



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>



MEMOIRE présenté pour l'obtention du
CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOAPHONISTE
Par
ROTIVAL Coralie

IMAGERIE MOTRICE ET LANGAGE

Directeurs de Mémoire

NAZIR Tatjana
DECOPPET Nathalie

Membres du Jury

GONZALEZ Sibylle
CHOSSON Christelle
LEVY Hagar

Date de Soutenance
30 Juin 2016

ORGANIGRAMME

1 UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1

Président
Pr. FLEURY Frédéric

Président du Conseil Académique
Pr. BEN HADID Hamda

Vice-président CA
Pr. REVEL Didier

Vice-président CFVU
Pr. CHEVALIER Philippe

Vice-président CS
M. VALLEE Fabrice

Directeur Général des Services
M. HELLEU Alain

1.1 Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est
Directeur **Pr. ETIENNE Jérôme**

U.F.R de Médecine et de maïeutique -
Lyon-Sud Charles Mérieux
Directeur **Pr. BURILLON Carole**

Comité de Coordination des Etudes
Médicales (C.C.E.M.)
Pr. ETIENNE Jérôme

U.F.R d'Odontologie
Directeur **Pr. BOURGEOIS Denis**

Institut des Sciences Pharmaceutiques
et Biologiques
Directeur **Pr. VINCIGUERRA Christine**

Institut des Sciences et Techniques de
la Réadaptation
Directeur **Dr. PERROT Xavier**

Département de Formation et Centre
de Recherche en Biologie Humaine
Directeur **Pr. SCHOTT Anne-Marie**

1.2 Secteur Sciences et Technologies

U.F.R. de Sciences et Technologies
Directeur **M. DE MARCHI Fabien**

U.F.R. de Sciences et Techniques des
Activités Physiques et Sportives
(S.T.A.P.S.)
Directeur **M. VANPOULLE Yannick**

Institut des Sciences Financières et
d'Assurance (I.S.F.A.)
Directeur **M. LEBOISNE Nicolas**

Observatoire Astronomique de Lyon
Directeur **Mme DANIEL Isabelle**

Ecole Supérieure du Professorat et de
l'Education
Directeur **M. MOUGNIOTTE Alain**

POLYTECH LYON
Directeur **M. PERRIN Emmanuel**

Ecole Supérieure de Chimie Physique
Électronique de Lyon (ESCPÉ)
Directeur **M. PIGNAULT Gérard**

IUT LYON 1
Directeur **M. VITON Christophe**



Coralie ROTIVAL

IMAGERIE MOTRICE ET LANGAGE

Mémoire d'orthophonie -UCBL-ISTR- Lyon 2016

N° 1811

ERRATUM

Au lieu de « *Les participants de notre échantillon devaient également ne pas présenter de dysphasie, de trouble logicomathématique, de trouble neurologique, de trouble sensoriel (sauf si vue corrigée), de trouble de l'attention, ni de déficit intellectuel.*

Lire « *Les participants de notre échantillon devaient également ne pas présenter de dysphasie, de trouble d'acquisition de la coordination (TAC), de trouble logicomathématique, de trouble neurologique, de trouble sensoriel (sauf si vue corrigée), de trouble de l'attention, ni de déficit intellectuel.*

2 INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA READAPTATION

Directeur ISTR : **Dr Xavier PERROT**

FORMATION ORTHOPHONIE

Directeur de la formation
Agnès BO
Professeur Associé

Responsable des mémoires de recherche
Agnès WITKO
M.C.U. en Sciences du Langage

Responsables de la formation clinique
Claire GENTIL
Fanny GUILLON

Chargées de l'évaluation des aptitudes aux études
en vue du certificat de capacité en orthophonie

Anne PEILLON, M.C.U. Associé
Solveig CHAPUIS

Responsable de la formation continue
Maud FERROUILLET-DURAND

Secrétariat de direction et de scolarité
Bertille GOYARD
Ines GOUDJIL
Delphine MONTAZEL

REMERCIEMENTS

J'adresse mes premiers remerciements à mes maîtres de mémoire, Tatjana Nazir et Nathalie Decoppet, pour leurs excellents conseils et leur encadrement tout au long de ces deux années. Merci de m'avoir permis de réaliser ce projet et de m'avoir fait découvrir la recherche.

Au sein de l'Institut des Sciences Cognitives, je remercie Yves Paulignan pour sa disponibilité et son aide auprès de l'outil Optotak, Justine Epinat pour son soutien dans le recrutement de mes participants, Anne Cheylus pour la programmation informatique et Prince Asare-Agbo pour notre collaboration dans la constitution de l'épreuve des définitions.

Pour avoir participé à la constitution de ma population, je remercie chaleureusement l'association 1 2 3 Dys, les collèges Pablo Picasso à Bron, Gilbert Dru à Lyon 3, et Charles de Foucauld à Lyon 3, qui m'ont fait confiance et m'ont permis de présenter mon projet aux adhérents et aux élèves.

Je suis très reconnaissante envers les parents et les enfants qui ont accepté de se porter volontaires pour mon projet de recherche, sans qui rien n'aurait été possible. Merci pour leur disponibilité et leur gentillesse, car ils m'ont permis de mener à terme mon mémoire.

Je voudrais tout particulièrement remercier Lucie Beauvais pour le temps consacré à mon mémoire. Ses conseils, ses relectures et les cours qu'elle a pu nous dispenser cette année se sont révélés être un soutien méthodologique indispensable pour moi.

Merci aux filles de la promotion, qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de mon mémoire. Un énorme merci à Mathilde, qui m'a soutenue tout au long de cette épopée. Nos bons moments et ta bonne humeur nous ont permis de tenir le coup et de dédramatiser les moments difficiles. Maintenant, place à la grande aventure !

Enfin, merci à toi. Pour tes relectures, ton soutien, tes conseils, tes encouragements, tes coups de gueule, ta patience et nos sacrifices, qui m'ont permis de boucler ces huit années de notre vie avec toujours la même motivation et la perspective d'un avenir meilleur.

SOMMAIRE

ORGANIGRAMME.....	2
1 UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1.....	2
2 INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA READAPTATION	3
REMERCIEMENTS	4
SOMMAIRE	5
INTRODUCTION	9
PARTIE THEORIQUE	11
I Imagerie mentale.....	12
1 Définition.....	12
2 Evocation et élaboration	13
3 Utilité et fonction	14
4 Développement.....	15
5 Vivre sans image.....	16
II Imagerie motrice.....	16
1. Définition.....	16
2. Action exécutée versus action simulée	17
3. Utilité des images motrices	18
4. Développement des images motrices	18
5. Trouble praxique	19
III Aspect langagier	20
1 Traitement linguistique	20
2 Gestion des inférences	21
3 Compréhension	22
4 Gestion mentale	23
PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES	25
I Contexte et problématique	26
II Hypothèse théorique	26
III Hypothèses opérationnelles	26
PARTIE EXPERIMENTATION.....	27
I Population	28
1 Critères de recrutement.....	28
2 Procédure d'échantillonnage	29

3	Aspects réglementaires, éthiques et financiers	30
II	Matériel et procédure	31
1	Partie Imagerie Motrice	31
2	Partie Compréhension du Langage	36
3	Variables mesurées	39
	PRESENTATION DES RESULTATS.....	40
I	Introduction.....	41
II	Analyses descriptives des différentes tâches.....	41
1	Caractéristiques de l'échantillon.....	41
2	Protocole « Linkenauger ».....	41
3	Protocole « Frak ».....	42
4	Protocole « Définitions »	45
5	Protocole « Enigmes »	48
III	Analyses des corrélations	49
1	Test de normalité	49
2	Corrélations de Spearman et test de significativité	51
	DISCUSSION DES RESULTATS.....	52
I	Rappel de l'objectif et des hypothèses.....	53
II	Interprétation des résultats.....	53
1	Validation des hypothèses opérationnelles	53
2	Analyse des protocoles proposés.....	54
3	Analyse des corrélations.....	56
III	Analyse critique de la démarche expérimentale	57
1	Recrutement et conditions de passation	57
2	Choix du matériel	58
IV	Perspectives	58
1	Apports pour la recherche.....	58
2	Apports pour l'orthophonie	61
	CONCLUSION.....	64
	REFERENCES.....	65
	ANNEXES.....	72
	Annexe I : Recrutement de l'échantillon.....	73
	Annexe II : Consignes données aux participants.....	75
	Annexe III : Listes des définitions	77

Annexe IV : Listes des énigmes.....	86
Annexe V : Mesures préalables	90
Annexe VI : Protocole « Linkenauger ».....	91
Annexe VII : Protocole « Frak »	94
Annexe VIII : Protocole « Définitions ».....	96
Annexe IX : Protocole « Enigmes »	99
Annexe X : Test de normalité.....	100
TABLE DES ILLUSTRATIONS	104
1. Liste des figures	104
2. Liste des tableaux	105
TABLE DES MATIERES	106

SUMMARY

This study aims at revealing potential links between motor imagery and language skills. Indeed, the literature reveals, on the one hand, it is now well established that language processing can engage the motor cortex when an action verb is uttered, heard or read, such as in a phrase like "Paul cut his meat". This activation contributes to the elaboration of the meaning of the sentence, when it describes a motor action. On the other hand, mental imagery is also involved in language processing, e.g. for the elaboration of verbally underspecified information. Thus, in a sentence like "his nose is of the color of a tomato" imaging skills helps elaborating the implicit notion of "red". Therefore, we use this skill unconsciously to access the meaning of sentences. With these elements, we wanted to know whether motor imagery skills could predict language understanding. To establish such link, the study was conducted with 30 children aged 11 to 15 years. We proposed them two motor imagery tasks and two sentence comprehension tests (oral and written). In order to study the relationships, we conducted correlational analyzes. Data analysis confirmed that motor imagery skill is indeed related to language comprehension, in particular for the understanding of high imagery words. Our results confirm our hypothesis that low motor imagery skills negatively impact the ability to understand words, whatever their value imaging and indirectly prejudice the understanding of oral and written sentences. Finally, by focusing on motor imagery, our study constitutes a starting point for novel rehabilitation programs for language comprehension difficulties.

KEY-WORDS

motor skills – praxis disorder – language understanding – inferences – abstracts words – concrete words – preteens

INTRODUCTION

Ce projet de recherche est né de la rencontre avec Tatjana Nazir, chercheur au sein de l’Institut des Sciences Cognitives, et Nathalie Decoppet, orthophoniste. L’idée de départ était de mener une réflexion autour de l’imagerie mentale et du langage.

L’imagerie mentale et sa relation entretenue avec le langage constituent une thématique de plus en plus abordée au sein de la communauté scientifique. Selon Barsalou (1999), l’imagerie entretient des liens structurels et fonctionnels avec les compétences langagières. Pour cet auteur, la majorité des personnes utilisent l’imagerie mentale dans ses différentes modalités, afin de traiter le langage. Elle permet de combler les informations manquantes, induites par l’aspect implicite du langage. On se sert donc de cette habileté de façon inconsciente pour accéder au sens des énoncés (Binder & Desai, 2011 ; Pulvermüller, Hauk, Nikulin, & Ilmoniemi, 2005). Ainsi, une phrase comme « *son nez a la couleur d’une tomate* » engendre un recours à l’imagerie pour saisir la notion implicite du « rouge ».

Par ailleurs, la littérature scientifique montre que le langage active le cortex moteur lorsqu’un verbe d’action est prononcé, entendu ou lu, dans une phrase comme « *Paul coupe sa viande* » (Aravena et al., 2014). Cette activation des systèmes moteurs permet d’accéder pleinement au sens de la phrase, lorsque celle-ci décrit une action motrice. Il est donc aujourd’hui admis que le langage entraîne une activation du cortex moteur, ainsi que d’autres régions, spécifiques aux différentes modalités sollicitées par le contexte langagier (Binder & Desai, 2011).

Notre étude s’inscrit dans la lignée des travaux actuels puisqu’elle fait suite aux études de Tatjana Nazir sur les circuits neuronaux partagés par l’action et le langage, qui sont sollicités pour combler des déficits linguistiques (Nazir, Jeannerod, & Hauk, 2008). En effet, au cours de ces dernières années, son équipe a montré que les systèmes moteurs corticaux contribuent au traitement du langage lorsque celui-ci décrit une action motrice. Plus précisément, un projet de recherche mené par Asare-Agbo, Rotival, Cheylus, & Nazir (2015) révèle que des mécanismes différents sont utilisés dans le traitement des mots de forte et de faible imagerie. Grebot (1994) parle de valeur d’imagerie, qu’elle définit comme étant la capacité d’un mot ou d’une phrase à provoquer une représentation mentale avec plus ou moins de facilité. C’est ce qu’on appelle, l’effet de concréture. Ainsi dans notre étude, nous entendrons par « mot de forte imagerie », tous les mots qui induisent facilement une image mentale, comme « girafe » ou « maison ». Ils s’apparentent finalement aux mots concrets, alors que les « mots de basse imagerie » se rapprochent des mots abstraits, comme « jalouse » ou « impénétrable ». Dans ce dernier cas, l’activation d’une image mentale est beaucoup moins précise.

Compte tenu de ces éléments, nous nous sommes intéressée à l’étude de l’imagerie motrice. L’originalité de ce travail réside dans le rapprochement possible entre les capacités d’imagerie motrice et les compétences langagières, et notamment la compréhension.

L'objectif de notre projet est de saisir le rôle que peut jouer l'imagerie motrice sur les capacités langagières. Notre étude confirmerait ainsi le fait que certains troubles du langage puissent provenir d'un déficit au niveau du traitement des images mentales (générer, entretenir, interpréter), comme l'ont déjà montré plusieurs auteurs (Dérudet, 2012 ; Guarnera, Commodari, & Peluso, 2013 ; Oakhill & Patel, 1991). Toutefois, à notre connaissance, le lien entre l'imagerie motrice et la compréhension du langage n'a pas été étudié jusqu'à aujourd'hui.

Nous commencerons par exposer les données théoriques concernant nos deux thématiques principales : l'imagerie mentale et la compréhension du langage. Ensuite, nous présenterons la démarche expérimentale utilisée pour valider nos hypothèses de recherche. Nous utiliserons pour cela plusieurs tests d'imagerie motrice et de compréhension du langage, afin de rechercher des corrélations entre les différentes tâches proposées. Enfin, nous présenterons les résultats obtenus, puis une discussion sera proposée afin d'apporter une réponse à notre problématique, de critiquer notre étude et d'ouvrir de nouvelles perspectives tant pour la recherche que pour la pratique clinique.

Chapitre I

PARTIE THEORIQUE

I Imagerie mentale

1 Définition

Wrager & Kosslyn (2002, p. 466, cités dans Bonnal & Hillaire, 2014) définissent l'imagerie mentale comme « *la capacité à simuler une information dans son esprit alors que celle-ci n'est pas perçue par les sens à ce moment-là* ». C'est une activité cognitive qui rend présent ce qui est perceptivement absent (s'orienter en voiture sans carte routière par exemple). Pour Kosslyn (1980), évoquer mentalement une image consiste donc à activer des représentations internes, cette activation ne nécessitant aucune stimulation extérieure. C'est donc cette définition du terme « représentation mentale » que nous utiliserons dans la suite de notre étude.

Selon Grebot (1994), cette imagerie mentale se réalise dans différentes modalités :

Imagerie visuelle	Imaginer le visage de quelqu'un ou sa démarche, sa maison, la Tour Eiffel, une tomate bien mûre
Imagerie auditive	Imaginer la sonnerie du réveil ou du téléphone, un klaxon, la sirène d'un camion de pompiers, le chant d'une mouette
Imagerie tactile	Imaginer les sensations tactiles ressenties lorsque nous touchons une craie, une éponge, du cuir, du sable, de la soie ou de la laine
Imagerie somesthésique	Imaginer les sensations physiques qui se produisent lorsque nous avons des fourmis dans les pieds, que nous ressentons une soif intense ou une grande fatigue
Imagerie kinesthésique	Imaginer ses propres mouvements (sensations motrice et musculaire) comme s'étirer, ouvrir une porte, se relever ou ramasser un objet
Imagerie olfactive	Imaginer l'odeur d'un parfum, de la cuisine, du savon ou de la peinture fraîche
Imagerie gustative	Imaginer la saveur du sel, du citron, du sucre ou du chocolat

Nous parlons d'images sans que ce ne soit rattaché à un élément visuel. Nous pouvons ainsi élaborer des images de différentes modalités, les plus courantes étant les modalités visuelle et auditive. Ainsi, nous retrouvons de nombreux écrits concernant les imageries

visuelle et auditive, qui découlent de ces deux modalités. Toutefois, pour Grebot (1994), il ne faut pas négliger l'imagerie kinesthésique car elle joue un rôle non négligeable dans l'acquisition d'habiletés motrices. La Garanderie (1982) considère qu'au quotidien, nous générerons tous les types d'images en fonction de la situation rencontrée.

2 Evocation et élaboration

Paivio (1971, cité dans Joffe, Cain, & Marić, 2007) considère qu'il existe deux sous-systèmes cognitifs, l'un spécialisé dans la représentation et le traitement des éléments non verbaux (imagerie), l'autre spécialisé dans le traitement des éléments verbaux. Selon sa théorie du double codage (cf. Figure 1), il existe ainsi deux types de représentations : « *imens* » pour les images mentales et « *ogens* » pour les entités verbales. Ces deux systèmes fonctionnent indépendamment ou en coopération selon les situations. Par exemple, voir un chien constitue une information non verbale, et lire son nom sur son collier représente une information verbale. Le recrutement des systèmes de représentation verbale ou imagée varie en fonction du matériel à traiter : dessins, mots de forte imagerie, mots de faible imagerie, etc. Un déficit dans l'un des deux systèmes entraîne des difficultés dans le traitement et la représentation significative (Joffe et al., 2007).

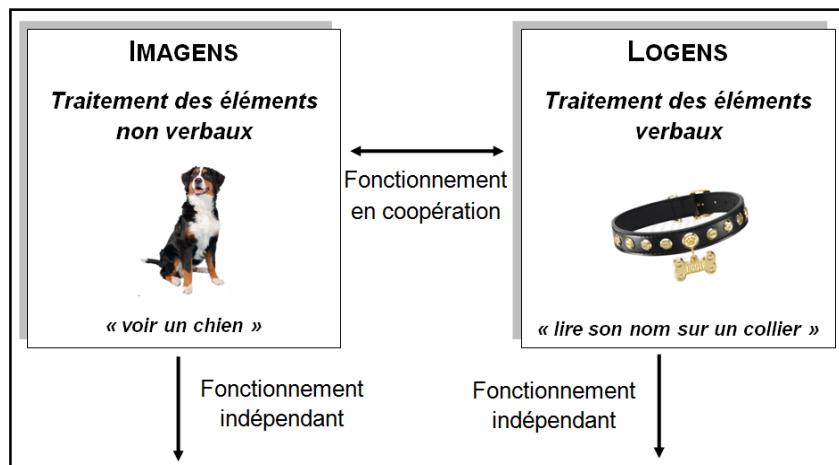


Figure 1 : Théorie du double codage (Paivio, 1971)

Par ailleurs, Mellet, Petit, Mazoyer, Denis, & Tzourio (1999, cités dans Dérudet, 2012) observe une latéralisation hémisphérique lors de la génération d'images. En effet, l'hémisphère droit traite les aspects globaux et la complexité, alors que l'hémisphère gauche s'occupe des aspects locaux et des détails. Selon Segal & Fusella (1970, cités dans Kosslyn, 1980) et Trocmé-Fabre (1994), l'imagerie utilise une partie des réseaux neuronaux desservant la modalité sensorielle correspondante, comme la motricité, la vision ou l'audition. L'imagerie mentale et la perception relèvent donc en partie de la même modalité sensorielle et ont en commun certains mécanismes cérébraux.

Ainsi selon Pacherie (2003), nous sommes tous capables de former des images mentales (mais voir Zeman, Dewar, & Della Sala, 2015). L'auteur reprend cinq principes fondamentaux dans la formation d'une image :

Principe de l'encodage implicite	L'imagerie permet de récupérer une information sur les propriétés physiques des objets, qui n'aurait pas été explicitement ou volontairement encodée au préalable. Par exemple, pour répondre aux questions « <i>Napoléon avait-il une moustache</i> » ou « <i>combien y a-t-il de portes dans votre maison</i> » la génération d'une image permet d'aller facilement récupérer l'information.
Principe d'équivalence perceptive	L'imagerie est fonctionnellement équivalente à la perception puisque des mécanismes similaires sont activés dans le système visuel, que les objets soient imaginés ou réellement perçus.
Principe d'équivalence spatiale	Les relations spatiales entre les objets sont préservées dans une image mentale. L'agencement des éléments correspond à la réalité. Les images peuvent donc servir de cartes cognitives pour s'orienter dans l'espace.
Principe d'équivalence transformationnelle	Les images respectent les mêmes lois que les objets physiques : elles peuvent ainsi subir des rotations, des réductions ou agrandissements, des changements de forme ou de couleur...
Principe d'équivalence structurelle	De la même façon, la structure des images mentales correspond à celle des objets réellement perçus.

