expliquent que le WalCT mesure les capacités de navigation du sujet, ce qui expliquerait les différences qu'ils ont obtenu entre les scores des femmes et des hommes. Ils ont par ailleurs montré que ces différences tendent à s'effacer avec la possibilité d'un entraînement à la répétition des séries. Cette différence pourrait s'expliquer par la préférence qu'ont les femmes à utiliser un repère égocentrique, alors que les hommes favorisent l'utilisation d'un repère allocentrique.

En 2013, Piccardi et al montrent qu'ils n'ont pas relevé de différences sur les performances aux Blocs de Corsi, qui évalue la mémoire de travail, entre les hommes et les femmes. Ils évoquent ensuite que le WalCT évaluerait la mémoire topographique des participants, justifiant l'écart de performances entre les individus de sexe et d'âge différents. La corrélation des résultats entre les Blocs de Corsi et le WalCT montre que les deux tests évalueraient aussi les stratégies d'encodage d'informations spatiales et séquentielles.

4 Voir annexe 4 : Walking Corsi

En 2014, Piccardi et al pensent que les hommes et les femmes utilisent des stratégies de navigation différentes, ce qui expliquerait l'écart de performances. Ainsi, les femmes privilégieraient l'itinéraire alors que les hommes créeraient une carte cognitive basée sur des informations allocentriques.

Pour la suite de notre recherche, nous allons nous demander si le Walking Corsi est un test de navigation spatiale, et si les sujets privilégient l'utilisation d'un repère égocentrique ou allocentrique lorsqu'ils répondent à ce test.

2.3- Protocole expérimental

Avant chaque passation, il a été demandé aux parents de signer une autorisation leur expliquant les modalités du protocole, ainsi que leurs droits et ceux de leur enfant, le principe d'anonymat et le consentement à l'utilisation des données produites pendant la réalisation des tests. Les parents avaient été informés en amont pour une fiche explicative du but de la recherche et du mémoire, ainsi que le contenu du protocole.

Après signature, l'enfant vient seul dans la salle où les différents tests sont placés. Il lui est brièvement expliqué pourquoi il réalise les tests, en le rassurant sur le fait que ce soit ludiques et qu'ils ne sont pas longues à réaliser. Les tests sont présentés les uns après les autres, selon un ordre qui a été défini au préalable, évitant ainsi qu'il soit toujours identique. Les blocs de Corsi et le Walking Corsi sont également inter-échangés à chaque passation.

Chaque test est administré individuellement, en respectant les consignes qui lui sont propres, de façon à ce que chaque passation soit faite dans les mêmes modalités.

A la fin du protocole, il est possible de répondre aux questions complémentaires de l'enfant.

2.4- Analyse des données

Tout d'abord, chaque test est côté selon ses modalités propres, précisées précédemment. Un tableau est ensuite construit avec le sexe, l'âge, la classe, le résultat aux emfans endroits et envers des blocs de Corsi, le résultat aux emfans endroits et envers du Walking Corsi, le résultat à l'épreuve de Piaget, les résultats cumulés des deux séries de l'épreuve de trajet au sol de Zazzo, et le total des bonhommes bien entourés du test de discrimination droite-gauche de Bergen.

Les résultats des enfants sont ensuite comparés par domaine en utilisant un logiciel de traitement statistique, ici SPSS et en procédant par des analyses univariées de type ANOVA. Le seuil de significativité est fixé à 0.05 ($p < 0.05$).

3- Résultats

Les résultats obtenus lors de la passation ont bénéficié d'un traitement statistique par analyse univariée de type ANOVA à un facteur : l'âge des participants, qui est une donnée transversale à ce mémoire, particulièrement importante pour vérifier si la capacité suit une courbe développementale.

Un second traitement statistique par analyse univariée de type ANOVA à un facteur : le sexe des participants a été effectué. Ce traitement a été réalisé dans le but de comparer les résultats de cette étude à celle de Piccardi et al (2013, 2014), et à celle menée dans au mémoire d'une étudiante en psychomotricité de Toulouse (Louise Tison, 2018) sur les différences sexuelles et de genre dans la navigation spatiale.

3.1- Caractéristiques des tests selon l'âge et le sexe des sujets

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Blocs endroit	Inter-groupes	3,471	3	1,157	2,583	,106
	Intra-groupes	4,929	11	,448		
	Total	8,400	14			
Blocs envers	Inter-groupes	5,326	3	1,775	2,033	,168
	Intra-groupes	9,607	11	,873		
	Total	14,933	14			
WCT endroit	Inter-groupes	4,671	3	1,557	2,472	,116
	Intra-groupes	6,929	11	,630		
	Total	11,600	14			
WCT envers	Inter-groupes	2,543	3	,848	2,417	,122
	Intra-groupes	3,857	11	,351		
	Total	6,400	14			
Piaget Head	Inter-groupes	91,005	3	30,335	1,304	,322
	Intra-groupes	255,929	11	23,266		
	Total	346,933	14			
Zazzo	Inter-groupes	392,386	3	130,795	15,435	,000
	Intra-groupes	93,214	11	8,474		
	Total	485,600	14			
Bonhommes	Inter-groupes	3147,469	3	1049,156	5,593	,014
	Intra-groupes	2063,464	11	187,588		
	Total	5210,933	14			

Figure H: Tableau de l'analyse des variances Anova à un facteur : l'âge des participants

3.1.1 Blocs de Corsi

Pour la valeur des blocs de Corsi endroit comme envers, l'analyse des données de la présente recherche indique que la différence entre les 4 groupes d'âge est non significative ($F = 2,583$; $ddl = 3$; $p = 0,106$ et $F = 2,033$; $ddl = 3$; $p = 0,168$). Les groupes ne se différencient pas dans leurs résultats.