L'image mentale est plus ou moins similaire à l'image perçue, en fonction des capacités imageantes de chacun. Toutefois, l'image n'est jamais la reproduction exacte d'un objet de perception. Par exemple, nous sommes capables de visualiser une forêt. Cependant, l'image mentale peut aussi résulter de l'imaginaire, comme lorsque nous visualisons une forêt de haricots.

3 Utilité et fonction

Les images mentales favorisent la mémorisation et l'apprentissage. En effet, l'information est mieux retenue si une représentation (verbale ou non) est construite auparavant (Keogh & Pearson, 2011). Se créer une image mentale à partir d'un mot améliore donc son encodage et surtout sa rétention à long terme (Dubois, Vial, & Bollon, 1998). Selon Trocmé-Fabre (1994), une forte valeur d'imagerie, l'association de mots et la représentation imagée de l'objet ou du concept favorisent ce rappel.

Cette récupération est facilitée par l'activation de « modèles mentaux » (terme employé par Sadoski & Paivio (2001, cités dans Joffe et al., 2007) ou encore de « schémas cognitifs » pour Gineste & Le Ny (2002, cités dans Lenfant, Thibault, & Helloin, 2006). Ce sont des structures cognitives générales, dans lesquelles sont stockées les connaissances de la mémoire à long terme et les souvenirs épisodiques particuliers dont nous avons besoin pour générer des inférences. Ces modèles se constituent à la suite d'expériences répétées. Nous pouvons par exemple évoquer le modèle mental « aller au restaurant », avec tout le contenu informationnel que cela induit (réservation, commande, addition...). L'exemple du modèle mental de l'avion permet de rendre compte des différentes versions possibles d'un même modèle en fonction des individus (le reconnaître, le piloter, embarquer...). Ces versions sont générées en fonction du niveau de compétences en aéronautique, de l'âge ou de la culture générale. Ainsi, les éléments importants qui figurent dans chaque modèle mental diffèrent selon chacun, et chaque version n'a finalement en commun que l'étiquette verbale de l'avion.

La construction d'un modèle est acquise très tôt, dès 4 ans selon Colletta (2004, cité dans Lenfant et al., 2006). Il existe des modèles en communs, puisque les connaissances sont plus ou moins partagées par les individus. Ce sont finalement des représentations qui permettent de simuler mentalement le déroulement d'une situation, afin d'en anticiper les conséquences. Un modèle mental se caractérise par un aspect dynamique et multidimensionnel (Sablayrolles & Sevault, 2012). Dynamique d'une part, car chaque nouvel élément entraîne une mise à jour de la représentation en cours de traitement. En effet, à chaque énoncé lu ou entendu, plusieurs modèles mentaux peuvent correspondre, alors qu'un seul d'entre eux correspond à la situation décrite. Multidimensionnel d'autre part, car les informations intégrées sont de différente nature (spatialité, temporalité, causalité, personnage, intentionnalité...).

Par ailleurs, les images constituent un outil – non indispensable, mais pratique – pour la compréhension des énoncés (oraux ou écrits). En effet, les images réunissent des détails en un grand et unique ensemble (Sablayrolles & Sevault, 2012), soulageant ainsi le traitement du langage (Mellet, Petit, Mazoyer, Denis, & Tzourio, 1999, cités dans Dérudet, 2012).

Enfin, les images apportent également un soutien au raisonnement et aident à la résolution de problèmes comme la déduction logique ou l'inclusion de classes (Trocme-Fabre, 1994). L'imagerie permet ainsi d'anticiper les situations et de trouver des solutions grâce au stock de représentations.

4 Développement

4.1 Dès la naissance

Pour Lameyre (1993), il existe des représentations mentales dès la naissance. Elles sont d'abord de nature sensorielle, puis de nature perceptive vers 6 mois, de nature conceptuelle entre 2 et 10 ans pour enfin être de nature formelle après 10 ans. Les images mentales sont donc présentes dès la vie extra utérine, avec un réseau qui se construit progressivement grâce aux expériences vécues. Chez l'enfant, il existe de grandes variations dans les habiletés d'imagerie puisque celles-ci sont liées à l'âge. Fishburne (1990) souligne l'existence d'une période critique durant l'enfance au cours de laquelle sont établies les bases de l'imagerie. Les enfants sont ainsi capables d'évoquer des images et de les utiliser.

4.2 Pendant l'enfance

Piaget & Inhelder (1966, cités dans Bonnal & Hillaire, 2014) ont longtemps étudié le développement de l'image mentale en fonction du développement cognitif de l'enfant. Ils suggèrent donc que les capacités d'imagerie apparaissent vers 2 ans, sous une forme essentiellement statique (la représentation du mouvement n'étant pas possible). Ce n'est que vers 8 ans que les images deviennent mobiles. Entre 2 et 8 ans, l'imagerie joue un rôle central dans les activités cognitives de l'enfant (Lameyre, 1993). A cet âge-là, les images sont reproductive (elles ont déjà été vues antérieurement). Puis, de 8 à 12 ans, ces images deviennent anticipatrices (la perception n'est plus nécessaire en amont). L'enfant est alors capable d'anticiper la trajectoire d'un objet qui va tomber.

5 Vivre sans image

Des études très récentes de Zeman et al. (2010 ; 2015) viennent enrichir la littérature scientifique et révèlent que certaines personnes sont incapables de faire apparaître volontairement des images mentales. Ce phénomène, baptisé l'aphantasie par les auteurs (ou afantasie, l'orthographe française ne semble pas encore arrêtée), désigne une imagerie volontaire réduite ou absente. Ce syndrome a été découvert par le neurologue Zeman et al. (2010), avec le cas d'un homme de 65 ans. Ce patient a subitement perdu ses compétences d'imagerie mentale suite à son accident vasculaire cérébral. Par la suite, plusieurs personnes se sont reconnues dans ce trouble et ont contacté les chercheurs, qui ont pu mener une étude plus large, confirmant ainsi leurs premières observations (Zeman et al., 2015). L'aphantasie semble être un phénomène neurologique d'origine congénitale ou acquise (à la suite d'un accident vasculaire cérébral par exemple).

Pour ces personnes aphantasiées (nous les appellerons ainsi tout au long du mémoire du fait de l'absence de consensus sur le terme à utiliser), il est en fait difficile de répondre à des questions telle que « *qui d'un lapin ou d'un éléphant est le plus gros* ». Cependant pour les auteurs, elles y parviennent en faisant appel à des représentations non-visuelles, notamment grâce à une logique et un raisonnement surdéveloppés pour compenser ce déficit d'imagerie.

II Imagerie motrice

1. Définition

L'imagerie motrice se subdivise en imagieries implicite et explicite. La première intervient inconsciemment et relève plutôt du réflexe. C'est le cas lorsque nous souhaitons éviter la trajectoire d'un ballon, la conscience n'a pas le temps d'intervenir. La seconde, quant à elle, se réalise de façon volontaire. C'est le cas lorsque nous nous imaginons cueillir une tomate rouge par exemple. C'est donc un processus actif, qui consiste en une répétition d'un geste,

sans aucun mouvement réel (Decety & Grèzes, 1999, cités dans Gabbard, 2009). Cette action est reproduite au sein de la mémoire de travail (Malouin & Richards, 2010). Selon Jeannerod (1994), l'imagerie motrice est une activité mentale basée sur des structures permettant de prédire et d'anticiper la conséquence d'une action (comme c'est le cas lorsque nous nous apprêtons à soulever une bouteille vide ou pleine, nous adaptons la force de notre mouvement).

Cette modalité d'imagerie est un prérequis à la planification motrice (Steenbergen, Van Nimwegen, & Crajé, 2007). Elle respecte les mêmes contraintes biomécaniques que pour les gestes réellement effectués (Decety, Jeannerod, & Prablanc, 1989, cités dans Guilbert, Jouen, Lehalle, & Molina, 2013 ; Stevens, 2005). Les motricités imagée et réelle respectent ainsi la loi de Fitts (qui décrit la relation entre la vitesse et la précision d'un mouvement), puisqu'elles présentent un fonctionnement similaire (Stevens, 2005). Decety & Jeannerod (1996, cités dans Frak, Paulignan, & Jeannerod, 2001) ont notamment montré que simuler mentalement une action prend le même temps que l'exécuter.

Il existe deux manières de s'imaginer un mouvement (Grangeon, 2009 ; Malouin & Richards, 2010). L'imagerie interne se réalise à la première personne, comme si nous étions réellement les acteurs du mouvement. Elle implique une représentation visuelle et des sensations kinesthésiques. Quant à l'imagerie externe, elle correspond à la troisième personne, comme si nous observions quelqu'un faire le mouvement. Cela implique également une représentation visuelle, mais pas de sensations kinesthésiques.

2. Action exécutée versus action simulée

Les actions exécutée et imaginée partagent une activation neuronale commune (Decety, 1996, cité dans Aubry, 2015 ; Grangeon, 2009), qui inclut :

- ✓ Le cortex préfrontal (pour les fonctions exécutives)
- ✓ Le cortex pré moteur et l'aire motrice supplémentaire (pour la coordination, la planification et l'organisation du mouvement)
- ✓ Le cortex moteur primaire (pour la commande, l'exécution du mouvement et la création des images motrices) (Lotze & Halsband, 2006)
- ✓ Les lobes pariétaux supérieur et inférieur (pour la perception de l'espace et l'attention)
- ✓ Le cortex sensorimoteur (pour la réception des messages sensoriels)
- ✓ Le cervelet (pour la coordination, la synchronisation et la précision des gestes et de l'imagerie motrice)
- ✓ Les noyaux gris centraux (pour le contrôle de la motricité et du mouvement volontaire)

Finalement, c'est l'intensité de ces activations qui est différente lors d'une simulation ou d'une exécution réelle (Moreau, Mansy-Dannay, Clerc & Guerrien, 2012, cités dans Aubry, 2015). Normalement dans l'imagerie motrice, ces structures sont inhibées juste avant l'exécution du mouvement (Jeannerod, 1994). Or, selon la théorie psychoneuromusculaire, toute simulation mentale provoque des microcontractions assez fortes pour générer un

retour proprioceptif (Jacobson, 1931, cité dans Grangeon, 2009). Nous sollicitons donc les mêmes circuits nerveux lorsque nous simulons et effectuons réellement le geste. Une activité musculaire est en effet enregistrée simultanément à l'image mentale alors qu'il n'y a aucune activité physique observable. L'origine de cette activité musculaire reste difficile à identifier. Toutefois, Jeannerod (1994) et Lotze et al. (1999, cités dans Lebon, 2008) expliquent ce phénomène en évoquant une inhibition incomplète de la commande motrice. La simulation comme l'exécution se retrouvent donc impliquées dans la réalisation et dans la préparation du mouvement (Frak et al., 2001).

3. Utilité des images motrices

Comme nous venons de le voir, la simulation du mouvement est étroitement liée à l'exécution motrice. Plus précisément, l'imagerie interne facilite l'acquisition de compétences motrices (Mulder, Hochstenbach, Van Heuvelen, & Den Otter, 2007). Une grande facilité d'imagerie motrice favorise donc l'apprentissage de mouvements, alors qu'un déficit de cette habileté a des conséquences sur le contrôle moteur (Noten, Wilson, Ruddock, & Steenbergen, 2014). Les parties du cerveau qui traitent le mouvement, la mémoire et l'apprentissage sont confondues selon Middleton & Strick (1994, cités dans Jensen, 2005). Ce constat peut s'illustrer par l'exemple du code de carte bleue. Si les chiffres ne nous reviennent pas spontanément, c'est l'ébauche gestuelle qui en facilite le rappel.

Selon Flanagan, Vetter, Johansson, & Wolpert (2003), nous apprenons à prédire nos mouvements avant de les exécuter, dans le but de mieux les contrôler. Ainsi, toutes les activités motrices sont précédées de rapides processus qui fixent les objectifs, prédisent le résultat, et exécutent le mouvement.

L'imagerie motrice se révèle donc très utile pour étudier le système moteur et ses troubles. Pour Jeannerod (1994), toute action exécutée s'accompagne d'une action simulée. Cela permet d'anticiper les conséquences du mouvement. En effet, l'image amène à préparer mentalement une action, à guider et orienter vers de nouveaux objectifs (Lameyre, 1993).

4. Développement des images motrices

Comme nous l'avons évoqué, les bases des capacités d'imagerie mentale sont établies pendant l'enfance (Piaget & Inhelder, 1966, cités dans Bonnal & Hillaire, 2014 ; Fishburne, 1990 ; Lameyre, 1993). L'imagerie motrice n'échappe pas à la règle : c'est en effet un processus évolutif dont le développement se fait jusqu'à l'adolescence (Guilbert et al., 2013). Funk, Brugger, & Wilkening (2005) remarquent que la capacité d'imagerie est fortement dépendante de l'activité motrice réelle de l'enfant. Cette relation augmente après 8 ans et se renforce avec l'âge (Caeyenberghs, Tsoupaas, Wilson & Smits-Engelsman, 2009, cités dans Gabbard, 2009). Le développement des capacités imageantes est étroitement lié au développement moteur, comme a pu le souligner Zabalia (2002). Il est donc admis que les activités motrices d'un enfant jouent un rôle décisif dans le développement de la pensée imagée.

Il existe trois étapes dans le développement de l'imagerie motrice (Guilbert et al., 2013) :

- ✓ L'émergence se fait vers 5 ans, lorsque l'enfant devient capable d'utiliser la vision à la première personne (Kosslyn, Margolis, Barrett, Goldknopf, & Daly, 1990 ; Molina, Tijus, & Jouen, 2008). Toutefois, cette aptitude reste fragile car l'enfant est encore dépendant de ses activités sensorimotrices. L'émergence n'a lieu que s'il se retrouve contraint de simuler les conséquences de ses propres actions. Sans ces contraintes, la simulation d'action n'est pas accessible. L'enfant développe alors une habileté à créer et utiliser l'imagerie motrice pour se représenter le mouvement (Kosslyn, 1980). Avant 5 ans, l'enfant s'engage dans la tâche d'un point de vue moteur. Sans modèle interne du mouvement, les capacités d'utilisation de l'imagerie motrice sont donc limitées.
- ✓ Vers 10 ans, l'enfant est capable d'intégrer les contraintes externes dans ses simulations, qui respectent alors la loi de Fitts. L'enfant se détache des informations perceptives en utilisant la simulation interne. Cela l'amène à adopter un contrôle prédictif. Avant, il se fiait aux informations sensorielles (surtout visuelles) pour vérifier pendant la réalisation que le geste corresponde au désir d'action. Désormais, il utilise les informations proprioceptives et kinesthésiques pour anticiper et contrôler la réalisation de ses actions motrices (Smits-Engelsman & Duysens, 2008, cités dans Guilbert et al., 2013).
- ✓ Le début de la maturation des cortex pariétal et préfrontal s'observe vers 12 ans selon Choudhury, Charman, Bird, & Blakemore (2007). Ce processus se répercute sur le développement de l'imagerie motrice, capacité désormais bien établie mais qui continue de s'améliorer. Il existe donc selon cet auteur un lien entre le développement du cortex pariétal et l'action imagée puisque c'est cette structure cérébrale qui génère le modèle interne associé à une image mentale.

Le développement des sens entraîne celui de l'imagerie mentale (Piaget & Inhelder, 1978). En partant de ce constat, il serait possible d'aider au développement et à la mise en place de l'imagerie mentale, et ce, dès le plus jeune âge. Il ne s'agit pas de proposer à l'enfant un environnement surstimulé (il n'y a pas de preuves quant à cet effet), mais d'offrir un environnement adapté. Il est connu qu'un manque de stimulation provoque des effets néfastes sur le développement. Inviter l'enfant à se mouvoir, à tenir et manipuler des objets lui permet d'appréhender au mieux son corps et son environnement. Comme expliqué par Zabalia (2002), l'action motrice favorise le développement de l'imagerie motrice.

5. Trouble praxique

Il existe de multiples termes pour qualifier le trouble praxique. L'American Psychiatric Association (2000, cité dans Vaivre-Douret et al., 2011) recommande celui de Developmental Coordination Disorders. Nous utiliserons son équivalent français, le Trouble d'Acquisition de la Coordination (TAC), afin d'être en accord avec notre pratique clinique. Il s'agit d'un trouble développemental de la coordination motrice fine et globale, du contrôle et de la coordination des activités motrices volontaires. Il se caractérise par des difficultés dans l'acquisition et la performance motrice (Vaire-Douret, 2014). On estime qu'environ 6% des enfants entre 5 et 11 ans sont concernés (Zwicker, Missluna, Harris, & Boyd, 2012). D'étiologie inconnue, le TAC est lié à la maturation du système nerveux central, c'est donc une difficulté spécifique à l'apprentissage.

Plus précisément, il s'agit d'un désordre développemental du geste qui entraîne des déficits dans la précision et des productions des séquences gestuelles. Ainsi, on observe des difficultés dans l'apprentissage moteur (Dewey, 1995, cité dans Guilbert et al., 2013). Les enfants atteints de TAC présentent donc une diminution des habiletés motrices (Adams, Lust, Wilson, & Steenbergen, 2014). Le trouble moteur chez ces enfants varie en sévérité et dans sa nature (Vivre-Douret, 2014).

Pour Wolpert (1997), une hypothèse émerge pour expliquer ces difficultés praxiques : le Déficit de Modélisation Interne. Selon la théorie de la simulation (Jeannerod, 2001), une action se divise en deux temps : anticipation puis exécution. Un modèle interne de mouvement est d'abord construit afin d'apporter un feedback gestuel (dans le cas de l'imagerie motrice), entraînant ainsi la possibilité d'un contrôle prédictif de l'action (Grush, 2004, cité dans Adams et al., 2014). Ce modèle interne offre alors une stabilité au système moteur, en prédisant les conséquences sensorielles du mouvement (Wolpert, 1997). Ce processus est retrouvé dans l'épreuve de la bouteille de ketchup (Wolpert & Flanagan, 2001). Puisque le Déficit de Modélisation Interne est lié à l'anticipation de fin d'action, il entraîne des difficultés à prédire un mouvement. Ces deux éléments sollicitent d'ailleurs les mêmes structures neuronales : les aires primaire et supplémentaire, le cortex cérébelleux et pariétal (Stephan et al., 1995, cités dans Noten et al., 2014).

Nous venons de voir que la modélisation interne permet de prédire les conséquences d'une action. Or, nous avons besoin de l'imagerie motrice pour effectuer cette modélisation (Lewis, Vance, Maruff, Wilson, & Cairney, 2008). Les enfants TAC ont des difficultés avec ce type d'imagerie (Maruff, Wilson, Trebilcock, & Currie, 1999, cités dans Gabbard, 2009) et selon Williams, Thomas, Maruff, & Wilson (2008), ce déficit serait lié au degré d'atteinte TAC. Ce trouble praxique est donc induit par une difficulté à utiliser les images mentales pour contrôler la motricité. Même s'ils sont plus lents et font plus d'erreurs, il a été montré que ces enfants sont capables d'utiliser des stratégies d'imageries (Lewis et al., 2008).

Finalement, l'hypothèse d'un Déficit de Modélisation Interne suggère d'une part une incapacité à utiliser avec précision les modèles internes pour contrôler et prédire le mouvement (Wilson, Ruddock, Smits-Engelsman, Polatajko, & Blank, 2013), et suppose d'autre part des difficultés pour générer et maintenir le modèle interne puisque sa mise à jour en cours d'action n'est pas efficiente (Lewis et al., 2008 ; Williams et al., 2008).

III Aspect langagier

1 Traitement linguistique

Il est admis que le traitement d'un discours ou d'un récit provoque l'élaboration de « modèles de situation » qui permettent d'intégrer des informations nouvelles (Zwaan & Radvansky, 1998, cités dans Barsalou, 1999). Les études en neurosciences montrent que les structures cérébrales spécifiques aux différentes modalités sont recrutées au cours du traitement langagier. Nous observons ainsi l'activation des structures motrices au cours d'un traitement de phrase faisant référence à des actions motrices (Aravena et al., 2012, 2014 ; Pulvermüller et al., 2005).

Au cours des dix dernières années, des études ont montré que dans certaines conditions linguistiques, le traitement du langage engage des structures cérébrales qui sont impliquées dans les processus perceptuels et moteurs (Pulvermüller et al., 2005). Il est donc aujourd’hui bien établi que le langage peut activer le cortex moteur (200 ms après l’apparition du mot). Ainsi, une phrase comme « *John signe le contrat* » active des régions impliquées dans les étapes de préparation et d’exécution d’une action manuelle (Aravena et al., 2014). En effet, l’action de signer est présente dans le modèle mental induit par la phrase. En revanche, une phrase comme « *John ne signe pas le contrat* » ou « *John veut signer le contrat* » n’engage pas ces structures puisque, dans le modèle mental associé à cette phrase, l’action n’est pas effectuée. Finalement, le langage induit bien une activité motrice et sensitive afin de représenter l’action ou l’évènement dit verbalement.

2 Gestion des inférences

Les inférences sont essentielles à la compréhension de texte. Ce sont des propositions qui ne sont pas évoquées explicitement, que le sujet doit déduire d’un énoncé lu ou entendu (Kerbrat-Orecchioni, 1986, cité dans Marichy, 2008). Christel & Lefèvre (2008) rappellent que les inférences ont un rôle pragmatique dans la communication. En effet, les règles conversationnelles de Grice permettent une économie des détails, soulageant ainsi le traitement cognitif. Le discours (oral ou écrit) ne peut pas tout expliciter, une partie est donc laissée à l’interprétation du sujet.

Faire des inférences implique donc une interprétation personnelle. Grâce aux connaissances stockées en mémoire à long terme, l’individu élabore une information nouvelle (Campion & Rossi, 1999). C’est donc avoir recours à des acquis qui ne sont pas explicitement évoqués, qu’il faut retrouver dans sa mémoire ou élaborer par déduction. Par exemple, en imaginant la situation « *Mathilde prit son parapluie et sortit de chez elle* », nous générerons des inférences et supposons que le temps est mauvais.

Les inférences permettent donc de comprendre l’implicite, puisqu’elles apportent des informations complémentaires et combinent les éléments manquants. Elles assurent ainsi la cohérence du « modèle de situation », qui est une forme particulière des modèles mentaux. En effet, selon Fayol (2004), les inférences apportent une continuité de construction grâce à de petits morceaux de raisonnement. Sans inférence, nous n’avons que des « îlots de signification », mais pas d’intégration globale.

Finalement, pour comprendre un texte (oral ou écrit), l’individu doit générer des inférences afin d’arriver à un modèle de situation comportant plus d’informations que les données explicites du texte en question. Sans cette reconstruction sémantique, nous ne pouvons pas vraiment parler de compréhension.

Christel & Lefèvre (2008) et Gilbert & Poulot (2015) ont répertoriés plusieurs compétences nécessaires pour accéder à l’implicite :

- ✓ un bon niveau de vocabulaire et de connaissances sur le monde stockées en mémoire sémantique (Binder & Desai, 2011).

-
- ✓ un bon raisonnement logique pour la mise en relation des énoncés. En effet, le modèle de situation s'ajuste grâce au processus d'intégration au fur et à mesure des énoncés.
 - ✓ de bonnes compétences mnésiques : la mémoire à long terme pour la construction et la récupération, la mémoire de travail pour l'élaboration des inférences.

La génération d'inférences émerge entre 3 et 6 ans (Maillart & Schelstraete, 2012, cités dans Gilbert & Poulot, 2015). Cette capacité s'améliore avec l'âge, pour s'automatiser et devenir spontanée vers 10 ans, avec l'augmentation de la vitesse de traitement des informations et de la mémoire de travail (Trabasso, 1980, cité par Chalamel & Gonnet, 2008). La compréhension orale et écrite dépend donc des habiletés inférentielles et des connaissances générales (celles-ci dépendant de l'âge et variant selon les individus).

3 Compréhension

3.1 Définition

Comprendre, c'est accéder à la signification d'un message, en comparant mentalement une nouvelle information à celles déjà existantes. Cela consiste donc à mettre en lien le contenu du discours et les connaissances du monde stockées en mémoire (Lenfant et al., 2006). Pour élaborer un tel modèle, il faut générer des inférences, intégrer les différentes idées et incorporer des connaissances générales. Dès 5 ans, l'enfant est capable de créer un modèle de situation grâce aux indices de l'énoncé.

La compréhension d'un discours ou d'un texte est une activité dynamique qui vise à construire une modèle de situation intégré et cohérent, qui reflète ce qui est écrit ou relaté (Fayol, 2003). Pour cela, il est nécessaire de transformer des phrases et des textes en images mentales (Charmeux, 1985, cité dans Chalamel & Gonnet, 2008). La compréhension du langage implique donc l'imagerie mentale (Barsalou, 1999) notamment l'activation des modalités visuelle et motrice (Van Elk, Van Schie, Zwaan, & Bekkering, 2010).

3.2 Fonctionnement

3.2.1 *Processus de compréhension*

Selon le modèle de construction-intégration de Kintsch (1988, cité dans Christel & Lefèvre, 2008), ce processus se fait en deux temps :

- ✓ Une phase de construction (c'est l'activation), au cours de laquelle les concepts et la signification des mots de l'énoncé sont activés en mémoire de travail et en mémoire à long terme. Il s'agit d'un traitement partiel du modèle.
- ✓ Une phase d'intégration (c'est l'assemblage), qui regroupe les éléments précédents afin d'établir un ensemble de signification plus général et d'obtenir un modèle de situation cohérent. Il s'agit ici d'un traitement complet du modèle.

Nous avons donc un système d'activations et d'assemblages successifs des éléments de signification, constituant ainsi un cycle de traitement (Kintsch & Van Duk, 1978, cités dans Lenfant et al., 2006). Finalement, le sens complet s'établit fragment par fragment, grâce à l'interaction mémoire à long terme et mémoire de travail (Ehrlich, Seigneuric & Gyselinck, 2001, cités dans Lenfant et al., 2006).

3.2.2 Construction d'un énoncé

Selon ce modèle (Kintsch & Van Duk, 1978, cités dans Lenfant et al., 2006), un énoncé oral ou écrit est toujours constitué :

- ✓ d'un niveau de surface (d'origine perceptive). C'est la reconnaissance des mots oraux ou écrits ;
- ✓ d'un niveau sémantique (contenu et sens du message), constituant ce qu'on appelle « la base de texte ». Ce traitement se fait à partir d'une source externe (information du message) et d'une source interne (connaissances stockées en mémoire à long terme) ;
- ✓ d'un niveau pragmatique (intégré au modèle en 1983). C'est ce niveau qui génère le modèle de situation. Nous nous engageons alors dans des inférences, prenons en compte les informations liées au contexte afin d'enrichir ce modèle et de nous assurer de sa cohérence (Broisin & Varrey-Fusco, 2012). C'est un niveau qui se détache du texte, dans lequel nous confrontons la base de texte à nos propres connaissances et expériences (Chalamel & Gonnet, 2008).

Ces deux modèles explicatifs mettent en avant l'intérêt de produire des inférences et d'engager des procédures cognitives pour arriver au sens.

4 Gestion mentale

Selon plusieurs études, imagerie mentale et langage entretiennent d'étroites relations. En effet, les aires du langage sont très actives lorsque celui-ci est l'unique source d'informations. En revanche, ces structures cérébrales sont « allégées » par l'utilisation simultanée de l'imagerie mentale visuelle et du langage (Mellet, Petit, Mazoyer, Denis, & Tzourio, 1999, cités dans Dérudet, 2012). Ainsi, selon une étude menée par Guarnera, Commodari, & Peluso (2013), il existe une forte relation entre trouble du langage (la compréhension, la mémoire et la lecture) et habiletés à se représenter mentalement une action. De ce fait, les stratégies et interventions pour les troubles du langage utilisent souvent des techniques qui requièrent une manipulation d'images mentales. Ces procédés se basent généralement sur la gestion mentale, concept décrit par La Garanderie (1982, 1987). Cinq gestes mentaux (c'est-à-dire des actions évoquées de manière consciente) définissent cette approche :

- ✓ l'attention : c'est la capacité qui rend possible le geste de mémorisation.
- ✓ la mémorisation : c'est l'action d'insérer une information dans un espace mental avec l'objectif d'en tirer profit plus tard. L'efficacité de ce geste dépend entre

autres de la qualité de la mise en projet, de l'évocation, de l'attention et des représentations du monde. L'information doit ensuite suivre régulièrement un processus de réactivation. Le système mnésique est plastique : plus nous mémorisons, mieux nous retenons. C'est un geste décisif car il conditionne compréhension, réflexion et créativité, qui demandent d'aller chercher nos connaissances en mémoire.

- ✓ la compréhension : c'est un processus mental qui consiste à comparer une information nouvellement évoquée à une autre stockée en mémoire. Nous avons donc deux sortes d'espaces mentaux, dédiés aux éléments nouveaux et aux plus anciens. Ces deux espaces communiquent par le biais de relations logiques, telles que l'inclusion, l'exclusion ou la hiérarchisation. La compréhension dépend de la qualité des gestes précédents.

Des difficultés de compréhension peuvent apparaître suite à un défaut d'attention et/ou d'évocation, si le stock de connaissances générales sur le monde est faible, si le lexique est pauvre, si la mémoire de travail est peu efficiente ou si la grammaire n'est pas maîtrisée (celle-ci met le vocabulaire en relation afin de produire du sens). De plus, la neuropédagogie évoque un défaut au sein des connexions neuronales. Il faudrait donc laisser du temps aux synapses pour reformer les connexions manquantes, afin que le geste de compréhension se réalise (aller faire autre chose et reprendre les apprentissages plus tard).

- ✓ la réflexion : ce geste consiste à exposer une information nouvelle aux règles et lois mémorisées (écrire sous dictée par exemple).
- ✓ la créativité : elle consiste à révéler ce qui n'existe pas, et apporte une solution à une situation problématique. C'est donc un processus indispensable pour les apprentissages et pour faire face aux situations imprévues.

Il existe deux processus sous-jacents à ces cinq gestes mentaux : l'évocation et la mise en projet.

L'évocation est un processus qui consiste à faire exister mentalement des informations sur le monde environnant. Elle sert de base au geste d'attention, et permet ainsi la réussite des quatre autres gestes. Par ailleurs, il existe trois modes d'évocation (ou langage pédagogique) : visuelle, auditive/verbale et tactile/kinesthésique. Nous génerons au quotidien ces trois langages. En effet, nous ne sommes ni visuel, ni auditif, ni kinesthésique. Nous avons seulement plus ou moins investi un type de langage plutôt qu'un autre. Cette évocation préférentielle n'empêche pas l'apprentissage des autres langages, permis par la plasticité cérébrale et le remaniement des connexions synaptiques.

L'évocation doit toutefois être différenciée de la perception. Cette dernière est un processus nécessaire mais non suffisant pour faire exister des images mentales, et se situe en amont de l'évocation. La perception est simplement l'action de discriminer un stimulus par le biais des organes sensoriels. Selon Piaget & Inhelder (1978), le développement des sens entraîne celui des images mentales. Ce sont donc deux notions associées mais distinctes l'une de l'autre : suite à la perception, l'évocation peut avoir lieu.

Le projet mental rend la réalisation d'une action possible. Il suffit par exemple de se mettre en projet d'attention pour effectivement être attentif. Il en va de même pour l'évocation. Si le projet est inexistant, des difficultés peuvent apparaître au sein des gestes mentaux. Pour comprendre un texte, il faut d'abord l'évoquer, c'est-à-dire le faire exister mentalement pour dépasser le simple niveau perceptif, pour accéder au sens.

Chapitre II

PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

I Contexte et problématique

L'expérience quotidienne suggère que la majorité des personnes utilisent l'imagerie mentale (dans différentes modalités) pour le traitement du langage (Barsalou, 1999). Ce dernier a en effet besoin de l'imagerie pour compléter rapidement des informations manquantes. On se sert donc de cette habileté de façon inconsciente pour accéder à la compréhension. Ainsi, une phrase comme « il marche comme un crabe » n'a pas besoin de descriptions verbales supplémentaires pour être comprise.

Compte tenu de ces éléments, nous nous sommes demandé s'il existait un lien entre l'imagerie motrice et les compétences langagières. Nous avons donc cherché à décrire la relation qu'entretiendrait cette faculté d'imagerie avec la compréhension du langage. Ainsi, **nous avons voulu savoir si l'imagerie motrice pouvait constituer un processus intervenant lors de la compréhension.**

II Hypothèse théorique

Chez les enfants de 11 à 15 ans, de faibles habiletés d'imagerie motrices devraient impacter négativement les capacités de compréhension de mots, quelle que soit leur valeur d'imagerie, et indirectement, porter préjudice à la compréhension de phrases orales et écrites.

III Hypothèses opérationnelles

H1 : Nous nous attendons à ce que le **score d'imagerie motrice** (mesuré en temps de réponse au protocole « Frak ») soit corrélé positivement avec la **sensibilité des mots** (mesurée en nombre de bonnes réponses). Cette sensibilité serait d'autant plus grande que l'**effet de concrétude** augmente.

H2 : Nous nous attendons à ce que le **score d'imagerie motrice** (mesuré en temps de réponse au protocole « Frak ») soit corrélé positivement avec le **score d'indication** (mesuré en nombre d'indices au protocole « Enigmes »).

H3 : Nous nous attendons à ce que la **variabilité des estimations** (mesurées en distance au protocole « Linkenauer ») soit corrélée positivement avec la **sensibilité des mots** (mesurée en nombre de bonnes réponses). Cette sensibilité serait d'autant plus grande que l'**effet de concrétude** augmente.

H4 : Nous nous attendons à ce que la **variabilité des estimations** (mesurées en distance au protocole « Linkenauer ») soit corrélée positivement avec le **score d'indication** (mesuré en nombre d'indices au protocole « Enigmes »).

Chapitre III

PARTIE EXPERIMENTATION

I Population

1 Critères de recrutement

1.1 Critères d'inclusion

Les participants de notre échantillon devaient respecter les éléments suivants : être âgés de 11 à 15 ans ; être scolarisés au collège ; être de langue maternelle française. Nos tâches s'adaptant à leur latéralité, les enfants pouvaient être droitiers ou gauchers.

Selon Zabalia (2002), vers 10 ans, l'enfant acquiert une pensée spatiale flexible et une modélisation du mouvement qui peut se détacher du réel. De plus, les capacités d'imagerie motrice subissent des modifications importantes à cet âge-là (Caeyenberghs, Tsoupan, Wilson & Smits-Engelsman, 2009, cités dans Gabbard, 2009). Enfin, la tranche d'âge sélectionnée nous permet de respecter l'étalonnage des tests pour nos mesures préalables.

1.2 Critères de non inclusion

Les participants de notre échantillon devaient également ne pas présenter de dysphasie, de trouble logicomathématique, de trouble neurologique, de trouble sensoriel (sauf si vue corrigée), de trouble de l'attention, ni de déficit intellectuel.

D'une manière générale, selon Gilbert & Poulot (2015), une bonne compréhension orale nécessite une bonne réception (en vocabulaire et en morphosyntaxe), de bonnes fonctions exécutives (mémoire de travail, attention, inhibition...), une bonne logique et un bon raisonnement, ainsi que de bonnes capacités pragmatiques (compréhension contextuelle et non verbale, gestion de l'implicite).

Si des difficultés de compréhension sont présentes à la base (comme c'est souvent le cas lors d'une dysphasie), nous ne pourrons pas établir de lien entre l'imagerie motrice et la compréhension et ainsi répondre à notre hypothèse. En effet, les difficultés de compréhension qui seraient observées pourraient tout aussi bien être mises en relation avec un défaut d'imagerie motrice qu'avec la dysphasie.

Par ailleurs, le trouble logique peut être à la base des difficultés orales de compréhension des consignes et de textes. Il existe des corrélations entre les niveaux de logique et de langage oral (Veronneau, 2013). Eskenazi (2012) a notamment montré que certains adolescents se retrouvent en difficulté dans l'utilisation du langage, en raison de structures logiques non stables. Ainsi, nous avons dû exclure ce critère. Nous avons donc décidé de ne pas inclure les enfants suivis ou ayant été suivis en orthophonie pour une dyscalculie ou trouble logicomathématique.

La dyslexie n'impacte pas notre démarche expérimentale, puisque aucun temps de réponse n'était enregistré sur les tâches qui sollicitaient de la lecture. Lors de celles-ci, l'expérimentateur pouvait tout à fait lire pour le participant afin de réduire le coût cognitif engendré par la lecture.

1.3 Critères d'exclusion

Au cours de notre expérimentation, suite au recrutement de notre population selon nos critères d'inclusion et de non inclusion, nous avons dû exclure les participants qui présentaient des difficultés en mémoire, en compréhension orale ainsi que dans la gestion des inférences.

Ces trois critères ont été contrôlés avec la première étape de notre protocole : les mesures préalables. En cas de difficultés trop importantes, c'est-à-dire lorsque les scores sont inférieurs au seuil pathologique de - 2 écarts-types (ET), les participants ont été exclus de l'expérimentation.

2 Procédure d'échantillonnage

2.1 Mesures préalables

Nous avons évalué la mémoire auditive, exploré la compréhension orale, et examiné le traitement des inférences. En effet, comme montré dans la littérature, ces capacités étaient susceptibles d'influencer nos variables dépendantes par la suite. Le but était donc de les contrôler au maximum dès le début, en excluant les participants présentant des résultats trop éloignés de la moyenne. Pour cela, nous avons fait passer EXAlang©, une batterie orthophonique informatique créée par Lenfant, Thibault, & Helloin (2009). Nous avons sélectionné les épreuves d'attention et mémoire (réception de chiffres), de traitement des inférences (décoder l'implicite d'un court texte), et de compréhension langagière orale (consignes, débat et récit).

L'expérimentateur et le participant étaient assis côte à côte, dans une pièce calme et bien éclairée. La présentation des épreuves du logiciel avant de débuter la passation permettait à l'enfant de savoir dans quoi il s'engageait (retenir des chiffres, écouter une histoire...). Cela diminuait ainsi un éventuel effet anxieux. Les consignes pour chaque épreuve étaient affichées par le logiciel, et un exemple était donné. L'expérimentateur pouvait, sur demande de l'enfant, compléter les explications. De plus, l'ordinateur n'était présenté au participant que lorsque que la situation l'exigeait. Le cas échéant, l'expérimentateur dissimulait l'écran ou le clavier afin de valider ou non les réponses du participant, évitant ainsi une frustration face à d'éventuels échecs consécutifs.

Toutes les réponses étaient directement analysées par EXAlang©, puisque les écarts-types et les centiles de chaque épreuve étaient calculés automatiquement. Le recueil des données était donc informatique. Toutefois, l'expérimentateur notait les résultats sur le cahier de passation, afin de conserver une version papier. Nous avons veillé à contrebalancer l'ordre des épreuves selon les règles d'un carré latin. Les tâches de mémoire étant très sensibles au biais de fatigue (Lenfant et al., 2009), elles étaient toujours présentées en premier, afin d'éviter au maximum cet effet.

2.2 Caractéristiques de l'échantillon

Comme nous l'avons vu, les enfants atteints d'un TAC (Trouble d'Acquisition de la Coordination) sont susceptibles de présenter des difficultés en imagerie motrice (Maruff, Wilson, Trebilcock, and Currie, 1999, cités dans Gabbard, 2009), mais il existe souvent d'autres troubles associés, comme l'attention, une dysphasie ou un trouble logicomathématique (Vaivre-Douret, 2014 ; Vaivre-Douret et al., 2011). Cette comorbidité biaiserait l'analyse de nos résultats. Par ailleurs, les capacités d'imagerie mentale étant variables selon les individus (Pacherie, 2003), il existe des imageries motrices plus ou moins efficientes dans la population générale. Ainsi, pour notre étude exploratoire, nous avons souhaité valider notre hypothèse auprès d'enfants tout-venant.

Notre population a pu être recrutée par le biais de trois collèges de Lyon et de Bron. Nous sommes passée au sein de ces structures afin de présenter le projet aux élèves. Cette intervention a été rendue dynamique, et les élèves ont été réceptifs. Un prospectus leur a été distribué (cf. Annexe I), permettant aux parents de nous contacter. Huit enfants se sont ainsi portés volontaires. Par ailleurs, l'institut des Sciences Cognitives reçoit régulièrement des participants pour diverses études. Parmi eux, 13 enfants ont accepté de se déplacer pour la notre. Par ailleurs, l'association 123 Dys, qui accueille des familles touchées par un trouble praxique, a permis le recrutement de 4 participants. Enfin, 10 enfants ont été reçus par le biais de connaissances et de fratries.

Parmi ces 35 participants, cinq ont dû être exclus car ils présentaient des scores trop éloignés lors des mesures préalables. Chez ces enfants, nous avons pu noter une mémoire et/ou une compréhension orale faibles, qui auraient impacté l'analyse de nos résultats par la suite. Ces scores pourraient s'expliquer par divers facteurs, notamment la fatigue ressentie au moment de la passation ou un trouble de l'attention inattendu. Au final, notre groupe était constitué de 30 participants (15 filles et 15 garçons) âgés de 12 ans 9 mois en moyenne (cf. Tableau 6 en Annexe I). Le caractère exploratoire de notre étude et l'expérience de la recherche nous ont amenée à considérer qu'une population de 30 volontaires était suffisante pour faire émerger les premiers résultats. Ce groupe inclut 6.7% de gauchers, et 93.3% des participants font du sport en club au moins une fois par semaine.