On sait toutefois que le test des blocs de Corsi est développemental, bien que cette caractéristique ne ressorte dans la population évaluée.

Pour la valeur des blocs de Corsi endroit comme envers, l'analyse des données de la présente recherche indique que la différence entre les filles et les garçons est non significative ($F = 0,165$; $ddl = 1$; $p = 0,691$ et $F = 2,786$; $ddl = 1$; $p = 0,117$). Les groupes ne se différencient pas dans leurs résultats.

Ces résultats sont cohérents avec l'étalonnage français qui ne présente pas de différences sexuelles.

3.1.2 Walking Corsi

Pour la valeur du Walking Corsi endroit comme envers, l'analyse des données de la présente recherche indique que la différence entre les 4 groupes d'âge est non significative ($F = 2,472$; $ddl = 3$; $p = 0,116$ et $F = 2,417$; $ddl = 3$; $p = 0,122$). Les groupes ne se différencient pas dans leurs résultats.

On sait toutefois que le Walking Corsi est développemental, bien que cette caractéristique ne ressorte pas dans la population évaluée.

Pour la valeur du Walking Corsi endroit comme envers, l'analyse des données de la présente recherche indique que la différence entre les filles et les garçons est non significative ($F = 0,012$; $ddl = 1$; $p = 0,914$ et $F = 0,002$; $ddl = 1$; $p = 0,961$). Les groupes ne se différencient pas dans leurs résultats.

Le mémoire précédemment évoqué a trouvé les mêmes résultats, il semblerait qu'il n'y ait pas de différences sexuelles dans une population âgée 6 à 10 ans pour le Walking Corsi. Ces résultats sont tout de même à nuancer, au regard de la taille relativement réduite des échantillons qui ont passé ces tests.

3.1.3 Batterie de Piaget

Pour la valeur de la batterie de Piaget, l'analyse des données de la présente recherche indique que la différence entre les 4 groupes d'âge est non significative ($F = 1,304$; $ddl = 3$; $p = 0,322$). Les groupes ne se différencient pas dans leurs résultats. Dans la population étudiée, la batterie de Piaget n'apparaît pas comme étant un test développemental.

Pour la valeur de la batterie de Piaget, l'analyse des données de la présente recherche indique que la différence entre les filles et les garçons est non significative ($F = 0,197$; $ddl = 1$; $p = 0,664$). Les groupes ne se différencient pas dans leurs résultats.

La batterie de Piaget ne présente pas de différences sexuelles, données confirmées par l'étalonnage du test.

3.1.4 L'épreuve des trajets au sol de Zazzo

Pour la valeur de l'épreuve des trajets au sol de Zazzo, l'analyse des données de la présente recherche indique que la différence entre les 4 groupes d'âge est significative ($F = 15,435$; $ddl = 3$; $p = 0,000$). Les groupes se différencient dans leurs résultats.

Dans la population étudiée le test de Zazzo apparaît comme un test développemental. La courbe ci-dessous présentant l'augmentation des scores obtenus en fonction de l'âge des participants souligne la progression développementale du test de Zazzo.

Pour la valeur de l'épreuve de trajet au sol de Zazzo, l'analyse des données de la présente recherche indique que la différence entre les filles et les garçons est non significative ($F = 1,567$; $ddl = 1$; $p = 0,231$). Les groupes ne se différencient pas dans leurs résultats.

Le test de Zazzo ne présente pas de différences sexuelles, données confirmées par l'étalonnage du test.

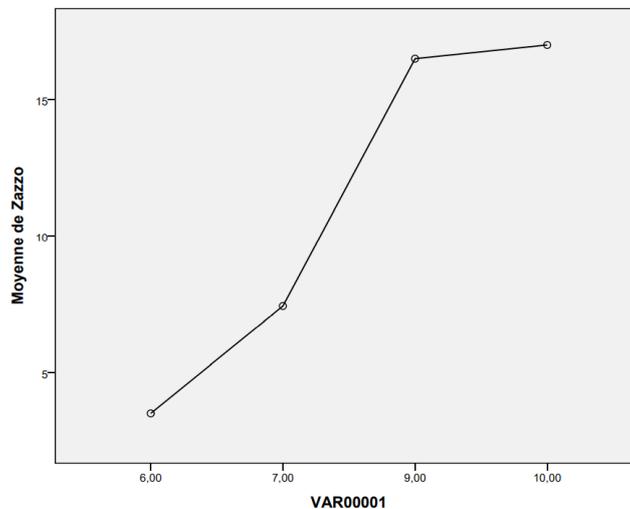


Figure I: Effet de l'âge sur le score obtenu au test de Zazzo

3.1.5 Le test de Bergen, ou test de discrimination droite-gauche

Pour la valeur du test de Bergen, l'analyse des données de la présente recherche indique que la différence entre les 4 groupes d'âge est significative ($F = 5,593$; $ddl = 3$; $p = 0,014$). Les groupes se différencient dans leurs résultats.