3 Aspects réglementaires, éthiques et financiers

Notre protocole a fait l'objet d'une autorisation du Comité de Protection des Personnes de Lyon. Lors de la rencontre avec les familles, nous avons expliqué le projet, répondu à leurs questions et signé les documents nécessaires (autorisation, consentement, convention d'expérimentation). Les principaux acteurs du projet de recherche sont restés disponibles pour rencontrer les familles si elles en faisaient la demande, et chaque participant était libre de se retirer du protocole s'il le souhaitait. Toutes les données recueillies ont été rendues anonymes. Suite à ces expérimentations, une synthèse de l'étude a été envoyée aux familles afin d'expliquer les résultats obtenus. Les achats du matériel pour le protocole ont été assurés par l'Institut des Sciences Cognitives Marc Jeannerod, ainsi que l'indemnisation des frais de déplacement et les cadeaux de remerciement pour les participants.

II Matériel et procédure

Cette étude vise à mettre en lien les capacités d'imagerie motrice et la compréhension du langage. Nous avons supposé que l'imagerie motrice constitue un processus intervenant lors de la compréhension. Nous avons donc cherché à décrire cette relation. Il existe de nombreux procédés pour tester l'imagerie motrice. Pour notre étude, nous avons choisi de proposer à un groupe de participants, deux tâches d'imagerie motrice issues d'articles de la littérature (Frak et al., 2001 ; Linkenauger, Lerner, Ramenzoni, & Proffitt, 2012), ainsi que deux épreuves de compréhension (Asare-Agbo et al., 2015 ; Maeder, 2013) élaborées pour les besoins de notre expérimentation.

Dans un premier temps, notre protocole a été testé par le biais d'une étude pilote, auprès d'un unique participant. Ce pré-test nous a permis de vérifier la pertinence du matériel créé ainsi que l'optimisation des conditions de passation (durée, consignes, récupération des mesures...). La création personnalisée des supports nous a permis de les adapter à nos participants (dimensions du matériel...).

Nous allons détailler les grands axes de notre expérimentation : partie Imagerie Motrice et partie Compréhension du Langage. Les trois étapes de l'expérimentation (incluant les mesures préalables) étaient réparties en deux rendez-vous. Le premier se déroulait au domicile de la famille et durait généralement 45 minutes. Le second avait lieu à l'Institut des Sciences Cognitives à Bron, et durait 1h30. L'ordre de passation a été contrebalancé au sein des épreuves d'imagerie et de compréhension.

Il était précisé à chaque participant qu'il n'y avait pas d'enjeu de performance. Le but était de dédramatiser la situation s'il se retrouvait face à une question à laquelle il ne savait pas répondre. De plus, l'enfant était prévenu que l'expérimentateur prenait des notes en parallèle des logiciels informatiques. Toutes les consignes données aux participants sont répertoriées en Annexe II.

1 Partie Imagerie Motrice

1.1 Protocole « Linkenauger »

L'article de Linkenauger et al. (2012) visait à tester les capacités d'intégration perceptivomotrice, qui consistent à assimiler ses propres facultés physiques avec son environnement. Pour parvenir à cet objectif, les auteurs ont proposé trois tâches (accès, prise et ouverture), durant lesquelles les participants doivent engager l'imagerie motrice pour réaliser des estimations de distances. Nous avons repris la trame de ce protocole afin de répondre à nos hypothèses.

Nous avons contrebalancé les trois tâches selon les règles d'un carré latin. Pour chacune, le participant ne devait pas réaliser le geste demandé. En fin de tâche seulement, nous demandions au participant d'effectuer réellement la tâche, afin d'obtenir les mesures réelles. Aucune mesure ni chiffre n'était prononcé à haute voix pendant l'expérimentation, afin de ne pas fausser les représentations du participant.

Tout au long de l'expérimentation, le participant s'appuie sur une mentonnière fixée à un tasseau sur une table grâce à des serre-joints. Ce dispositif permet à tous les participants de garder la même position pour chacune des tâches. La table d'expérimentation est neutre, disposée dans le sens de la longueur par rapport au participant, et sans aucun repère possible. Seul un repère tracé sur le tasseau (non visible pour le participant) permet à l'expérimentateur de déplacer le cylindre et d'effectuer des mesures correctes. Le participant est installé sur une chaise, menton et front contre la mentonnière. Sa main dominante est disposée sur la mentonnière, tandis que l'autre reste sous la table (cf. Figures 2 et 3).



Figure 2 : Matériel d'expérimentation

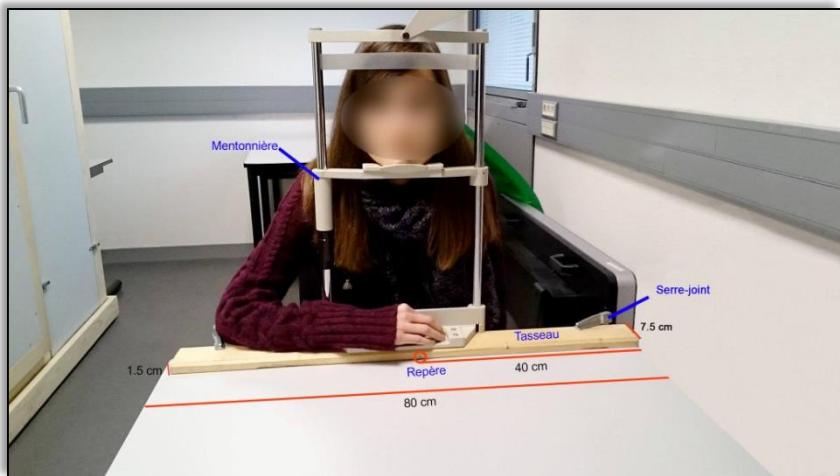


Figure 3 : Posture du participant

1.1.1 Tâche d'accessibilité

Un petit cylindre (4,5 cm de diamètre ; 2,5 cm de hauteur ; 36 g) est déplacé devant le participant (cf. Figure 4). Nous évaluons les distances grâce à un mètre mesureur.

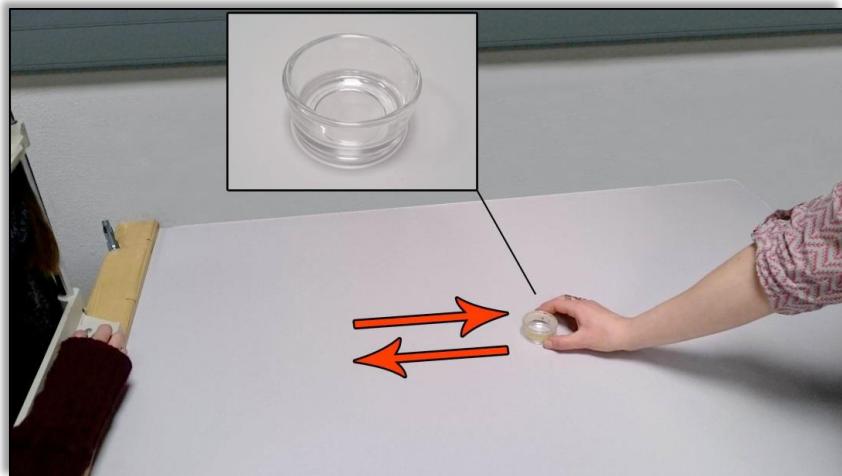


Figure 4 : Tâche d'accessibilité

Le cylindre était déplacé en ligne droite face au participant, en direction du repère tracé sur le tasseau. Les déplacements se faisaient en avant et en arrière par rapport à l'enfant. Celui-ci devait indiquer le moment où le cylindre atteignait la distance maximale qu'il lui était possible d'atteindre pour soulever l'objet. L'enfant fermait ensuite les yeux et nous mesurions la distance entre l'extrémité du cylindre (à partir du bord le plus proche du participant) et le repère du tasseau. Le déplacement du cylindre suivait cette ligne imaginaire afin de ne pas faire varier les mesures entre chaque essai. L'objet était tenu de telle manière que la main de l'expérimentateur ne se situait pas entre le participant et l'objet. Nous avions donc deux situations (avant et arrière), que nous répétions cinq fois chacune de manières aléatoires. Les mesures étaient arrondies à 0.5 cm près. Suite à ces dix essais, nous mesurions la distance réelle que le participant pouvait atteindre. Pour cela, il lui était demandé de venir déposer le cylindre le plus loin possible en réalisant le geste comme il se l'était imaginé durant l'expérience et en respectant les contraintes environnementales (mentonnière).

1.1.2 Tâche de prise

Nous utilisons un bloc de PVC scindé en deux parties coulissant l'une dans l'autre (cf. Figure 5). Ceci nous permet d'agrandir ou de rétrécir le bloc (12 à 23 cm de long ; 3 cm de large). La taille arrêtée par le participant est évaluée à l'aide du mètre.

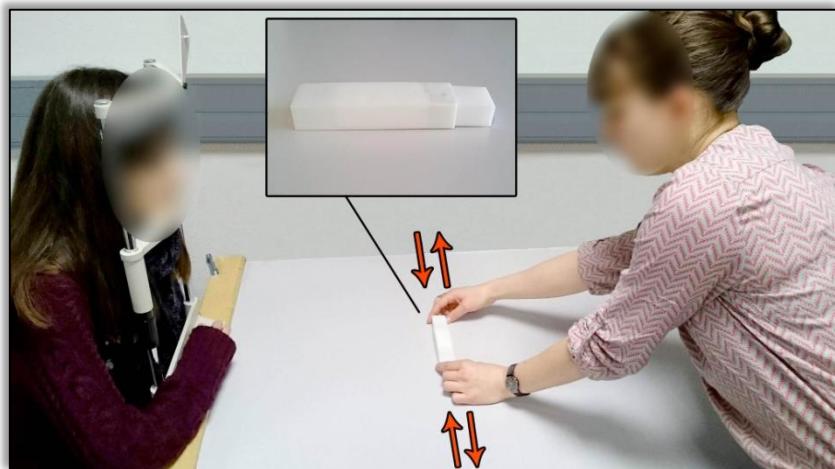


Figure 5 : Tâche de prise

Le bloc était disposé sur la table de manière à ce que l'enfant puisse l'atteindre. A chaque agrandissement et rétrécissement du bloc, le participant devait indiquer le moment où le bloc atteignait la taille maximale qu'il pensait pouvoir soulever entre son pouce et son majeur. Cinq mesures étaient répétées pour chaque mouvement de bloc (agrandissement et rétrécissement). Toutes les réponses étaient mesurées à l'aide d'un mètre, tout en veillant à être hors du champ de vision du participant afin de ne pas influencer ses représentations. Nous mesurions ensuite la distance réelle et maximale que le participant pouvait effectivement atteindre pour soulever le bloc.

1.1.3 **Tâche d'ouverture**

Pour la tâche d'ouverture, un cadre en bois (33,5 cm de large ; 25,5 cm de hauteur) fabriqué sur mesure permet de proposer deux fentes glissant verticalement l'une sur l'autre. Ce système fait ainsi apparaître un espace de taille variable (de 0 à 16 cm de largeur). Du papier millimétré ajusté au dos du cadre permet d'évaluer la taille de cette ouverture ainsi créée (cf. Figure 6).

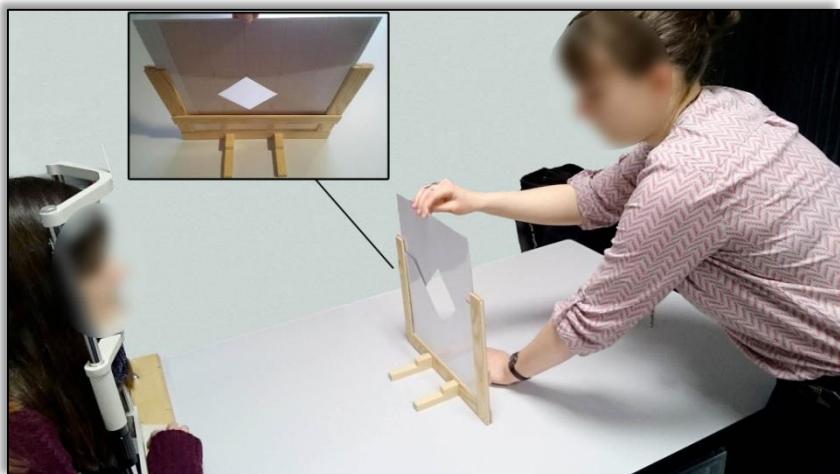


Figure 6 : Tâche d'ouverture

De la même façon, le cadre était présenté de manière à ce que l'enfant puisse l'atteindre. Lorsque l'expérimentateur montait la fente (ouverture) ou la descendait (fermeture), le participant devait indiquer le moment où l'espace créé atteignait la taille la plus petite dans laquelle il pouvait passer la main en frôlant les bords (les extrémités les plus saillantes de la main étant prises en compte).

Les mesures se faisaient main à plat (pouce à côté de l'index et non sous la paume ou écarté), puis main debout sur la tranche. Nous avions ainsi quatre situations (ouverture à plat ; ouverture debout ; fermeture à plat ; fermeture debout), que nous mesurions trois fois chacune. Nous obtenions donc douze mesures. Enfin, nous mesurions la taille réelle et minimale de l'espace dans lequel le participant pouvait effectivement passer sa main.

1.2 Protocole « Frak »

L'étude de Frak et al. (2001) avait pour finalité de mettre en relation la simulation mentale d'une tâche motrice et son exécution réelle. Cette simulation est un mécanisme mental, impliqué dans la programmation motrice. Aujourd'hui, il est admis qu'une tâche motrice simulée mentalement implique et respecte certaines contraintes biomécaniques réelles (Parsons, 1994, cité dans Frak et al., 2001). A travers ses travaux, l'équipe de Frak confirme les études précédentes (Jeannerod, 1995) sur le fait que la simulation mentale d'une action nécessite les mêmes caractéristiques que sa réalisation motrice en temps réel (temporelles, visuelles, biomécaniques, de calcul...). En se basant sur leurs résultats, nous avons repris une partie de leur protocole afin de répondre à nos objectifs.

1.2.1 Tâche d'entraînement

Pour la tâche d'entraînement (cf. Figure 7), deux cylindres creux sont utilisés, un grand (7 cm de hauteur ; 5 cm de diamètre ; 49 g) et un petit (4,5 cm de diamètre ; 2,5 cm de hauteur ; 36 g). Ce dernier est rempli d'eau grâce à une seringue.

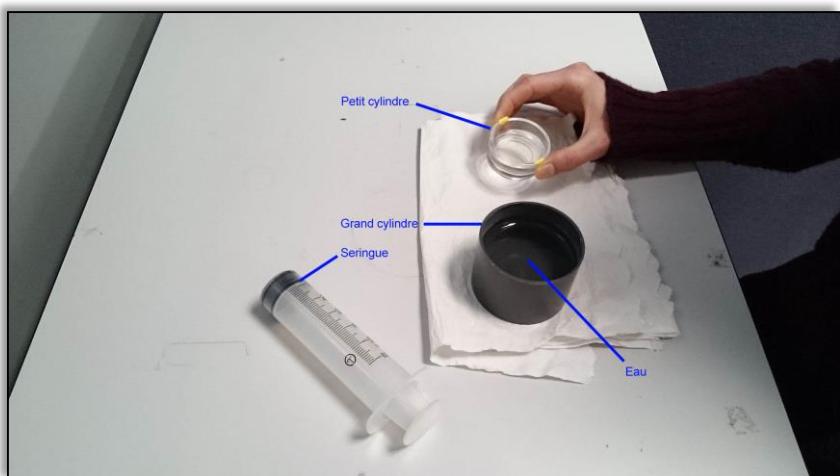


Figure 7 : Tâche d'entraînement

Le grand cylindre était présenté sur la gauche du participant, le petit à sa droite (nous faisions l'inverse pour les gauchers). La manipulation était présentée une fois : il devait saisir le petit cylindre d'eau avec sa main droite (prise par le bas), entre le pouce et l'index, le verser (sans renverser d'eau) dans le grand cylindre, puis le replacer à sa position d'origine. Le sujet s'entraînait ainsi quatre fois pour se familiariser avec le geste.

1.2.2 Tâche principale

Pour la tâche principale, un ordinateur est placé devant l'enfant, écran à plat (cf. Figure 8). Soixante images de cercles (10 par axe de prise) lui sont présentées sur cet écran (cf. Figure 9). Chaque cercle est de la même dimension que le petit cylindre et possède deux marques blanches, qui indiquent l'endroit où l'enfant doit effectuer la prise manuelle. La position des deux marques varie, proposant ainsi différents axes de prise.

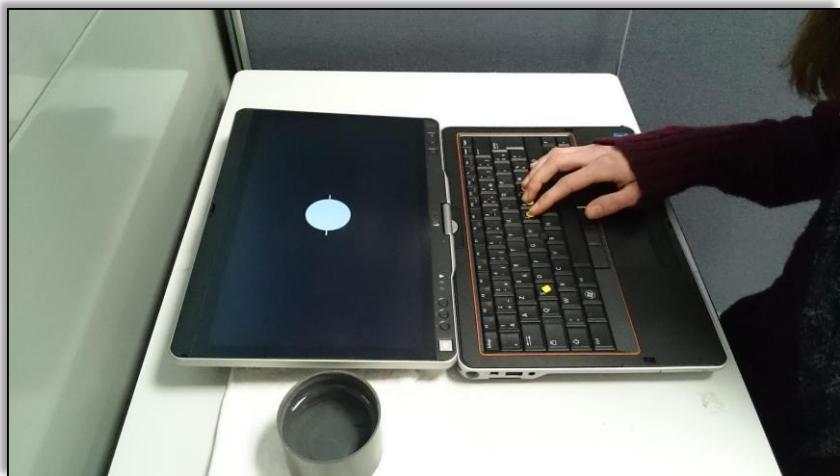


Figure 8 : Tâche principale

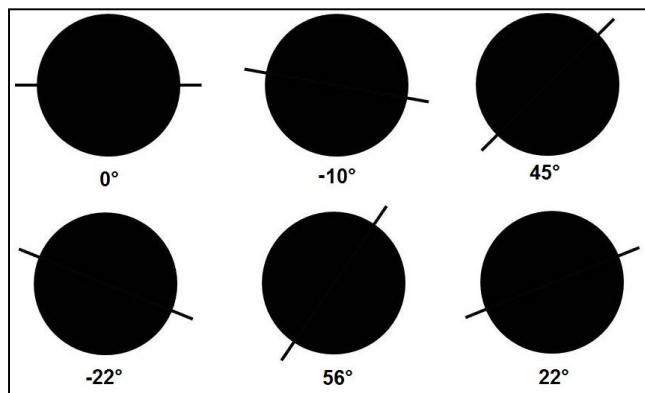


Figure 9 : Degrés des axes de prise manuelle

Les cercles apparaissaient un à un. Pour chacun, le participant s'imaginait faire le geste sur lequel il s'était entraîné, et jugeait si la prise était facile, difficile ou impossible (en appuyant sur les lettres F, D et I du clavier). Dix mesures étaient répétées pour chacun des six axes. Le recueil des données se faisait par logiciel informatique.

2 Partie Compréhension du Langage

2.1 Protocole « Définitions »

Ce protocole est une épreuve de définitions de mots, initialement conçue pour l'étude d'Asare-Agbo et al. (2015). Son hypothèse stipulait que, pour donner du sens aux stimuli verbaux, le langage utilise des structures cérébrales également impliquées dans l'imagerie mentale (perceptive et motrice). En conséquence, les mots de haute valeur d'imagerie profitent de ces structures, contrairement aux mots de basse valeur d'imagerie. Les résultats ont montré qu'il existe des mécanismes distincts pour le traitement des mots de forte ou de faible imagerie. Ce mécanisme pour les mots de forte imagerie implique les mêmes structures que pour le traitement de l'imagerie perceptive et motrice.

Dans notre matériel, la définition se trouve en début de phrase et le mot cible en fin d'énoncé. Cela permet de laisser le participant se créer des images mentales au fur et à mesure que la définition est écouteée.

Les mots cibles sont sélectionnés à partir de la base de données Lexique 3.80, qui nous permet de contrôler les paramètres linguistiques suivants : les mots sont tous des noms communs, constitués de deux syllabes, avec une fréquence d'occurrence dans la langue entre 1 et 90. Une seconde base de données, Fréq Sub & Imagerie 3600, nous apporte le taux d'imagerie pour les mots sélectionnés précédemment. Nous ne conservons que ceux ayant une valeur d'imagerie inférieure à 3 (mots de basse imagerie) et supérieure à 6,5 (mots de haute imagerie). Les définitions sont ensuite établies par le biais du Larousse, puis retravaillées de manière à les rendre fluides à l'oral (cf. Annexe III).

Au total, les 240 définitions créées sont réparties en deux paires de listes. Ce sont les mêmes mots pour chaque paire, proposés en deux versions : « *une allure non précipitée et tranquille constitue la lenteur* » (version correcte) versus « *une allure précipitée constitue la lenteur* » (version incorrecte). Ces quatre listes nous permettent de varier les présentations aux enfants : listes 1-2 ; listes 3-4 ; listes 2-1 ; listes 4-3 ; listes 1-2 ; listes 3-4 ; etc.