Dans la population étudiée le test de Bergen apparaît comme un test développemental.

La courbe ci-contre présentant l'augmentation des scores obtenus en fonction de l'âge des participants souligne la progression développementale du test de Bergen. On peut observer que ce test est compliqué pour les plus jeunes, il y a ensuite rupture et la courbe progresse suivant un développement caractéristique à partir de huit ans.

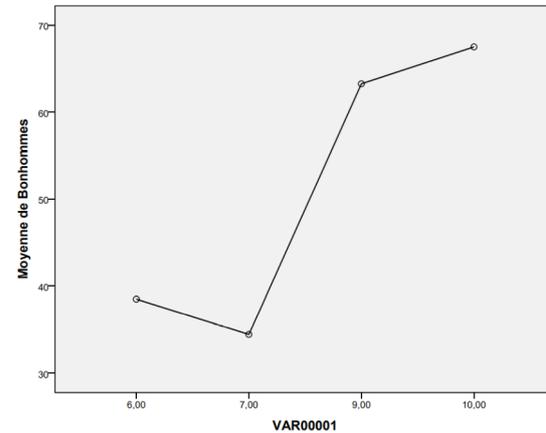


Figure J: Effet de l'âge sur le score obtenu au Test de Bergen

Pour la valeur du test de Bergen, l'analyse des données de la présente recherche indique que la différence entre les filles et les garçons est non significative ($F = 0,067$; $ddl = 1$; $p = 0,800$). Les groupes ne se différencient pas dans leurs résultats.

Dans cette étude le test de Bergen ne présente pas de différences sexuelles.

3.2- Corrélations entre les tests

Il a été réalisée une matrice de corrélation bivariée entre les différents tests.

		WCT endroit	WCT envers	Blocs endroit	Blocs envers	Piaget Head	Zazzo	Bonhommes
WCT endroit	Corrélation de Pearson	1	,371	,223	,350	-,306	,408	,242
	Sig. (bilatérale)		,173	,425	,202	,268	,131	,386
	N	15	15	15	15	15	15	15
WCT envers	Corrélation de Pearson	,371	1	,327	,430	-,102	,398	,749**
	Sig. (bilatérale)	,173		,234	,110	,718	,142	,001
	N	15	15	15	15	15	15	15
Blocs endroit	Corrélation de Pearson	,223	,327	1	,286	,226	,410	,401
	Sig. (bilatérale)	,425	,234		,302	,418	,129	,139
	N	15	15	15	15	15	15	15
Blocs envers	Corrélation de Pearson	,350	,430	,286	1	,082	,547*	,336
	Sig. (bilatérale)	,202	,110	,302		,770	,035	,221
	N	15	15	15	15	15	15	15
Piaget Head	Corrélation de Pearson	-,306	-,102	,226	,082	1	,304	,195
	Sig. (bilatérale)	,268	,718	,418	,770		,271	,487
	N	15	15	15	15	15	15	15
Zazzo	Corrélation de Pearson	,408	,398	,410	,547*	,304	1	,667**
	Sig. (bilatérale)	,131	,142	,129	,035	,271		,007
	N	15	15	15	15	15	15	15
Bonhommes	Corrélation de Pearson	,242	,749**	,401	,336	,195	,667**	1
	Sig. (bilatérale)	,386	,001	,139	,221	,487	,007	
	N	15	15	15	15	15	15	15

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

* . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Figure K: Tableau de corrélations entre les tests

3.2.1 Corrélations significatives fortes

L'analyse des données montre qu'il existe une corrélation significative très forte, au niveau 0,01, entre la passation du Walking Corsi envers et la passation du test de discrimination droite-gauche de Bergen ($r = 0,749$, $p = 0,01$).

L'analyse des données montre qu'il existe une corrélation significative forte, au niveau 0,05, entre la passation du test de Zazzo et la passation du test de discrimination droite-gauche de Bergen ($r = 0,667$, $p = 0,007$).

3.2.2 Corrélations significatives moyennes

L'analyse des données montre une corrélation moyenne entre la passation des blocs de Corsi envers et la passation du Walking Corsi envers ($r = 0,547$, $p = 0,35$).

L'analyse des données montre une corrélation moyenne entre la passation des blocs de Corsi envers et la passation du test de Zazzo ($r = 0,430$, $p = 0,110$).