Chaque participant entend ainsi deux listes de 60 définitions chacune, dans lesquelles aucun mot n'est entendu deux fois. Au sein de chaque liste, nous retrouvons des définitions de mots de forte et faible imagerie. Certaines sont correctes, d'autres incorrectes, comme l'illustre le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Constitution des définitions

60 définitions de mots	30 mots de haute imagerie	15 définitions correctes
		15 définitions incorrectes
	30 mots de basse imagerie	15 définitions correctes
		15 définitions incorrectes

L'expérimentateur proposait oralement des définitions simples, et notait les choix du participant qui devait répondre « correct » ou « incorrect ». L'expérimentateur énonçait les deux listes de définitions, avec une pause entre les deux. Cette pause permettait de réaliser le protocole « Enigmes ». La répétition de chaque définition n'était pas possible puisque cela biaisait la création mentale. En effet, à la seconde écoute, le participant savait déjà de quoi il était question, et il lui suffisait de comparer la définition avec une présentation en mémoire déjà activée. Tous les participants avaient de bonnes capacités mnésiques d'après nos mesures préalables, et l'absence de répétition ne leur posait donc pas de difficulté particulière.

2.2 Protocole « Enigmes »

Enfin, pour notre seconde et dernière tâche de compréhension, les énigmes sont élaborées à partir de Réflexion Lecture[®], un support orthophonique utilisé pour travailler la compréhension écrite (Maeder, 2013).

Il s'agit de deviner 10 lieux et 10 personnages réels à partir d'indices (cf. Annexe IV). Chaque indice représente un morceau de phrase, et contient au moins un élément permettant d'évoquer une image mentale. La résolution des énigmes fait donc appel à l'imagerie et le participant évolue dans sa réflexion au fur et à mesure que les indices apparaissent. Chaque énigme possède entre quatre et huit indices. Les mots-clés trop évocateurs sont détournés : « *elle tape dans un objet rond* » est préféré à « *elle tape dans une balle* ». Un programme informatique permet de faire apparaître les indices un par un à la demande du participant et d'enregistrer ses réponses. L'enfant est en autogestion grâce au clavier. La présentation des énigmes est contrebalancée (selon les règles d'un carré latin) pour limiter le potentiel variable parasite (fatigue, influence des items entre eux). Si le participant 1 commence par les lieux, c'est l'inverse pour le participant 2. De plus, les dix énigmes de chaque catégorie sont présentées aléatoirement.

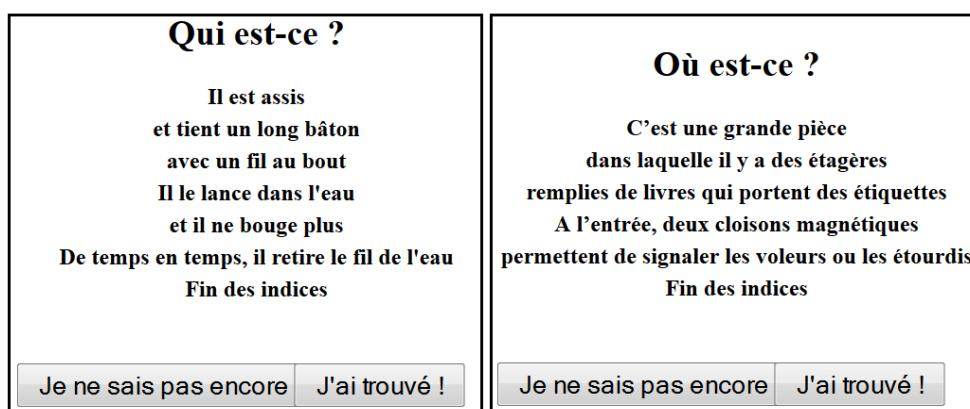


Figure 10 : Exemples d'énigmes proposées

Grâce au programme informatique, le participant faisait apparaître les indices un par un. Si le premier indice ne lui suffisait pas pour trouver l'énigme, il pouvait faire apparaître le suivant. Quand il avait trouvé, il cliquait sur « j'ai trouvé » et notait sa réponse au clavier. L'orthographe n'était pas un élément pénalisant dans ce protocole. Il s'agissait de trouver la réponse le plus rapidement possible avec un minimum d'indices. Même si les données étaient recueillies directement dans le programme, l'expérimentateur notait en parallèle les réponses et le nombre d'indices.

Par ailleurs, la bonne réponse était acceptée si l'enfant décrivait oralement la solution à laquelle il pensait. En effet, dans ce cadre-là, nous étions face à un manque du mot et non à problème de stock sémantique. Les indices lui ont effectivement permis d'accéder à l'étiquette verbale (et donc à la représentation sémantique, qui est activée), mais la boucle phonologique de sortie n'a pas fonctionné.

3 Variables mesurées

Tableau 2 : Trois types de variables au sein de notre étude

PROTOCOLES		VARIABLES DEPENDANTES		PARAMETRES REVISES (pour les corrélations)	VARIABLES INDEPENDANTES	
LINKENAUGER	ACCES	VD 1	VD 2	Variation des estimations	VI 1	
	PRISE				VI 2	
	OUVERTURE				VI 3	
FRAK		VD 3		Score d'imagerie normalisé	VI 4	VI 5
DEFINITIONS	MOTS FORTE IMAGERIE	VD 4		Sensibilité	VI 7	
	MOTS FAIBLE IMAGERIE					
ENIGMES		VD 5	VD 6	Score d'indication	VI 8	

VD 1 : moyennes des estimations de distances (cm)

VD 2 : mesure réelle (cm)

VD 3 : temps de réponse (msec)

VD 4 : nombre de bonnes réponses (/60)

VD 5 : nombre de résolutions (/20)

VD 6 : nombre d'indices (/128)

VI 1 : direction (2 modalités : avant ; arrière)

VI 2 : direction (2 modalités : agrandissement ; rétrécissement)

VI 3 : direction (2 modalités : ouverture ; fermeture)

VI 4 : axe de prise (6 modalités : -22° ; -10° ; 0° ; 10° ; 45° ; 56°)

VI 5 : type de réponse (3 modalités : facile ; difficile ; impossible)

VI 7 : type de définition (2 modalités : correcte ; incorrecte)

VI 8 : type d'énigmes (lieux ; personnages)

Chapitre IV

PRESENTATION DES RESULTATS

I Introduction

Notre étude cherchait à mettre en évidence le lien entre les capacités d'imagerie mentale et les capacités langagières. Nous nous sommes en effet demandé s'il existait un lien entre la capacité d'imagerie motrice et le langage. Nous avons plus précisément cherché à décrire la relation que pourrait entretenir cette faculté d'imagerie avec la compréhension du langage.

Nous avons commencé par effectuer des modifications sur nos variables dépendantes afin de les exprimer dans un format plus adéquat pour des analyses corrélationnelles. Ces paramètres ainsi révisés ont subi un test de normalité pour savoir s'ils respectaient l'évolution d'une loi normale. De même, la normalité de notre échantillon a été vérifiée, afin de savoir s'il pouvait être considéré comme représentatif de la population générale. Suite à ces premières étapes, nous avons pu effectuer des analyses corrélationnelles entre nos paramètres révisés, afin d'en étudier les relations. Enfin, nous avons réalisé un test de significativité pour les relations que nous souhaitions mettre en évidence.

II Analyses descriptives des différentes tâches

1 Caractéristiques de l'échantillon

Les données recueillies lors des mesures préalables nous ont permis d'établir les caractéristiques du tableau 7 en Annexe V pour notre groupe de participants. La batterie EXAlang[®] admet un seuil pathologique à -1,65 ET pour les tâches que nous avons pu proposer. Les individus de notre échantillon présentaient donc de bonnes aptitudes dans chacun des trois domaines testés, puisque les écarts-types obtenus se situent dans la moyenne (entre -1,65 ET et +1,65 ET).

2 Protocole « Linkenauger »

Après la manipulation de l'expérimentateur, les mesures de chaque distance (en centimètres) étaient immédiatement répertoriées dans un tableau de données. Pour les besoins de nos observations, nous en avons extrait, pour chaque tâche, divers éléments décrits dans les tableaux 8, 9 et 10 en Annexe VI. Pour chaque participant, nous avons récolté la moyenne de leurs dix estimations ainsi que la distance qu'ils étaient effectivement capables d'atteindre (appelée mesure réelle).

Nous nous sommes intéressée à la variation de ces estimations en fonction de la mesure réelle. Nous avons donc regardé la différence entre ces deux mesures, puis établi les écarts-types afin de rendre compte de la variabilité plus ou moins grande des réponses des participants. Ce procédé nous permet de définir un premier paramètre révisé : « la variation d'estimation ».

Notre échantillon étant réduit, nous nous devions d'examiner les données individuelles (cf. Figure 11). Nous pouvons voir que les participants se répartissent plus ou moins autour des mêmes valeurs d'estimation. Toutefois, quelques participants semblent éloignés du groupe et présentent une variation d'estimation plus importante (en vert sur la Figure 11). Cependant, pour chaque tâche, il ne s'agissait pas toujours des mêmes participants.

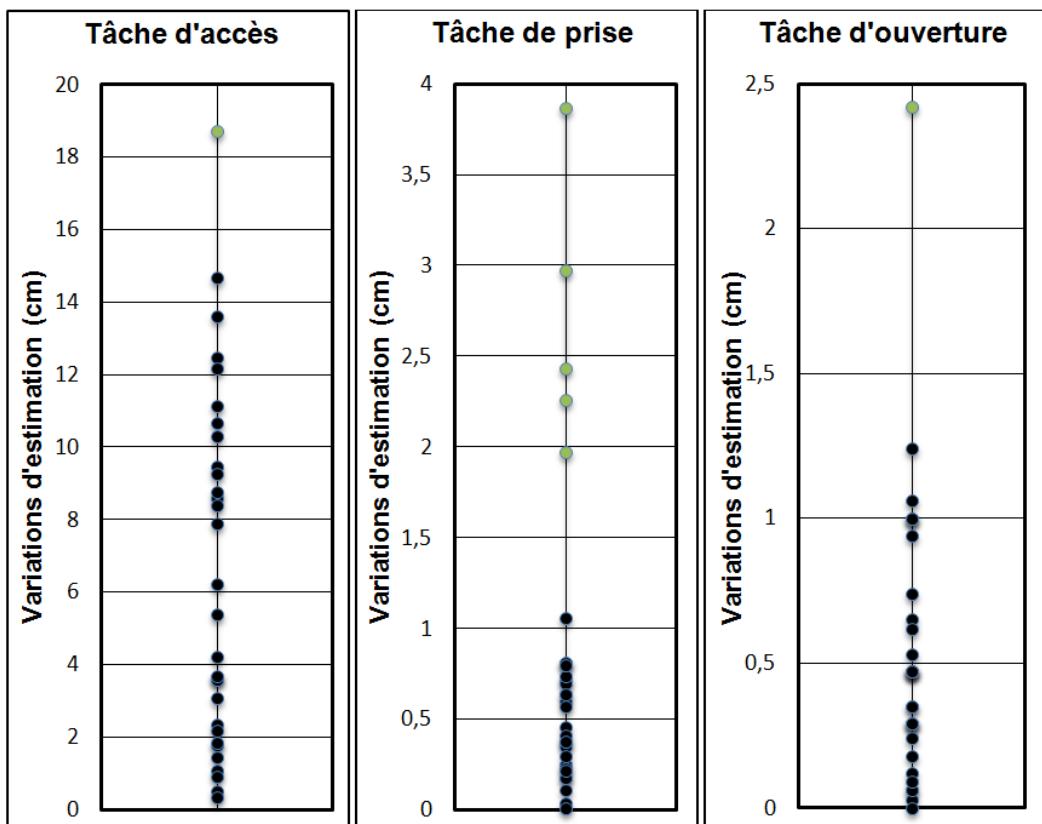


Figure 11 : Variations d'estimations des participants pour chaque tâche du protocole « Linkenauer »

3 Protocole « Frak »

Nous avons choisi de concentrer notre analyse sur les temps de réponse. L'estimation de la difficulté de la tâche (« facile », « difficile », « impossible ») ne constituait un objectif que pour l'enfant, lui donnant ainsi un but à l'activité proposée. Les temps de réponse sont donc recueillis indépendamment du type de réponse donnée par l'enfant.

Afin d'avoir un aperçu de la tendance comportementale du groupe, nous avons établi la figure 12. Nous remarquons que plus le geste demandé est contraignant (-22° et -10° pour l'axe de prise), plus le temps de réponse augmente, passant ainsi de 4242 ms pour l'axe le plus dur, à 2838 ms pour le plus facile. Un effet de l'orientation est donc observé sur le temps de réponse. Celui-ci est plus court pour les axes de 0°, 22°, 45° et 56° et plus long pour -22° et -10°.

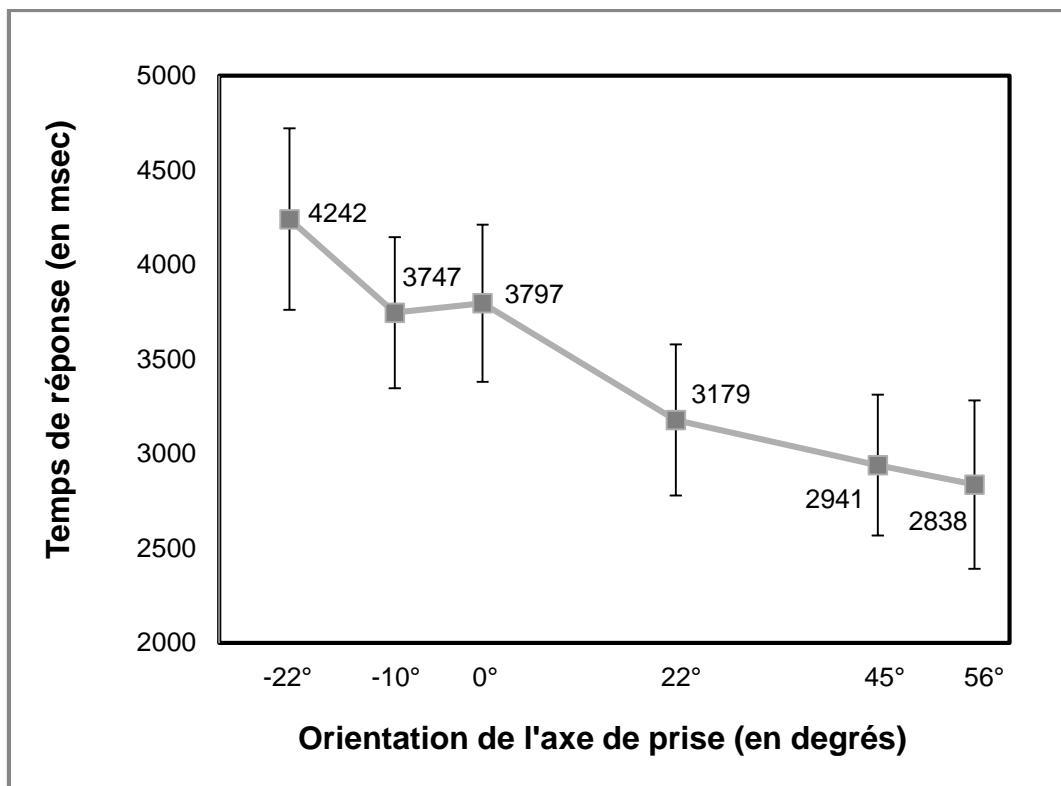


Figure 12 : Temps de réponse pour chaque axe de prise

De même, notre échantillon étant restreint, nous avons regardé les tendances comportementales individuelles. Les temps de réponse de chaque participant pour chaque degré d'axe de prise sont répertoriés dans le tableau 11 en Annexe VII.

Nous présentons ainsi en figure 13 les courbes de quelques participants. En effet, nous avons remarqué que les temps de réponse peuvent énormément varier d'un enfant à l'autre. Ainsi, l'observation de ces données individuelles révèle que tous les participants ne suivent pas la tendance du groupe, pourtant observée en figure 12.

Alors que les résultats de la plupart des participants s'inscrivent dans cette tendance (s3, s6 et s21 par exemple), nous notons que certains s'en distinguent.

C'est notamment le cas des enfants s12 et s26, chez qui nous pouvons observer une courbe en V. Ce constat va à l'encontre de la tendance générale, puisque chez eux, moins l'axe de prise est contraignant, plus le temps de réponse est long. Ce phénomène s'est produit de manière suffisamment anecdotique dans notre échantillon pour justifier l'exclusion des participants s12 et s26, qui n'ont pas été intégrés aux analyses corrélationnelles.

Par ailleurs, la courbe en V inversé de certains participants (s22 par exemple) est l'indice d'un non-respect de la consigne donnée en début de tâche. Ces enfants n'ont certainement pas effectué la prise par le bas. Leur courbe fait apparaître un temps de réponse plus court pour les axes de -22° et -10°, qui sont pourtant considérés comme plus contraignants. Ainsi, nous n'avons retenu que les axes de 0° à 56° pour la suite de nos analyses.

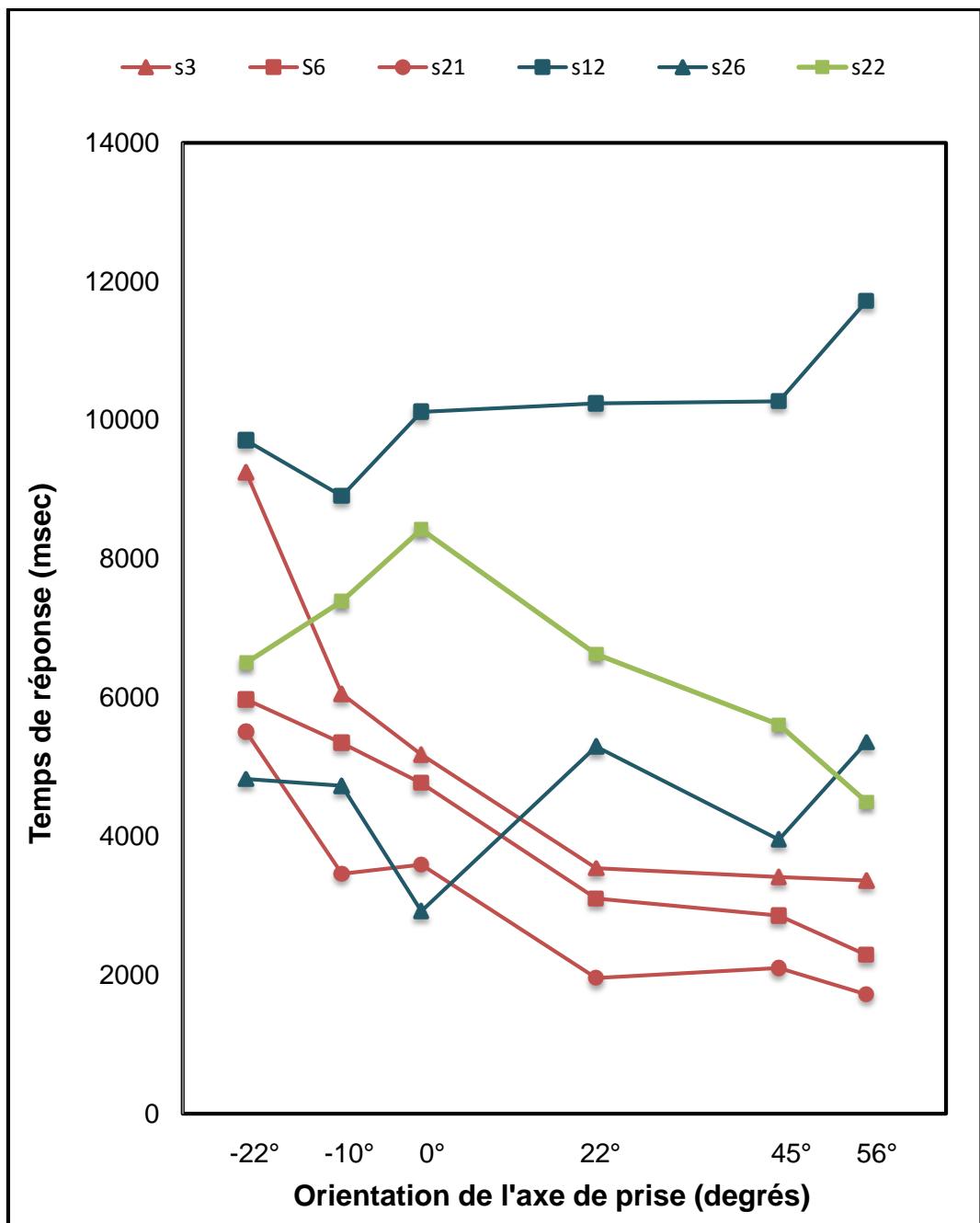


Figure 13 : Tendances comportementales individuelles

Pour pouvoir réaliser nos corrélations, nous avons souhaité établir un second paramètre révisé, le « score en imagerie motrice », en raison d'une importante variabilité entre les temps de réponse dans notre échantillon (cf. Tableau 12 en Annexe VII). Afin d'arriver à ce score pour chaque participant, nous avons isolé les valeurs minimale et maximale des temps de réponse du tableau 11 en Annexe VII (en dehors des valeurs des axes -22° et -10°), puis appliqué la formule suivante : $(\max - \min) / (\max + \min)$. C'est ce paramètre révisé, c'est-à-dire le score en imagerie motrice que nous utiliserons pour mettre en relation nos résultats. En figure 14, nous présentons la répartition du score en imagerie motrice pour tous les participants.

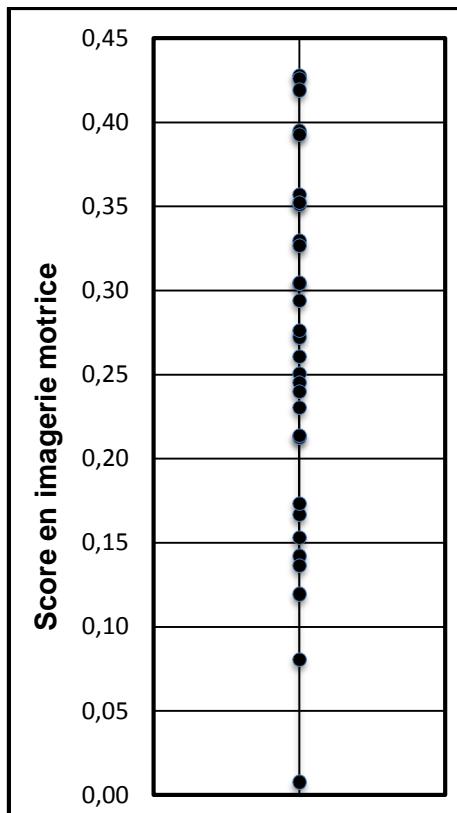


Figure 14 : Scores en imagerie motrice des participants pour le protocole « Frak »

4 Protocole « Définitions »

Le tableau 13 en Annexe VIII indique le pourcentage de réussite aux définitions de mots de forte et faible imagerie, ainsi que la proportion de bonnes réponses totales. Nous avons également calculé, pour chaque participant :

- ✓ le nombre de détections correctes (réponse « correct » si la définition proposée était effectivement correcte)
- ✓ le nombre de rejets corrects (réponse « incorrect » si la définition proposée était effectivement incorrecte)
- ✓ le nombre de fausses reconnaissances (réponse « correct » si la définition proposée était incorrecte)
- ✓ le nombre d'omissions (réponse « incorrect » si la définition proposée était correcte)

Ainsi, nous obtenons pour notre groupe de participants, la figure 15 suivante. Nous remarquons que les réponses correctes (rejets et détections) sont moins bien réussies en mots de basse imagerie qu'en mots de forte imagerie. En revanche, c'est l'inverse qui est observé pour les omissions et les fausses reconnaissances. Nous notons ainsi plus d'erreurs sur ces deux dernières catégories pour les mots de faible imagerie que pour les mots de haute imagerie. Le nombre de fausses reconnaissances reflète la probabilité qu'un choix correct soit lié au hasard.

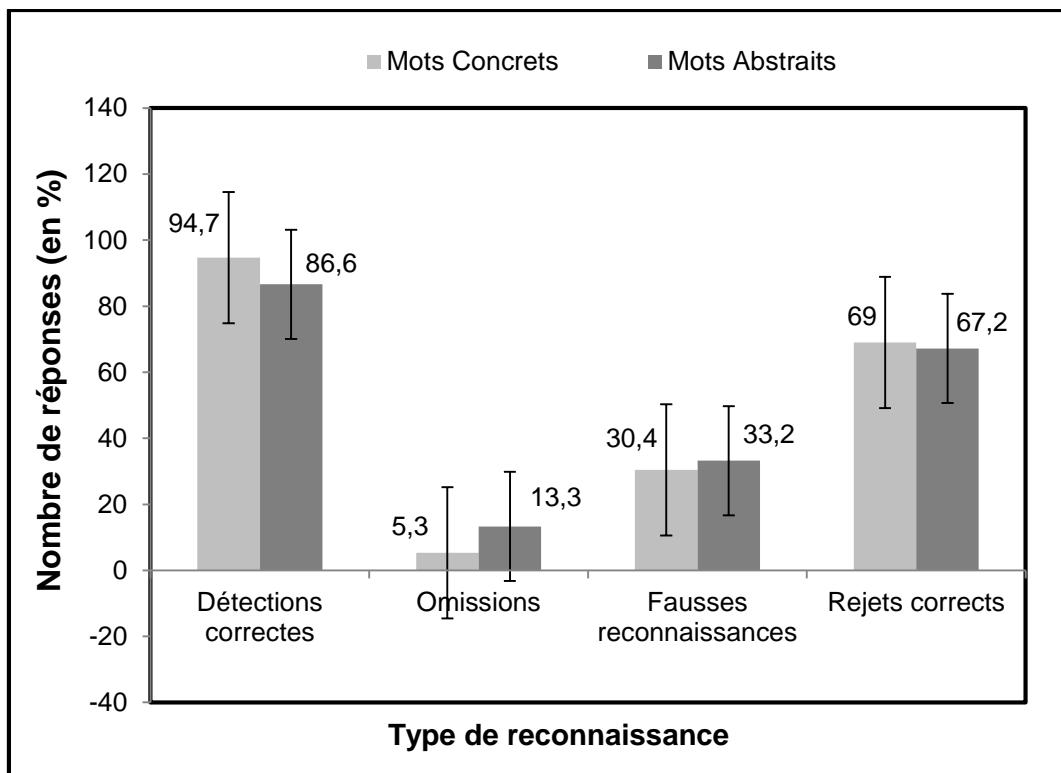


Figure 15 : Type de réponses des participants pour chaque reconnaissance

Ces éléments nous ont permis d'établir un troisième paramètre révisé : la « sensibilité » des réponses (pour les mots de forte et de basse imagerie). Celle-ci nous permet d'éliminer l'effet des réponses données au hasard de la part des participants. C'est ce paramètre que nous utiliserons pour développer nos analyses corrélationnelles.

Cette notion de sensibilité est issue de la théorie de la détection du signal de Shannon & Weaver (1949, cités dans Karypidis, 2010). C'est un modèle qui évalue les capacités de reconnaissance d'un stimulus. D'une manière générale, il décrit plusieurs indices de discrimination, qui permettent de mesurer cette capacité de reconnaissance, notamment la sensibilité (notée d' ou A' en l'absence d'une distribution normale des données).

Comme le montre la figure 16, la sensibilité se définit par la différence entre les moyennes des deux distributions (courbe des définitions incorrectes et courbe des définitions correctes). La distance qui sépare ces distributions peut être plus ou moins grande, et cette variabilité entre les deux moyennes correspond à des détections plus ou moins faciles.

Cette sensibilité peut s'illustrer en prenant l'exemple d'un signal auditif continu, sur lequel l'expérimentateur ferait varier l'intensité d'un stimulus discontinu. La sensibilité constitue un élément qui reflète les capacités de discrimination. Plus cette sensibilité est grande (l'écart entre les courbes augmente), plus il est simple de discriminer le signal discontinu à chacune de ses apparitions (cf. Figure 16). En revanche, plus la sensibilité se réduit, plus il devient difficile d'identifier ce signal alternatif, car très proche du stimulus continu.

Ainsi, si la valeur de la sensibilité (A') est élevée, soit la tâche est considérée comme aisée, soit l'enfant possède de bonnes capacités de discrimination. En revanche, si sa valeur est faible, cela signifie qu'il possède de mauvaises capacités de discrimination, ou alors que la tâche est complexe. Enfin, si la valeur est nulle, le participant a répondu au hasard.

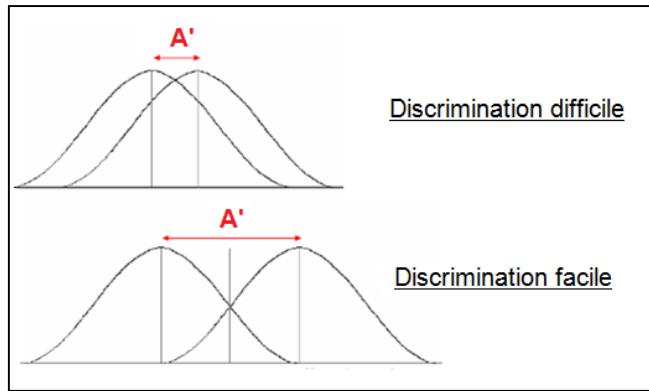


Figure 16 : Intensité de la sensibilité A' en fonction des courbes de distribution

Puisque notre tâche des définitions requiert une analyse interne (comme dans le cas de la théorie de détection du signal), nous avons pu appliquer la théorie de détection du signal pour établir notre paramètre révisé. La figure 17 présente cette méthode transposée à notre protocole « Définitions ».

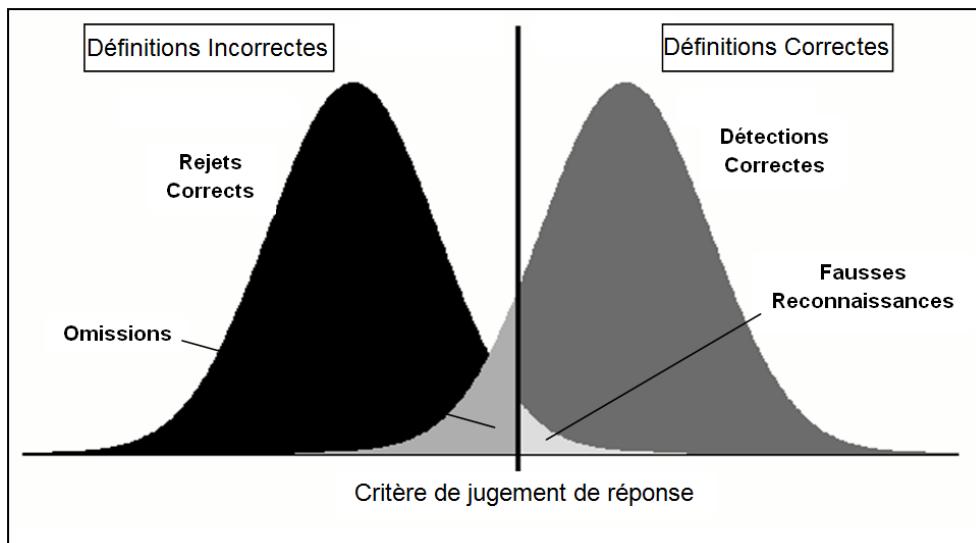


Figure 17 : Distributions des types de reconnaissances pour les définitions

Deux élèves scolarisés en 6^{ème} et en 3^{ème} ne se baseront pas sur les mêmes références pour répondre. D'une part, il existe des variables intra-individuelles, c'est-à-dire que chaque enfant possède ses propres facultés mnésiques et d'imagerie. D'autre part, ces capacités évoluent au fur et à mesure des apprentissages. Ainsi, l'élève de 3^{ème} aura eu le temps d'acquérir, entre autres, des connaissances générales plus variées. En conséquence, le critère de jugement serait modifié et varierait sur l'axe des abscisses de la figure 17. Un déplacement vers la gauche de cet axe entraînerait donc une majorité de détections et rejets corrects, ainsi qu'une minorité d'omissions et fausses reconnaissances.

C'est cette sensibilité répertoriée dans les tableaux 14 et 15 en Annexe VIII que nous avons comparée avec les paramètres révisés des protocoles « Frak » et « Linkenauger ». La figure 18 présente la répartition de la sensibilité pour le groupe de participants.

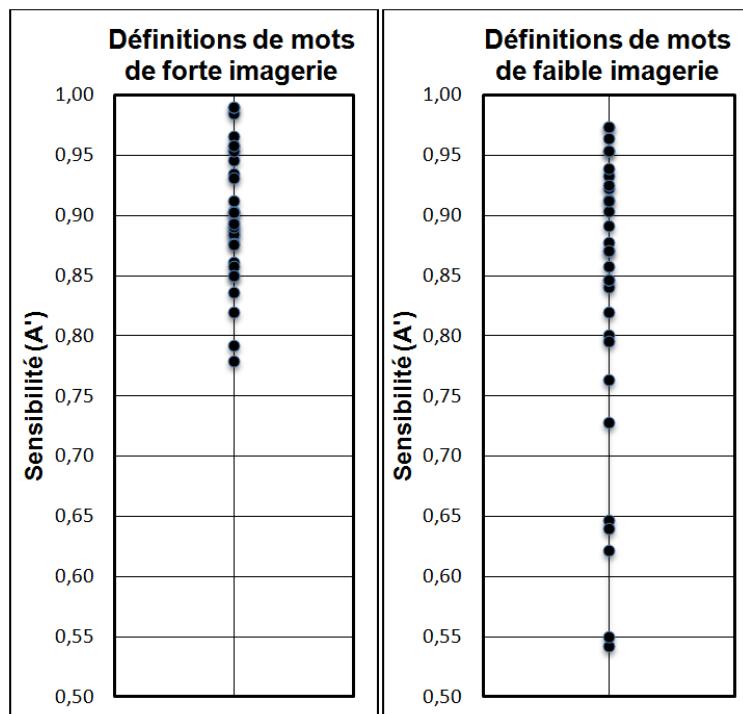


Figure 18 : Sensibilité des mots des participants pour le protocole « Frak »

5 Protocole « Enigmes »

Le taux de résolution (pourcentage de bonnes réponses) ainsi que les taux d'indication (pourcentage d'indices utilisés) sont indiqués dans le tableau 16 en Annexe IX.

Chaque énigme possède un nombre d'indices différents (cf. Tableau 3). Prenons l'exemple du participant s15. D'après nos données, il a correctement répondu à 13 items sur les 20 proposés, soit 65% de résolution. Ces 13 réponses comptabilisent en tout 81 indices disponibles. Or, cet enfant n'en a demandé que 50. Il a donc utilisés 62% des indices disponibles.

Tableau 3 : Répartition des indices par énigme

ENIGMES PERSONNAGES		ENIGMES LIEUX	
Nombre d'indices disponibles	Réponse à trouver	Nombre d'indices disponibles	Réponse à trouver
5	BOUCHER	7	BAR
6	CUISINIÈRE	5	BIBLIOTHEQUE
4	GARAGISTE	8	CIRQUE
6	JARDINIER	7	COIFFEUR
7	JOUEUSE DE TENNIS	7	ETABLE
6	PECHEUR	10	FETE FORAINE
5	PLONGEUR	8	GARE
6	POMPIER	6	PISCINE
6	SKIEUSE NAUTIQUE	6	STATION SERVICE
5	VIGNERON	8	TERRAIN DE FOOT
TOTAL : 56 indices disponibles		TOTAL : 72 indices disponibles	

Les taux de résolution et d'indication ont donc été établis de cette manière pour chaque participant. Ces pourcentages ont ensuite été normalisés, pour établir un quatrième paramètre révisé : « le score d'indication ». Pour cela, nous avons utilisé la formule suivante : (taux de résolution normalisé) x (taux d'indication normalisé). La figure 19 présente la répartition des scores d'indication pour le groupe de participants. Ce score est également indiqué dans le tableau 16 en Annexe IX.

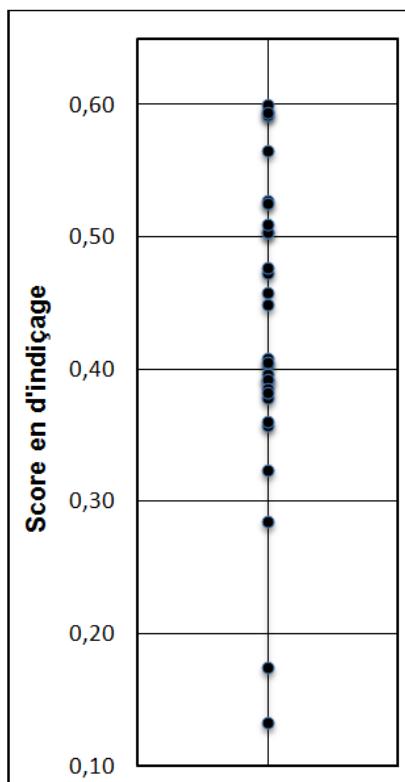


Figure 19 : Scores d'indication des participants pour le protocole « Enigmes »

III Analyses des corrélations

1 Test de normalité

Afin de vérifier la normalité de notre échantillon et de nos paramètres révisés, nous avons réalisé le test de normalité de Shapiro-Wilk (Rakotomalala, 2011), dans le but d'évaluer la conformité de notre distribution expérimentale à une loi normale. Ce test est adapté aux tailles d'échantillons inférieurs à 50 individus ($n=30$ pour notre étude) et détermine si les données suivent une loi de distribution normale. De plus, il s'agit d'un test très utilisé car puissant par rapport à d'autres tests de normalité. Nous avons fixé un risque d'erreur de 5%. Nous obtenons pour ce test de normalité, les valeurs du tableau 4.

Soit H_0 l'hypothèse nulle suivante : « *La variable dont provient l'échantillon suit une loi Normale* ». Etant donné que la p-value calculée (0,678 pour notre échantillon) est supérieure au seuil de signification ($\alpha=0,05$), nous ne pouvons rejeter H_0 . En effet, le risque de la rejeter alors qu'elle est vraie est de 75,07%.

Tableau 4 : Tests de normalité de Shapiro-Wilk

Variables	p-value du test	Interprétation du test
Age de l'échantillon	.678	non rejet de H0
Ecarts-types de la tâche d'accès	.055	non rejet de H0
Ecarts-types de la tâche de prise	< .0001**	rejet de H0
Ecarts-types de la tâche d'ouverture	.0002**	rejet de H0
Score en imagerie motrice	.574	non rejet de H0
Sensibilité des mots de forte imagerie	.594	non rejet de H0
Sensibilité des mots de basse imagerie	.0014*	rejet de H0
Score d'indication	.250	non rejet de H0

*La corrélation est significative au niveau 0.05

**La corrélation est significative au niveau 0.01

Le diagramme quantile-quantile (ou Q-Q plot) est un outil qui nous permet de comparer la distribution de l'échantillon à celle d'une distribution théorique (Rakotomalala, 2011). Si la répartition de notre échantillon suit bien la répartition théorique, les quantiles de chaque distribution devraient être égaux, formant ainsi un alignement selon la diagonale principale. Avec le test de normalité sélectionné, nous obtenons un graphique en nuage de points et nous constatons que ceux-ci sont relativement bien alignés, puisqu'aucun point ne semble se démarquer des autres. Si les points sont disposés sur la diagonale comme sur la figure 20, la distribution suit certainement une loi normale (distribution gaussienne normalisée).

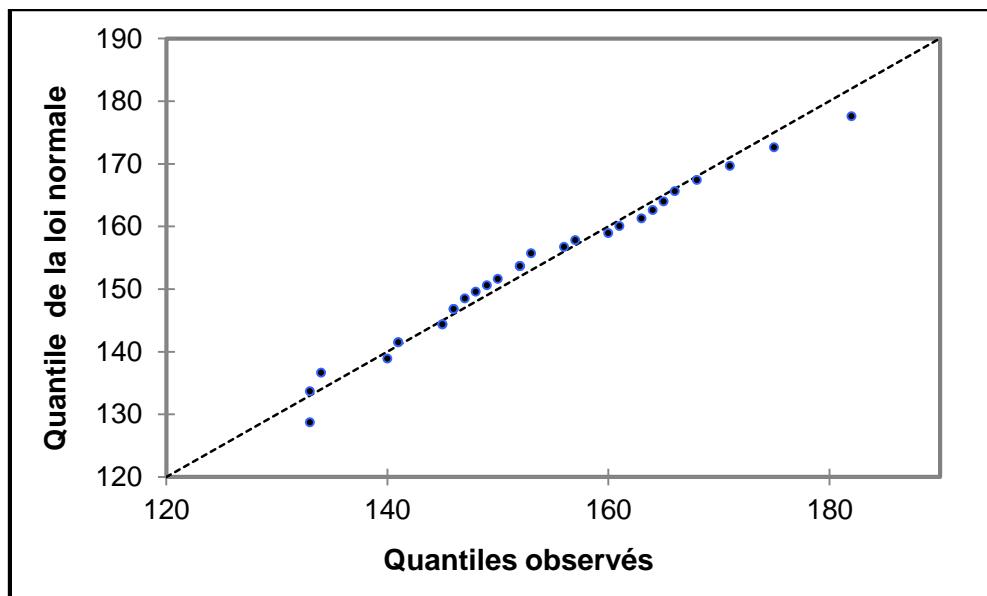


Figure 20 : Distribution des âges de notre échantillon

Ces données confirment que nous ne pouvons rejeter l'hypothèse de normalité. Notre échantillon suit donc une loi normale et est représentatif de la population générale de la classe d'âge 11-15 ans. Etant donné que nos paramètres révisés ne suivent pas tous une loi normale (prise, ouverture, mots de basse imagerie), nous avons réalisé des corrélations de Spearman. Les autres figures de distributions (27 à 33) sont répertoriées en Annexe X.