3.2.3 Absence de corrélation

La batterie de Piaget n'est corrélée avec aucun des tests administrés aux enfants, avec un r négatif pour le Walking Corsi endroit ($r = -0,306$) et envers ($r = -0,102$), et non significatif pour les autres tests.

L'analyse des données ne montre aucune corrélation entre les blocs de Corsi endroit et les autres tests.

L'analyse des données ne montre aucune corrélation entre les blocs de Corsi envers et les autres tests, à l'exception du Walking Corsi envers.

L'analyse des données ne montre aucune corrélation entre le Walking Corsi endroit et les autres tests.

L'analyse des données ne montre aucune corrélation entre le Walking Corsi envers et les autres tests, à l'exception du test de Zazzo et du test de Bergen.

L'analyse des données ne montre aucune corrélation entre le test de Zazzo et les autres tests, à l'exception des blocs envers et du test de Bergen.

L'analyse des données ne montre aucune corrélation entre le test de Bergen et les autres tests, à l'exception du Walking Corsi envers et du test de Zazzo.

3.2.4 Recherche de corrélations en fonction de l'âge des participants

Au vue du caractère développemental de certains tests mentionnés précédemment, une recherche d'évolution des corrélations significatives mentionnées précédemment a été faite. Pour cela, les participants ont été regroupés en 2 groupes : le groupe des petits de 6 à 7 ans, et le groupe des grands de 9 à 10 ans.

Les résultats ainsi obtenus ne sont pas significatifs, mais on peut tout du moins observer plusieurs choses au niveau de la batterie de Piaget :

- elle est inversement corrélée avec le Walking Corsi endroit ($r = -0,468$; $p = 0,204$) et avec le Walking Corsi envers ($r = -0,134$; $p = 0,731$) dans le groupe des petits.
- elle est inversement corrélée avec le Walking Corsi endroit ($r = -0,52$; $p = 0,280$), avec le Walking Corsi envers ($r = -0,648$; $p = 0,164$), avec le test de Bergen ($r = 0,282$; $p = 0,588$), et la corrélation est quasi-nulle avec le test de Zazzo ($r = 0,020$; $p = 0,969$) dans le groupe des grands.

III- Discussion

Le test de discrimination droite-gauche de Bergen et le test de trajet au sol de Zazzo sont deux tests développementaux, c'est à dire que les scores obtenus par les participants entre 6 et 10 ans progressent avec l'âge. Cette observation est en accord avec les recherches effectuées dans la partie théorique, qui montrent que les capacités de discrimination s'affinent avec l'âge (De Lièvre, Staes, 2012) et que les enfants se déplacent avec plus de précision en grandissant (Lavenax, 2021).

Cet aspect développemental se retrouve au sein de notre étude concernant la passation envers du Walking Corsi.

Le test de Bergen est un test de connaissance droite-gauche qui, au vue de nos résultats, n'aurait aucune corrélation avec la batterie de Piaget.

Cela s'expliquerait par le fait que la batterie de Piaget serait en réalité un test langagier, et non un test spatial de discrimination droite-gauche, théorie soutenue par son absence totale de corrélation avec les autres tests. Cette théorie langagière a déjà été évoquée une première fois en 1974 par Lacoursière-Paige, qui explique que le développement du langage est corrélé avec l'évolution du concept droite-gauche sur soi et sur autrui. En revanche, cette recherche argue également en faveur d'une corrélation entre la discrimination droite-gauche sur une figure ou sur les autres, et des résultats obtenus à des tests spatiaux. Ces affirmations rejoignent les analyses des résultats, et la batterie de Piaget, où l'on doit répondre aux questions depuis son point de vue, serait alors un test langagier.

Le test de Bergen serait donc un test de connaissance droite-gauche se basant sur les connaissances spatiales : les sujets doivent utiliser la rotation mentale pour répondre aux items et passeraient par la voie dorsale pour générer une réponse.

Il semblerait ainsi plus favorable d'utiliser le test de Bergen pour évaluer les connaissances spatiales des individus, à la place de la batterie de Piaget qui évaluerait des compétences langagières.

Les tests des blocs de Corsi et le Walking Corsi mesurent deux domaines, deux capacités différentes. Les très faibles taux de corrélations obtenus vont en effet dans le

sens des mémoires précédents, qui ont également objectivé l'indépendance des deux tests.

Deux hypothèses pourraient expliquer la corrélation entre le Walking Corsi envers et le test de Bergen, et la corrélation entre le test de Bergen et le test de Zazzo.

Le test de Zazzo et le Walking Corsi sont deux tests qui fonctionnent sur l'espace, mais seul l'envers est corrélé. Le test de Zazzo propose un plan, il faut donc utiliser des opérations mentales complexes pour maintenir le trajet en mémoire tout en actualisant le déplacement effectué, ce qui oblige à utiliser la mémoire de travail. Dans le Walking Corsi envers, il faut également mémoriser le trajet parcouru par l'administrateur, l'inverser, et actualiser son propre déplacement. La complexité de ces deux tests obligerait alors les personnes à utiliser la « vraie » mémoire de travail.