2 Corrélations de Spearman et test de significativité

Notre hypothèse suggère que l'imagerie motrice est un processus intervenant lors de la compréhension. Afin d'étudier l'intensité de la relation qui existe entre ces deux variables, nous avons procédé à des analyses corrélationnelles de Spearman, puisque nos paramètres révisés ne respectaient pas tous la répartition d'une loi normale.

Nos observations portent sur les quatre protocoles : « Linkenauger », « Frak », « Définitions » et « Enigmes », indiquées en tableau 5. Nous avons observé le coefficient de détermination (R^2), qui est un indicateur permettant de juger la qualité d'une régression linéaire. Si R^2 est proche de 0, il n'y a pas de relation linéaire entre les variables étudiées. Plus R^2 est proche de 1, plus il existe une forte relation linéaire positive (négative si R^2 est proche de -1).

A travers ce tableau 5, nous remarquons que les tâches du protocole « Frak » sont corrélées d'une part, avec les mots de haute imagerie ($R^2=0.338$; $p<.001$) et d'autre part, avec les mots de basse imagerie ($R^2=0.278$; $p<.05$). De plus, les mots de forte imagerie sont corrélés d'une part, avec les mots de basse imagerie ($R^2=0.366$; $p<.01$), et d'autre part, avec le score d'indication ($R^2=0.161$; $p<.05$). En revanche, aucune corrélation n'a été trouvée entre les tâches du protocole « Linkenauger » et celles des protocoles « Définitions » et « Enigmes » ($p>.05$).

La carte de corrélation en figure 21 symbolise les corrélations positives (en noir). Cette orientation signifie que les variables évoluent dans le même sens : l'une augmente en fonction de l'autre.

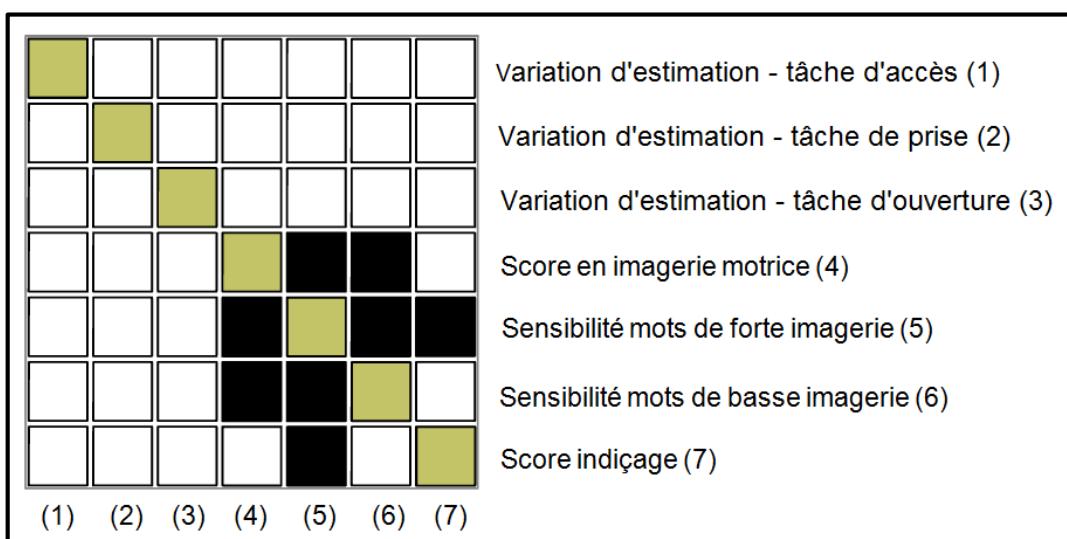


Figure 21 : Carte des corrélations de Spearman

Tableau 5 : Coefficients de détermination (R^2)

Variables	Variation d'estimations (tâche d'accès)	Variation d'estimations (tâche de prise)	Variation d'estimations (tâche d'ouverture)	Score imagerie motrice (Frak)	Sensibilité des mots de haute imagerie	Sensibilité des mots de faible imagerie	Score indiçage (Enigmes)
Variation d'estimations (tâche d'accès)	-	.025	.090	.047	.003	.001	.000
Variation d'estimations (tâche de prise)		-	.043	.033	.010	.003	.047
Variation d'estimations (tâche d'ouverture)			-	.004	.013	.008	.000
Score imagerie motrice (Frak)				-	.338**	.278**	.112
Sensibilité des mots de haute imagerie					-	.366**	.161*
Sensibilité des mots de faible imagerie						-	.015
Score indiçage (Enigmes)							-

*La corrélation est significative au niveau 0.05

**La corrélation est significative au niveau 0.01

Chapitre V

DISCUSSION DES RESULTATS

I Rappel de l'objectif et des hypothèses

Notre projet avait pour sujet d'étude la relation entre imagerie motrice et compréhension du langage. En effet, nous avons voulu savoir si l'imagerie motrice pouvait constituer un processus intervenant lors de la compréhension. Nous avons donc cherché à décrire le lien qu'entretiendrait cette faculté d'imagerie avec la compréhension langagière. Nous avions établi l'hypothèse que, chez les enfants de 11 à 15 ans, de faibles habiletés d'imagerie motrices devaient impacter négativement les capacités de compréhension de mots, quelle que soit leur valeur d'imagerie, et indirectement, porter préjudice à la compréhension de textes.

Pour répondre à notre hypothèse, nous avons proposé à 30 enfants âgés de 11 à 15 ans, deux protocoles d'imagerie motrice, ainsi que deux épreuves de compréhension du langage. Puisque notre échantillon est représentatif, nos résultats pourraient être extrapolés à la population générale des 11-15 ans.

Dans cette partie, nous allons interpréter les résultats décrits précédemment, puis nous critiquerons notre démarche expérimentale, de manière la plus objective possible. Enfin, nous terminerons en proposant diverses perspectives, tant sur le plan de la recherche que sur celui de la clinique.

II Interprétation des résultats

1 Validation des hypothèses opérationnelles

L'hypothèse H1 est validée. En effet, nos résultats indiquent que le **score d'imagerie motrice** (mesuré en temps de réponse au protocole « Frak ») est corrélé positivement avec la **sensibilité des mots** (mesurée en nombre de bonnes réponses au protocole « Définitions »). Cette sensibilité est effectivement d'autant plus grande que **l'effet de concrétude** augmente.

L'hypothèse H2 est partiellement validée, puisque le score d'imagerie motrice (mesuré en temps de réponse au protocole « Frak ») n'est pas corrélé avec le score d'indication (mesuré en nombre d'indices au protocole « Enigmes »). Toutefois, même si cette prédition n'est pas validée, la valeur corrélationnelle indique tout de même un **sens d'évolution** pour nos résultats. Cela nous laisse penser qu'au sein d'un échantillon plus important, auprès d'une autre classe d'âge, ou au sein d'une pathologie, notre hypothèse pourrait tendre à la significativité et être validée.

L'hypothèse H3 est partiellement validée. Nous observons que la variabilité des estimations (mesurées en distance au protocole « Linkenauger ») n'est pas corrélée avec la sensibilité des mots (mesurée en nombre de bonnes réponses au protocole « Définitions »).

En effet, les valeurs corrélationnelles ne sont pas significatives, très certainement pour les mêmes raisons que pour H2. Toutefois, cette sensibilité est d'autant plus grande que l'effet de concréétude augmente. En effet, pour les trois tâches « Linkenauger », la sensibilité des mots de forte imagerie est toujours supérieure à celle des mots de basse imagerie. Nous retrouvons ainsi **un effet de concréétude** pour cette hypothèse.

Enfin, **l'hypothèse H4 n'est pas validée** : la variabilité des estimations (mesurées en distance au protocole « Linkenauger ») n'est pas corrélée avec le score d'indication (mesuré en nombre d'indices au protocole « Enigmes »).

Par ailleurs, **un autre résultat corrélational** a pu être obtenu. En effet, **le score d'indication** (mesuré en nombre d'indices au protocole « Enigmes ») est corrélé positivement avec la **sensibilité des mots** (mesurée en nombre de bonnes réponses au protocole « Définitions »), de forte imagerie uniquement.

2 Analyse des protocoles proposés

2.1 Habilétés d'imagerie motrice

2.1.1 Protocole « Linkenauger »

Les tâches de « Linkenauger » (tout comme celles de « Frak ») sont établies dans le but de solliciter une intégration perceptivomotrice. Dowell, Mahone, & Mostofsky (2009, cités dans Linkenauger et al., 2012) suggèrent en effet que ce défaut d'intégration perceptivomotrice soit à l'origine de déficits praxiques, et serait à l'origine de difficultés persistantes dans la prédiction et l'identification du résultat d'une action (Boria, 2009, et Zalla, 2010, cités dans Linkenauger et al., 2012).

Au sein de ce protocole, nous avons observé les variations d'estimations. D'une manière générale, plus un écart-type est important, plus nous pouvons supposer que le participant effectue les tâches au hasard, et en conséquence, manque de précision. De faibles compétences en imagerie (et donc certainement un défaut d'intégration perceptivomotrice) devraient être caractérisées par une grande variabilité de l'écart-type, en raison d'un manque de précision dans les estimations.

Cependant, nous n'avons pas retrouvé de corrélation entre ce protocole et ceux pour la compréhension (« Définitions » et « Enigmes »). Mais cela ne signifie pas que ces tâches ne sont pas adaptées à ce que nous cherchions : des biais sont certainement ressortis au cours de l'expérimentation. De plus, nous observons tout de même un sens d'évolution en faveur de nos hypothèses malgré la non-significativité relevée. Ainsi, en fonction de nos résultats, nous arrivons à la conclusion suivante : les participants auraient utilisé des stratégies pour réaliser leurs estimations. Nous insistons donc sur la nécessité d'interpréter les résultats de ce protocole avec beaucoup de prudence.

2.1.2 Protocole « Frak »

Le but était d'observer les processus de simulation de mouvement. En effet, les participants devaient simuler le geste demandé avant de donner leur réponse en ce qui concerne la facilité de la tâche. Ainsi, le temps de réponse mesuré représentait la durée nécessaire au jugement de cette facilité (Frak et al., 2001). Ce temps correspond en fait à la rapidité avec laquelle le participant simule la tâche demandée dans son esprit. Nous avons relevé au travers de nos résultats que le temps de réponse augmente avec la difficulté estimée de la tâche. Cette durée reflète finalement les habiletés d'imagerie motrice. Ainsi, plus le temps de réponse serait court, plus nous pourrions parler de facilité d'évocation.

Dans leur étude, Frak et al. (2001) ont montré qu'exécuter et simuler mentalement une action prend le même temps, venant ainsi confirmer les résultats de la littérature (Gabbard, Caçola, & Bobbio, 2011 ; Jeannerod, 1995). Ce phénomène s'explique par le fait qu'exécuter et simuler mentalement respectent les contraintes biomécaniques imposées lors d'une action motrice. En effet, l'orientation de l'axe induit des contraintes physiologiques au niveau du membre supérieur. L'axe de -22° constitue en effet la limite de flexion du poignet et de rotation des épaules (Frak et al., 2001). Ainsi, les axes -22 et -10° se trouvent être les prises les plus difficiles et nécessitent un temps de réponse plus important, reflétant logiquement la durée nécessaire à la réalisation mentale de la tâche. La simulation de mouvement est donc étroitement liée à leur exécution motrice. En conséquence, ce procédé de mentalisation constituerait un modèle adéquat pour étudier le système moteur et ses troubles (Frak et al., 2001). Ce type d'épreuve se révèle être tout à fait adapté pour tester les habiletés d'imagerie motrice.

2.2 Compréhension du langage

2.2.1 Protocole « Définitions »

Il avait pour objectif de démontrer que les processus linguistiques utilisent les structures cérébrales impliquées dans l'imagerie mentale (perceptive et motrice) afin de comprendre les stimuli verbaux (Asare-Agbo et al., 2015). De plus, cette étude cherchait à mettre en évidence que des mécanismes distincts sont utilisés pour traiter des mots de forte et de faible imagerie.

Après analyse des données, nos résultats montrent que l'imagerie facilite la production de bonnes réponses (détectons et rejets corrects), alors que son absence induit la production d'erreurs (omissions et fausses reconnaissances). Ceci signifie que les mots de forte imagerie sont globalement mieux reconnus que les autres. L'imagerie faciliterait donc l'accès au sens, tout en minimisant les erreurs. Au contraire, si cette capacité est faible, la reconnaissance des mots et leur compréhension opèreraient en plus faible proportion et engendreraient un nombre d'erreurs plus important. Ces données viennent compléter la littérature qui montrait déjà que l'utilisation de l'imagerie mentale permettait de réduire le coût cognitif engendré par le traitement du langage, et de soulager ainsi les aires cérébrales.

2.2.2 Protocole « *Enigmes* »

Nous avons pu observer un effet corrélational du score en indiq̄age avec la sensibilité des mots de forte imagerie. Nous pouvions effectivement nous attendre à cette relation puisque les deux tâches concernent des mots de haute imagerie. Or, une corrélation de deux éléments identiques sera parfaite et tendra vers 1. Ce constat confirme que nos épreuves sont adaptées à ce que nous voulions tester : la compréhension du langage.

3 Analyse des corrélations

Nous avons proposé deux tests pour évaluer les habiletés en imagerie motrice d'une part, et deux autres pour estimer les capacités de compréhension du langage d'autre part. Nous avons supposé l'existence d'un effet entre ces aptitudes, et nos épreuves nous permettraient de les relier entre elles. Pour authentifier notre hypothèse, nous avons réalisé des analyses corrélationnelles entre les performances testées en imagerie motrice et celles testées en compréhension. Nous avons ainsi mis en évidence un effet entre l'une de nos tâches d'imagerie (« *Frak* ») et nos tâches de langage (« *Définitions* » et « *Enigmes* »). Notre étude montre donc que la tâche de Frak et al. (2001) est donc tout à fait adaptée pour tester les habiletés d'imagerie motrice, et son taux de réussite (en temps de réponse) peut être rapproché des compétences en compréhension.

En résumé, le lien établi entre ces deux compétences suppose que de faibles habiletés d'imagerie motrice impactent négativement les capacités de compréhension de mots, et ce, quelle que soit leur valeur d'imagerie. Cette relation se retrouve en effet aussi bien pour les mots de haute imagerie que pour ceux de basse imagerie. Nous notons toutefois que cette relation est plus importante pour les mots de haute imagerie, révélant ainsi un effet de concrétude. Cela signifie que si les habiletés d'imagerie motrice sont mauvaises, ce sont les mots de haute imagerie qui en seront le plus impactés. Indirectement, ce constat porterait préjudice à la compréhension de textes. En effet, comprendre, c'est transformer un texte ou une phrase en image mentale (Charmeux, 1985, cité dans Chalamel & Gonnet, 2008), afin de générer un modèle de situation (Barsalou, 1999). Or, ce sont justement les mots qui permettent d'élaborer un tel modèle grâce à la phase de construction du modèle de compréhension de Kintsch (1988, cité dans Christel & Lefèvre, 2008), au cours de laquelle les concepts et la signification des mots de l'énoncé sont activés en mémoire de travail et en mémoire à long terme. Les mots de forte imagerie ont donc un rôle important à jouer, qui peut être mis à mal par de faibles capacités d'imagerie motrice, comme le soulève notre étude.

Notre étude constitue ainsi un premier argument en faveur d'un lien entre habiletés en imagerie motrice et compréhension langagière. Toutefois, nous ne pouvons nous positionner en ce qui concerne le sens de cette relation. En effet, le fait que deux variables soient corrélées ne démontre pas une relation de causalité. L'imagerie motrice influence la compréhension, mais cette dernière pourrait tout aussi bien impacter l'imagerie motrice. D'autres études seraient donc nécessaires pour déterminer le sens de cette corrélation. Toutefois, au vu des données de la littérature que nous venons d'évoquer, nous pouvons effectivement conjecturer que l'imagerie motrice, entre autres, vienne influencer le langage.

III Analyse critique de la démarche expérimentale

Nous avons ensuite porté un regard critique sur notre étude. Cette prise de recul a permis de mettre en évidence quelques limites, malgré la rigueur que nous avons souhaité tenir tout au long de notre démarche expérimentale. Ainsi, certains aspects mineurs de notre étude pourraient être reconsidérés et nous incitent à relativiser l'interprétation de nos résultats. Nous avons également réfléchi aux améliorations possibles qui pourraient être apportées.

1 Recrutement et conditions de passation

La majorité de nos participants étaient sensibilisés à la recherche, très souvent du fait de la profession des parents. Nous supposons qu'ils étaient donc plus à même de se rendre volontaires et d'entreprendre une démarche active (se déplacer jusqu'à l'Institut pour réaliser les tests). Nous notons également qu'une partie de ces enfants avait l'habitude de passer des expérimentations au sein de l'Institut.

Concernant le lieu où se déroulaient les expérimentations, nous avons offert la possibilité d'agencer les rendez-vous selon les préférences du participant et la disponibilité des parents. Les deux entrevues pouvaient ainsi être regroupées en une unique rencontre à l'Institut, puisque certains venaient d'assez loin géographiquement. Le temps de passation s'élevait donc à deux heures consécutives, engendrant ainsi une fatigue plus importante que si les deux rendez-vous avaient été pris séparément. En raison de cette organisation, nous n'excluons pas la possibilité de fatigue chez les enfants, qui aurait pu les inciter à terminer les épreuves plus vite. Ce comportement favorise les réponses données au hasard, ce que nous avons voulu contrôler en établissant nos paramètres révisés. Toutefois, chaque passation a pu être effectuée par une seule personne, diminuant ainsi considérablement le biais de l'expérimentateur. Par ailleurs, tous les participants n'ont pas été testés au même moment de la journée. Certains ont pu venir pendant les vacances, d'autres le soir après l'école.

Comme nous étions contrainte de respecter les impératifs des familles, il nous était difficile de contrôler l'ensemble des participants sur ces critères. Cependant, il serait possible réitérer l'étude en partenariat avec un collège, afin de mobiliser plusieurs classes et d'augmenter le nombre de participants. De plus, cette collaboration permettrait de réaliser les tâches directement au sein du collège, en présence des élèves. Ce dispositif imposerait ainsi moins de contraintes aux familles (pas de déplacement) et positionnerait les participants dans une démarche passive et non active, puisque c'est l'expérimentateur qui se déplacerait jusqu'à eux. Cette approche devrait motiver un plus grand nombre de participants. Pour argumenter sur ce dernier point, nous avons en effet relevé un contraste entre, d'une part, le nombre d'élèves motivés par la présentation de notre projet pendant leurs heures d'étude, et, d'autre part, le nombre d'appels des parents effectivement reçus par la suite. Nous avons supposé que les démarches à entreprendre (appels, consentements, déplacements jusqu'à l'Institut) ont participé à diminuer la motivation générale, malgré nos propositions d'aménagements.

2 Choix du matériel

Au fur et à mesure des expérimentations, nous avons remarqué que pour la tâche d'accès du protocole « Linkenauger », les participants se sont aidés de repères visuels malgré nos précautions (table neutre, propre et blanche).

Pour la tâche de prise, la longueur du bloc en PVC s'est révélée peu adaptée aux tailles de mains de nos participants. En effet, la longueur minimale pouvait leur paraître trop grande pour que le bloc puisse être soulevé (pourtant possible en pratique). Cela ne permettait donc pas à l'enfant de réaliser correctement ses estimations, puisque celles-ci auraient très bien pu se situer en deçà du minimum proposé. De plus, quelques rainures étaient présentes sur ce bloc et offraient des repères au participant. L'enfant a donc très certainement fait l'effort une première fois, puis s'est laissé guider par ces repères pour effectuer ses estimations. Concernant cette tâche, il serait donc pertinent d'encadrer plus largement les possibilités de préhension de chacun, par exemple en proposant un bloc allant de 8 à 18 cm de long.

Nous avons également observé que pour le protocole de « Frak », la partie de la consigne qui stipule de prendre le cylindre par le bas n'a pas été respectée à chaque image ni par tous les participants. Comme expliqué en partie résultats, nous avons contrôlé ce biais en éliminant de nos données d'analyse les axes de prise correspondant à -22° et à -10°.