Le test de Bergen nécessite l'utilisation de deux opérations : maintien d'une information en mémoire de travail (si la tête du bonhomme est blanche, il est de face alors que si sa tête est noire, il est de dos) et le travail sur une information (si la lettre D est notée, je dois entourer la main droite, alors que si la lettre G est notée je dois entourer la main gauche). Et comme la tâche est compliquée, une résolution de type « si, alors, donc » n'est pas possible. Ce travail en double tâche permettrait de mesurer les capacités du sujet en mémoire de travail.

Ces trois tests ont pour point commun la nécessité de traiter l'information spatiale en même temps qu'une autre information est maintenue en mémoire. La corrélation entre ces tests s'expliquerait donc par l'utilisation de la vraie mémoire de travail.

Cela ferait du Walking Corsi envers un test d'évaluation de la mémoire de travail visuo-spatiale.

La seconde hypothèse repose sur l'absence de corrélation entre les blocs de Corsi envers et le Walking Corsi envers, qui viendrait contrer le fait que ce dernier évalue la mémoire de travail, donnée admise pour les blocs de Corsi.

De plus, si on sépare les participants en deux groupes, les petits de 6-7 ans et les grands de 9-10 ans et qu'on compare les résultats obtenus à la batterie de Piaget par rapport aux autres tests, on obtient plusieurs choses :

- la batterie de Piaget est inversement corrélée avec le Walking Corsi endroit et envers

- en observant le groupe des petits, il y a une vraie opposition avec le Walking Corsi endroit, bien qu'elle ne soit pas significative
- en regardant le groupe des grands, il y a une corrélation négative avec le Walking Corsi endroit et envers, et le test de Bergen

Ces corrélations inverses entre la Batterie de Piaget et des aptitudes liées à la navigation spatiale sont d'autant plus marquées chez les grands. Cela voudrait dire que dès que les aptitudes sont mises en place, ils n'utilisent plus du tout le langage.

Les 3 tests mesurent les capacités spatiales à s'orienter à l'extérieur :

- le test de Zazzo implique l'utilisation d'un plan pour se déplacer dans un espace repéré défini
- le Walking Corsi envers nécessite le traitement et la manipulation d'une information spatiale dans un espace défini
- le test de Bergen demande au sujet d'orienter une figure à l'extérieur de soi.

Ces tests impliqueraient l'utilisation d'une stratégie allocentrique, mais les participants les plus jeunes seraient parasités par l'utilisation d'une stratégie langagière, abandonnée par les plus grands qui présentent alors de meilleures performances.

Au cours de la passation des différents tests, il a été observé de manière clinique une particularité dans la réaction des enfants les plus jeunes face au Walking Corsi.

Au moment de reproduire la trajectoire, les enfants de 6-7 ans qui arrivaient à la fin du déplacement indiquaient régulièrement « c'est par là » en montrant la bonne direction de fin de trajectoire, sans toutefois se souvenir du carré-cible exact. Passé 8 ans, cette réflexion n'a pas été observée une seule fois.

Au delà de 8 ans, il y aurait une rupture de cette stratégie. On peut faire le lien entre cette stratégie et le travail de recherche de Lavenex et al (2021) qui observaient le même comportement chez les enfants utilisant une stratégie allocentrique à basse résolution c'est à dire chez les enfants de 2 à 7 ans. Stratégie qui tend à disparaître au-delà de 8 ans, au profit d'une stratégie allocentrique à haute résolution.

Conclusion

Les résultats obtenus par le biais de ce protocole révèlent plusieurs points intéressants.

Piccardi et al pensaient que leur test (Walking Corsi Test) était un test de navigation (2013), et Zazzo pensait également que son test de trajet au sol évaluait les capacités de navigation spatiale chez les individus. Or, le principe de validité concurrente nous dit que si deux tests qui doivent évaluer la même capacité sont corrélés entre eux, alors on peut dire qu'ils évaluent effectivement la même capacité. On peut donc conclure que le Walking Corsi est un test de navigation.

Nos données permettent également d'ajouter que le test de navigation Walking Corsi implique l'utilisation active d'une stratégie allocentrique chez les sujets.

Par ailleurs, l'analyse des résultats obtenus nous a permis de démontrer que le Walking Corsi permet une bonne mesure de la mémoire de travail visuo-spatiale, de manière plus précise que l'épreuve envers des Blocs de Corsi.

Le test de Bergen remplacerait avantageusement la batterie de Piaget, qui est un test langagier non corrélé avec les autres tests, dans l'évaluation des connaissances spatiales droite-gauche des sujets.

Il reste néanmoins important de nuancer les résultats obtenus en raison de la taille de l'échantillon ici évalué. Une étude à plus grande échelle permettrait d'affiner et de vérifier les résultats et observations obtenues avec ce protocole.

Bibliographie

- Acredolo, L. P. (1978). Development of spatial orientation in infancy. *Developmental Psychology*, 14(3), 224-234.
- Aguirre, G. K., & D'Esposito, M. (1999). Topographical disorientation: A synthesis and taxonomy. *Brain: A Journal of Neurology*, 122(9), 1613-1628.
- Ainsworth, M. D. S., Blehar, M. C., Waters, E., & Wall, S. (1978). *Patterns of attachment: A psychological study of the strange situation*. Lawrence Erlbaum.
- Ball, W., & Tronick, E. (1971). Infant responses to impending collision: Optical and real. *Science*, 171(3973), 818-820.
- Banta Lavenex, P., & Lavenex, P. (2009). Spatial memory and the monkey hippocampus: Not all space is created equal. *Hippocampus*, 19(1), 8-19.
- Banta Lavenex, P., Ribordy Lambert, F., Bostelmann, M., & Lavenex, P. (2021). Le développement de la mémoire spatiale chez l'enfant entre 2 et 9 ans: *Enfance*, N° 1(1), 19-35.
- Berthoz, A. (1997). Chapitre 4 : Les référentiels. In *Le Sens du mouvement*. Odile Jacob.
- Bornstein, M. H. (1981). Psychological studies of color perception in human infants: Habituation, discrimination and categorization, recognition, and conceptualization. *Advances in Infancy Research*, 1, 1-40.
- Bottini, G., Karnath, H. O., Vallar, G., Sterzi, R., Frith, C. D., Frackowiak, R. S., & Paulesu, E. (2001). Cerebral representations for egocentric space: Functional-anatomical evidence from caloric vestibular stimulation and neck vibration. *Brain: A Journal of Neurology*, 124(6), 1182-1196.
- Bower, T. G., Broughton, J. M., & Moore, M. K. (1971). Infant responses to approaching objects: An indicator of response to distal variables. *Perception & Psychophysics*, 9(2-B), 193-196.
- Bowlby, J. (1969). *Attachment and loss* (New York: Basic Books).
- Bowlby, J. (1982). Attachment and loss: Retrospect and prospect. *American Journal of Orthopsychiatry*, 52(4), 664-678.
- CNRS. (2005). *La représentation multisensorielle de l'espace dans le cerveau*. CNRS.

- Darling, W. G., Pizzimenti, M. A., & Rizzo, M. (2003). Unilateral posterior parietal lobe lesions affect representation of visual space. *Vision Research*, 43(15), 1675-1688.
- Dasen, P., Mishra, R., Niraula, S., & Wassmann, J. (2006). The development of geocentric spatial language and cognition. *Enfance*, 58(2), 146-158.
- De Broca, A. (2017a). 4—Audition et dépistage de la surdité. In A. de Broca (Éd.), *Le Développement de L'enfant (Sixième Édition)* (p. 33-44). Elsevier Masson.
- De Broca, A. (2017b). *Le développement de l'enfant: Du normal aux principaux troubles du développement*. Elsevier Health Sciences.
- Dugravier, R., & Barbey-Mintz, A.-S. (2015). Origines et concepts de la théorie de l'attachement. *Enfances & Psy*, 66(2), 14.
- Eisenberg, R. B. (1976). *Auditory competence in early life: The roots of communicative behavior*. U Park Press.
- Fournier, M., & Albaret, J.-M. (2013). Étalonnage des blocs de Corsi sur une population d'enfants scolarisés du CP à la 6e. *Developpements*, 1617(3), 76-82.
- Galati, G., Lobel, E., Vallar, G., Berthoz, A., Pizzamiglio, L., & Le Bihan, D. (2000). The neural basis of egocentric and allocentric coding of space in humans: A functional magnetic resonance study. *Experimental Brain Research*, 133(2), 156-164.
- Gibson, E. J., & Walk, R. D. (1960). The « visual cliff. » *Scientific American*, 202(4), 64-71.
- Gold, A. E., & Kesner, R. P. (2005). The Role of the CA3 Subregion of the Dorsal Hippocampus in Spatial Pattern Completion in the Rat. *Hippocampus*, 15(6), 808-814.
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15(1), 20-25.
- Grisson, E., & Gyselinck, V. (2019). La cognition spatiale pour repenser les aides à la navigation. *L'annee psychologique*, 119(2), 243-278.
- Hatwell, Y. (1990). Chapitre 2. Le développement des concepts spatiaux : De la théorie de Piaget aux théories du traitement de l'information. In *Développement et fonctionnement cognitifs chez l'enfant* (p. 53-69). Presses Universitaires de France.

- Held, R., Gwiazda, J. E., & Birch, E. E. (s. d.). Le développement de la vision chez l'enfant. *La recherche*, 12(128), 1348-1353.
- Hickmann, M. (2012). Diversité des langues et acquisition du langage : Espace et temporalité chez l'enfant. *Langages*, 188(4), 25-39.
- Holder, M. K. (2005). Investigating Manual Specializations in Extant and Extinct Hominins. In *Stone knapping : The Necessary Conditions for a Uniquely Hominin Behaviour*, (p. 205-216). McDonald Institute for Archaeological Research, Cambridge, UK.
- Kravitz, D. J., Saleem, K. S., Baker, C. I., & Mishkin, M. (2011). A new neural framework for visuospatial processing. *Nature Reviews. Neuroscience*, 12(4), 217-230.
- Lacoursière-Paige, F. (1974). Development of right-left concept in children. *Perceptual and Motor Skills*, 38(1), 111-117.
- Lavenex, P., & Banta Lavenex, P. (2013). Building hippocampal circuits to learn and remember : Insights into the development of human memory. *Behavioural Brain Research*, 254, 8-21.
- Levinson, S. (2003). *Space in Language and Cognition : Explorations in Cognitive Diversity*. 5.
- Levinson, S. C. (1996). Language and Space. *Annual Review of Anthropology*, 25(1), 353-382.
- Lewandowski, C., Albaret, J.-M., Chéron, A., Rontani, M., Soppelsa, R., Faddoul, S. G., & Marquet-Doléac, J. (2018). Chapitre 9. Examen des fonctions spatiales et visuo-spatiales. In *Manuel d'enseignement de psychomotricité* (p. 119-151). De Boeck Supérieur.
- Liben, L. S., & Downs, R. M. (1989). Understanding Maps as Symbols : The Development of Map Concepts in Children. In H. W. Reese (Éd.), *Advances in Child Development and Behavior* (Vol. 22, p. 145-201).
- Lièvre, B. D., & Staes, L. (2012). *Psychomotricité au service de l'enfant : Notions et applications pédagogiques*. De Boeck Fondamental.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability : A Meta-Analysis. *Child Development*, 56(6).
- Loffing, F., Hagemann, N., Strauss, B., & MacMahon, C. (2016). *Laterality in Sports : Theories and Applications*. Academic Press Inc.

- Lopez, C., Lacour, M., & Borel, L. (2005). Perception De La Verticalite Et Representations Spatiales Dans Les Aires Corticales Vestibulaires. In *Bipédie, contrôle postural et représentation corticale* (Solal, p. 35-86).
- Lurçat, L. (1976). *L'enfant et l'espace : Le rôle du corps* (Presses Universitaires de France).
- Main, M., & Solomon, J. (1990). Procedures for identifying infants as disorganized/disoriented during the Ainsworth Strange Situation. In *Attachment in the preschool years: Theory, research, and intervention* (p. 121-160). The University of Chicago Press.
- Mendez, M. F., & Cherrier, M. M. (2003). Agnosia for scenes in topographagnosia. *Neuropsychologia*, 41(10), 1387-1395.
- Milenković, S., Paunović, K., & Kocijančić, D. (2016). Laterality in living beings, hand dominance, and cerebral lateralization. *Srpski Arhiv Za Celokupno Lekarstvo*, 144(5-6), 339-344.
- Newcombe, N. S., Uttal, D. H., & Sauter, M. (2013). Spatial development. In *The Oxford handbook of developmental psychology (Vol 1) : Body and mind* (p. 564-590). Oxford University Press.
- Noordzij, M. L., Zuidhoek, S., & Postma, A. (2006). The influence of visual experience on the ability to form spatial mental models based on route and survey descriptions. *Cognition*, 100(2), 321-342.
- Nori, R., Piccardi, L., Pelosi, A., De Luca, D., Frasca, F., & Giusberti, F. (2015). Perspective changing in WalCT and VR-WalCT: A gender difference study. *Computers in Human Behavior*, 53, 316-323.
- Ofte, S. H., & Hugdahl, K. (2002). Right-left discrimination in male and female, young and old subjects. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(1), 82-92.
- Pavot, C., & Galliano, A.-C. (2015). Chapitre 7. L'espace et le temps. In *Manuel d'enseignement de psychomotricité* (p. 247-286). De Boeck Supérieur.
- Pêcheux, M.-G. (1990). *Le développement des rapports des enfants à l'espace*. Nathan.
- Perrochon, A., Kemoun, G., Dugué, B., & Berthoz, A. (2014). Cognitive Impairment Assessment through Visuospatial Memory Can Be Performed with a Modified Walking Corsi Test Using the « Magic Carpet ». *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders Extra*, 4(1), 1-13.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1948). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Presses Universitaires de France.

- Piccardi, L., Bianchini, F., Argento, O., De Nigris, A., Maialetti, A., Palermo, L., & Guariglia, C. (2013). The Walking Corsi Test (WalCT): Standardization of the topographical memory test in an Italian population. *Neurological Sciences*, *34*(6), 971-978.
- Piccardi, L., Bianchini, F., Nori, R., Marano, A., Iachini, F., Lasala, L., & Guariglia, C. (2014). Spatial location and pathway memory compared in the reaching vs. Walking domains. *Neuroscience Letters*, *566*, 226-230.
- Piccardi, L., Iaria, G., Ricci, M., Bianchini, F., Zompanti, L., & Guariglia, C. (2008). Walking in the Corsi test: Which type of memory do you need? *Neuroscience Letters*, *432*(2), 127-131.
- Piccardi, L., Riseti, M., Nori, R., Tanzilli, A., Bernardi, L., & Guariglia, C. (2011). Perspective changing in primary and secondary learning: A gender difference study. *Learning and Individual Differences*, *21*(1), 114-118.
- Postma, A., & Ham, I. J. M. van der. (2016). *Neuropsychology of Space: Spatial Functions of the Human Brain*. Academic Press Inc.
- Robert-Ouvray, S., & Servant-Laval, A. (2015). Chapitre 5. Le tonus et la tonicité. In *Manuel d'enseignement de psychomotricité* (p. 247-286). De Boeck Supérieur.
- Schaafsma, S. M., Riedstra, B. J., Pfannkuche, K. A., Bouma, A., & Groothuis, T. G. G. (2009). Epigenesis of behavioural lateralization in humans and other animals. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *364*(1519), 915-927.
- Siegel, A. W., & White, S. H. (1975). The development of spatial representations of large-scale environments. *Advances in Child Development and Behavior*, *10*, 9-55.
- Simonnet, M., Vieilledent, S., & Tisseau, J. (2013). Influences des activités du sujet et des caractéristiques environnementales sur la nature de l'encodage spatial. *L'Année psychologique*, *113*(2), 227-254.
- Soppelsa, R. (2018). Sémiologie des troubles spatiaux. In *Manuel d'enseignement de psychomotricité: Tome 4 -Sémiologie et nosographies psychomotrices* (p. 124-141). De Boeck Supérieur.
- Sroufe, L. A. (1990). An organizational perspective on the self. In *The self in transition: Infancy to childhood* (p. 281-307). University of Chicago Press.

- Steele, J., & Uomini, N. (2005). Humans, tools and handedness (co-author James Steele). *In: V. Roux and B. Brill (eds.), Stone knapping: the necessary conditions for a uniquely hominid behaviour.*
- Teller, D. Y., & Bornstein, M. H. (1987). Infant color vision and color perception. *Handbook of infant perception, 1*, 185-236.
- Terenio, S., Soares, I., Martins, E., Sampaio, D., & Carlson, E. (2007). La théorie de l'attachement : Son importance dans un contexte pédiatrique: *Devenir, Vol. 19(2)*, 151-188.
- Ungerleider, L. G., Mishkin, M., & Macko, K. A. (1982). Object vision and spatial vision : Two cortical pathways. *Trends in Neurosciences, 6*, 414-417.
- Van der Ham, I. J. M., & Claessen, M. H. G. (2017). Navigation ability. *In Neuropsychology of space : Spatial functions of the human brain* (p. 267-308). Elsevier Academic Press.
- Van der Ham, I. J. M., & Ruotolo, F. (2017). On inter- and intrahemispheric differences in visuospatial perception. *In Neuropsychology of space : Spatial functions of the human brain* (p. 35-76). Elsevier Academic Press.
- Van der Stoep, N., Postma, A., & Nijboer, T. C. W. (2017). Multisensory perception and the coding of space. *In Neuropsychology of space : Spatial functions of the human brain* (p. 123-158). Elsevier Academic Press.

Résumé

La navigation spatiale est la capacité qu'à un individu de se déplacer d'un point A à un point B sans se perdre, dans un environnement précis. C'est une fonction cognitive complexe, avec de nombreuses composantes.

Le sujet de la navigation a été développé au travers du Walking Corsi, une version tapis à l'échelle 1:10 des blocs de Corsi, initialement créée en Italie par Piccardi et al (2008). L'idée a ici été de démontrer si le Walking Corsi est un test de navigation, et si l'utilisation préférentielle d'une stratégie égocentrique ou allocentrique évolue avec l'âge des sujets. L'étude a été réalisée auprès d'enfants tout venants de 6 à 10 ans.

L'analyse statistique des résultats obtenus objective une corrélation entre le test de Zazzo et le Walking Corsi. Par le principe de validité concurrente, on peut conclure que le Walking Corsi est un test de navigation spatiale. Par ailleurs, il a été montré que ce test implique l'utilisation active d'une stratégie allocentrique chez les sujets. Le Walking Corsi est également une mesure précise de la mémoire de travail visuo-spatiale.

Mots clés : Navigation spatiale, référentiel égocentré et allocentré, mémoire de travail visuo-spatiale

Abstract

Spatial navigation is an individual's ability to move from point A to point B without getting lost, in a specific environment. It is a complex cognitive function, with many components.

The subject of navigation was developed through the Walking Corsi, a 1:10 scale carpet version of the Corsi blocks, originally created in Italy by Piccardi and al (2008). The idea was to prove if the Walking Corsi is a navigation test, and if the preferential use of an egocentric or allocentric strategy is correlated with the age of the subjects. The study was carried out with children from 6 to 10 years old.

The statistical analysis of the results shows an objective correlation between the Zazzo test and the Walking Corsi. By the principle of concurrent validity, we can conclude that the Walking Corsi is a spatial navigation test. Moreover, it has been shown that this test involves the active use of an allocentric strategy. The Walking Corsi is also an accurate measure of visuospatial working memory.

Key words : Spatial navigation, egocentric and allocentric referential, visuospatial working memory