Pour le protocole « Enigmes », il était finalement possible de trouver plusieurs solutions à chaque item, autres que celle attendue. Cet effet s'est retrouvé notamment lorsque le nombre d'indices sollicités par le participant était faible. En effet, il arrivait que les premiers indices correspondent à plusieurs concepts. Ce fut le cas, par exemple, de l'item « gare ». Un enfant « prise de risque » pouvait proposer l'aéroport dès l'indice n°4, alors que le concept des rails n'apparaît qu'à l'indice n°5. Sur cette tâche, nous avons également repéré un biais de subjectivité, car c'était l'expérimentateur lui-même qui comptabilisait les bonnes réponses. Le programme informatique généré pour ce protocole comptait comme bonne réponse toutes les solutions proposées par le participant, sans les comparer à la réponse attendue. Afin de réemployer cette tâche, il semblerait nécessaire de veiller à ce que les premiers items ne correspondent pas à plusieurs énoncés. Si cette recommandation ne peut être réalisée, une autre solution serait de proposer tous les indices en une unique présentation, et d'enregistrer le temps que l'enfant met pour proposer sa réponse.

IV Perspectives

1 Apports pour la recherche

Grâce à ses résultats, notre étude pourrait inciter la recherche à poursuivre ses travaux dans divers domaines. Nous proposons par ailleurs de réitérer notre projet tout en tenant compte des biais que nous avons relevés, afin de généraliser nos résultats sur une population plus large de tout-venant, ou bien auprès d'une pathologie particulière.

1.1 Modalités d'imagerie

Une piste d'étude serait d'étendre nos résultats à toutes les modalités d'imagerie. Nous savons qu'il existe un lien entre les structures motrices dédiées aux actions simulées, et celles dédiées aux actions exécutées (Jeannerod, 1994). Sachant également que le langage active le cortex moteur (Pulvermüller et al., 2005), nous avons suggéré lors de l'interprétation de nos résultats que l'accès à l'imagerie motrice puisse s'effectuer par le biais du langage.

Nous émettons ainsi l'idée que le langage provoque l'activation d'une modalité d'imagerie particulière, spécifique au contexte énoncé, lu ou entendu (cf. Figure 22). Ainsi, une phrase comme « Mickaël hume le parfum d'une fleur » ou « Il écoute la radio » solliciterait respectivement les imageries olfactive et auditive, ainsi que les cortex olfactif et auditif. En effet, puisque l'imagerie mentale sollicite les circuits habituellement dédiés aux modalités sensorielles (Trocme-Fabre, 1994), nous devrions avoir une activation des zones cérébrales concernées. Cette activation des zones cérébrales entraîne un accès plus rapide à la compréhension (Binder & Desai, 2011 ; Pulvermüller et al., 2005).

Le lien établi par notre étude entre imagerie motrice et compréhension dépendrait donc du contexte langagier et pourrait être formulé aux autres modalités. Ainsi, en améliorant les différentes modalités d'imagerie, et notamment l'imagerie motrice comme le suggère notre étude, nous pourrions améliorer indirectement les compétences en compréhension, puisque celle-ci se sert des habiletés d'imagerie pour fonctionner (Barsalou, 1999).

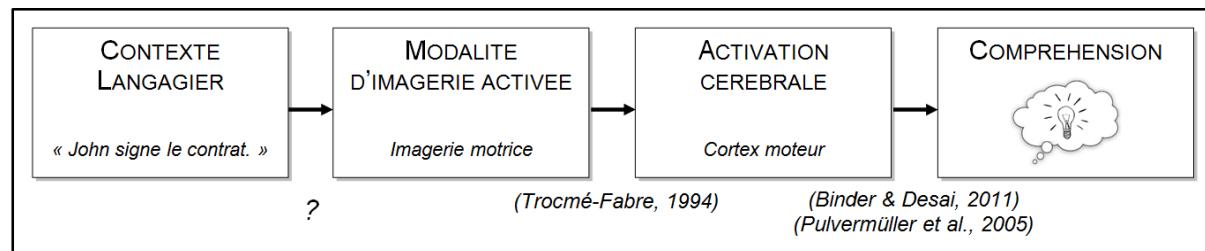


Figure 22 : Impact du contexte langagier

1.2 Aphantasia

Nous avons vu que la plupart des personnes utilisent l'imagerie mentale pour accéder à la compréhension du langage (Barsalou, 1999). Ce constat nous amène à la question suivante : comment fonctionnent les personnes aphantasiées ? Ce nouveau concept (Zeman et al., 2015 ; Zeman et al., 2010) évoque en effet le fait que certains individus vivraient normalement sans utiliser d'images. Suite aux nombreux travaux de la littérature, il semble pourtant que l'imagerie joue un rôle non négligeable au quotidien (compréhension du langage, raisonnement...). Alors quelles stratégies adoptent ces personnes privées d'images mentales pour accéder à la compréhension et aux fonctions qui sollicitent ordinairement cette habileté ?

Il faut bien distinguer deux cas, comme le soulignent Zeman et al. (2015). Cette aphantasia peut être congénitale ou acquise. Les conséquences en seront donc différentes. Ainsi, un patient traumatisé crânien qui se réveille en ne pouvant plus produire d'images

mentales, ne pourra probablement pas récupérer cette habileté, ou tout du moins que partiellement grâce à la plasticité cérébrale et à la récupération spontanée. En revanche, un enfant qui se développe normalement sans cette habileté d'imagerie, mettra en jeu d'autres moyens pour compenser cette absence. Les conséquences seront donc moindres.

Puisque la compréhension sollicite l'imagerie (Barsalou, 1999) et en tenant compte de ces deux origines distinctes, nous supposons que dans le cadre d'un syndrome acquis, les mots de forte imagerie seraient moins bien compris qu'auparavant, alors que ceux à basse imagerie ne subiraient pas de modification. En revanche, dans le cadre d'un syndrome congénital, les performances pour les deux types de mots seraient équivalentes. Ce phénomène pourrait s'expliquer par l'étude d'Asare-Agbo et al. (2015), qui démontre que les mots de haute et basse imagerie n'utiliseraient pas les mêmes structures cérébrales. Ainsi, dans un cadre développemental, les mots de forte imagerie se serviraient des structures ordinairement dédiées aux mots de basse imagerie. Nous observerions ainsi un développement de moyens de compensation pour comprendre les mots de forte imagerie, par le biais des structures dédiées aux mots de faible imagerie.

Alors quelles seraient les stratégies utilisées par ces personnes aphantasiques ? Zeman et al. (2015) parlent de représentations non visuelles, ainsi que de capacités surdéveloppées (logique et raisonnement) pour compenser ce déficit. Serait-il possible de s'inspirer de leurs stratégies pour pallier les difficultés retrouvées dans la compréhension ? L'aphantasie semble constituer un aspect prometteur de la recherche, et viendrait étayer les prises en soin de nombreux patients en orthophonie, en proposant des objectifs de rééducation basés sur les moyens de compensations développés par les personnes aphantasiques.

1.3 Trouble d'Acquisition de la Coordination

Il serait possible de poursuivre l'étude auprès d'enfants présentant un TAC. Toutefois, cela nécessiterait de mener ces travaux avec précaution, puisque la comorbidité est très importante chez ces enfants. En effet, nous retrouvons très souvent un trouble de l'attention, un déficit d'inhibition et/ou un trouble spécifique du langage (Vivre-Douret, 2014). Nous sommes donc en présence d'une importante hétérogénéité des troubles.

Vivre-Douret et al. (2011) évoquent les difficultés des enfants TAC à intégrer les informations lors de la planification d'un mouvement (et non pendant son exécution), et s'accorde ainsi avec Forti et al. (2011, cités dans Linkenauger et al., 2012). Selon Linkenauger et al. (2012), ces difficultés d'utilisation du système moteur, notamment pour simuler ses propres actions, induirait un déficit d'intégration perceptivomotrice. Ce déficit se retrouverait donc chez les enfants TAC, expliquant ainsi leurs difficultés praxiques. Puisque cette intégration perceptivomotrice se teste par le protocole « Linkenauger », nous pouvons aisément faire le rapprochement avec nos résultats. Ainsi, cette incapacité d'intégration perceptivomotrice pourrait être le reflet de faibles habiletés en imagerie motrice.

Les enfants TAC sont très souvent reçus en orthophonie pour des difficultés de langage écrit (compréhension) et/ou de logique. De ce fait, une rééducation basée sur l'entraînement de l'imagerie motrice pourrait améliorer les compétences langagières, et très certainement les différentes fonctions qui sollicitent l'imagerie mentale (logique, repérage spatial). C'est finalement tout un système de plasticité cérébrale qui se mettrait en jeu.

1.4 Pratique sportive

Nous savons grâce à l'étude de Zabalia (2002), que la motricité constitue un socle pour le développement de l'imagerie mentale. Le système moteur est en effet impliqué dans cette habileté puisqu'il permet de guider l'action imagée (Kosslyn, 1994, cité dans Zabalia, 2002). D'après ces éléments, l'action motrice agirait sur le développement de l'imagerie motrice.

Comme nous venons de le voir, l'exécution motrice est étroitement liée à la simulation du mouvement (Jeannerod, 1994). Dans ce sens Gabbard, Caçola, & Bobbio (2011) a démontré une relation positive entre les habiletés à se représenter une action et les habiletés motrices. Plus précisément, l'imagerie interne facilite l'acquisition de compétences motrices (Mulder et al., 2007). Une grande facilité d'imagerie motrice favorise donc l'apprentissage de mouvements, alors qu'un déficit de cette habileté a des conséquences sur le contrôle moteur (Noten et al., 2014).

Par ailleurs, si la pratique sportive pouvait influencer le développement moteur, nous pourrions aller encore plus loin et arriver à une relation entre la pratique sportive et la compréhension du langage. Une piste d'étude serait alors à envisager dans ce sens, afin de montrer d'une part si cette relation existe, et d'autre part, quel type de sport à quelle intensité de pratique serait le plus bénéfique pour le langage. Pour illustrer notre raisonnement, nous proposons la figure 23 ci-dessous.

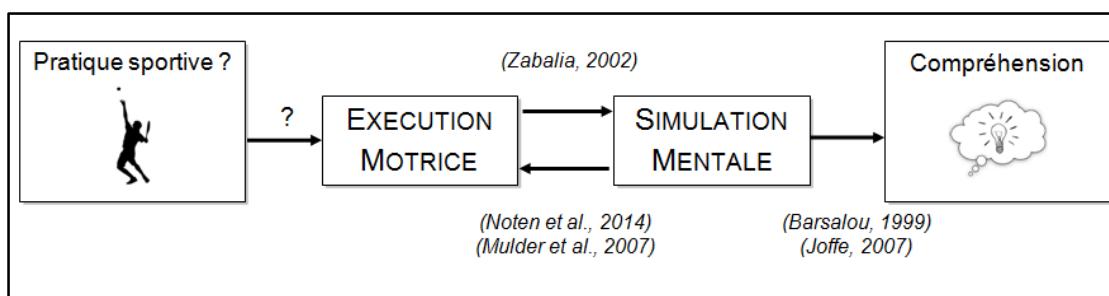


Figure 23 : De la manipulation à la compréhension

2 Apports pour l'orthophonie

2.1 Cr éation d'un outil d'évaluation

Il existe des batteries pour tester l'imagerie mentale en général, notamment l'imagerie visuelle (Bourlon et al., 2009). Mais à notre connaissance, il n'en existe pas spécifiquement dédiée à l'imagerie motrice. Il serait donc intéressant de réaliser un tel support, afin d'offrir aux cliniciens la possibilité d'estimer les capacités d'imagerie motrice de leurs patients. Nous notons que la batterie développée et normalisée par Bourlon et al. (2009) s'intéresse aux capacités d'imagerie mentale, mais également à la perception. Cette dichotomie ne constitue pas un élément préjudiciable à une évaluation adaptée des capacités imageantes, mais selon le concept de gestion mentale (La Garanderie, 1982), les images relèvent d'un procédé d'évocation, et non de perception. Il s'agit donc de bien distinguer perception et évocation. Cette remarque serait à prendre en considération au moment d'établir une batterie se destinant à évaluer les capacités d'imagerie motrice.

Pour respecter la réalité clinique, ce test doit bien entendu être pratique d'utilisation, et rapide à faire passer. Nous proposons aux futurs travaux de réaliser cette batterie d'évaluation à l'instar de celle de Bourlon et al. (2009), ou en s'appuyant sur le protocole de Frak et al. (2001), puisque la présente étude démontre sa relation directe avec la compréhension du langage. Il conviendrait ensuite d'étalonner cette batterie (comme le suggérait également Dérudet en 2012), en s'inspirant de nos propositions d'amélioration par exemple.

2.2 Création d'un outil de remédiation

A plus long terme et faisant suite à la création d'un outil d'évaluation, nous proposons d'élaborer un protocole de rééducation, basé sur l'entraînement de l'imagerie motrice. Cet outil permettrait aux professionnels de proposer un nouveau support de remédiation aux patients, afin de travailler la compréhension du langage. Sa finalité n'aurait pas pour but de se substituer aux techniques de rééducation déjà existantes. Il constituerait plutôt une ressource supplémentaire pour atteindre les objectifs fixés suite au bilan de compétences. Ce nouvel outil offrirait potentiellement un moyen d'intervenir en amont des difficultés.

Pour le créer, il serait intéressant de se référer au concept de gestion mentale (La Garanderie, 1982, 1987). En effet, cette démarche semble tout à fait pertinente puisque cette approche met en lien évocation d'images mentales et compréhension. Les difficultés d'accès au sens seraient dues à une défaillance du projet d'évocation, qui serait incomplet ou inexistant. Or, évoquer, c'est utiliser les images mentales, dans leurs différentes modalités. Ainsi, un défaut d'imagerie mentale conduirait à une mauvaise évocation, qui elle-même impacterait le geste de compréhension par la suite.

Il serait alors judicieux de proposer un entraînement basé sur le développement de l'évocation par le mouvement, au même titre que ceux proposés pour développer l'évocation par l'odorat, par le visuel ou par les autres sens. Pour illustrer nos propos, nous citons un exemple d'entraînement à l'évocation olfactive (<https://neuropedagogie.com/>) :

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. L'enfant ne doit pas voir l'objet qu'il va sentir.2. Dire à l'enfant : « je vais te faire sentir une odeur (fleur, parfum, etc.) et tu vas faire exister cet objet dans ta tête de la façon qu'il te plaira, comme tu en as l'habitude, puis je vais retirer l'objet qui provoque cette odeur. »<ul style="list-style-type: none">o « Soit tu vas voir dans ta tête une image à laquelle cette odeur te fait penser»o « Soit tu vas te raconter ce que l'odeur t'inspire»o « Soit tu vas ressentir une émotion ou une sensation »o « Mais il peut aussi se passer tout à la fois. Il faut juste que tu fasses attention à ce qui existe dans ta tête. »3. Faire sentir l'objet (l'enfant ne doit toujours pas le voir)4. Cacher l'objet5. Conduire l'enfant à parler de l'odeur sentie. |
|---|

Figure 24 : Exercice d'évocation par l'odorat extrait de Neuropédagogie.com

Il serait donc possible d'imaginer et de mettre en œuvre ce type d'entraînement, pour stimuler l'évocation par le mouvement, afin de renforcer l'imagerie motrice.

Par ailleurs, nous savons que l'imagerie mentale intervient lors de certains processus tels que le fonctionnement mnésique (Dubois et al., 1998; Keogh & Pearson, 2011 ; Trocmé-Fabre, 1994), le raisonnement (Trocme-Fabre, 1994) ou l'orthographe (Dérudet, 2012). Nous pourrions donc élargir notre domaine d'action puisque cet outil offrirait la possibilité de vérifier si, des progrès peuvent s'observer dans ces différents domaines. Ces suppositions sont en accord avec La Garanderie (1982), puisque selon lui, les habiletés d'imagerie s'améliorent avec l'entraînement. Il serait donc possible de renforcer toutes les capacités dans lesquelles l'imagerie interviendrait.

En ce sens et pour exemple, Dérudet (2010) a pu montrer que l'imagerie mentale participe à la performance en orthographe lexicale. Or, si mémoire et mouvement sont en relation comme le suggère Middleton & Strick (1994, cités dans Jensen, 2005), l'ébauche du geste graphique devrait faciliter le rappel de l'orthographe du mot en cours d'écriture. Puisque simulation et exécution sont en relation (Kosslyn, 1994, cité dans Zabalia, 2002), nous pourrions penser qu'un entraînement de l'imagerie motrice viendrait influencer les compétences en orthographe. Postuler que l'erreur orthographique provienne d'un mauvais encodage du geste graphique, nous amènerait à élaborer une approche rééducative par le biais de l'imagerie motrice, dans le but de renforcer les compétences en orthographe.

La présente étude suggère donc une origine commune à différentes difficultés que nous n'aurions pas mises en lien au premier abord. Cet outil de remédiation se destinerait à une utilisation auprès de diverses pathologies dans lesquelles se retrouveraient des difficultés de compréhension et/ou un déficit d'imagerie (langage écrit, langage oral, logico-mathématique ou neurologie). Nous évoquons ainsi la possibilité d'une pratique variée de cet outil au sein des différents domaines d'intervention orthophonique.

CONCLUSION

Notre projet de recherche s'est concentré sur l'étude de l'imagerie motrice et les relations que cette habileté entretient avec les compétences langagières. Les données de la littérature scientifique révèlent que le langage est capable d'activer les structures cérébrales motrices (Aravena et al., 2014 ; Pulvermüller et al., 2005). C'est effectivement ce qu'on observe au niveau du cortex, lorsqu'on se retrouve face à une phrase telle que « Marie danse une valse ». Cette activation des systèmes moteurs permet en effet d'accéder au sens de la phrase, lorsque celle-ci décrit une action motrice (Binder & Desai, 2011 ; Pulvermüller et al., 2005). En outre, nous savons aujourd'hui que l'imagerie mentale occupe une place importante dans les processus de compréhension (Barsalou, 1999). Cette aptitude est en effet utilisée pour le traitement du langage (Guarnera et al., 2013 ; Oakhill & Patel, 1991).

L'objectif de notre projet de recherche était de savoir si l'imagerie motrice pouvait constituer un paramètre intervenant lors des processus de compréhension. Nos résultats ont confirmé cette hypothèse, puisque les données recueillies indiquent que les performances mesurées en imagerie motrice et en compréhension entretiennent d'étroites relations. Ainsi, nous pouvons avancer que chez les 11-15 ans, de faibles habiletés d'imagerie motrice impactent négativement les capacités de compréhension des mots, quelle que soit leur valeur d'imagerie, portant indirectement préjudice à la compréhension de textes. Les habiletés d'imagerie motrice se révèlent donc être un support efficace pour accéder à la compréhension.

Les recherches futures pourraient donc approfondir cette relation entre imagerie motrice et langage, et ainsi démontrer son existence au sein de diverses pathologies, comme le TAC. Une telle démarche conduirait à l'élaboration de nouvelles techniques de rééducation. A plus long terme, la finalité de notre étude exploratoire amènerait à la conception d'une nouvelle remédiation orthophonique, basée sur les habiletés en imagerie motrice. Cette compétence conduirait donc à une nouvelle approche pour la profession orthophonique. En effet, l'utilisation de l'imagerie motrice permettrait aux professionnels d'agir directement sur la compréhension du langage. Les images mentales constituent une grande richesse et sont source d'intelligence adaptative. Elles permettent en effet d'appréhender l'environnement grâce à leur formation, leur mémorisation et leur utilisation au quotidien. Nous les sollicitons lors de nos apprentissages, pour la mémorisation et la gestion de l'espace, la pratique sportive ou les activités manuelles. Notre étude lui attribue aujourd'hui un rôle supplémentaire, puisque l'imagerie motrice fournit une base solide à la compréhension. Il serait donc tout à fait possible, grâce notamment à la plasticité cérébrale et aux modifications synaptiques, d'entraîner cette capacité d'imagerie pour devenir plus performant dans le domaine langagier.

Finalement, par le biais de l'imagerie motrice, notre étude constitue un point de départ à des pistes de rééducation innovantes pour les difficultés de compréhension. Ce travail amènerait donc la pratique clinique à concevoir de nouvelles remédiations orthophoniques.

REFERENCES

- Adams, I. L. J., Lust, J. M., Wilson, P. H., & Steenbergen, B. (2014). Compromised motor control in children with DCD : A deficit in the internal model ? A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 47, 225-244.
- Aravena, P., Courson, M., Frak, V., Cheylus, A., Paulignan, Y., Deprez, V., & Nazir, T. A. (2014). Action relevance in linguistic context drives word-induced motor activity. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.
- Aravena, P., Delevoye-Turrell, Y., Deprez, V., Cheylus, A., Paulignan, Y., Frak, V., & Nazir, T. (2012). Grip Force Reveals the Context Sensitivity of Language-Induced Motor Activity during « Action Words » Processing : Evidence from Sentential Negation. *PLoS ONE*, 7(12), 50287.
- Asare-Agbo, P., Rotival, C., Cheylus, A., & Nazir, T. A. (2015). Temple Run : An Informative Jog Through the Brain's Word Processing Pathways. Présenté à 8ème rencontre annuelle des conférences Embodied and Situated Language (ESLP), Lyon, France.
- Aubry, M. (2015). *Intérêt de l'imagerie motrice lors de l'immobilisation* (Mémoire de Kinésithérapie). Institut Lorrain de Formation en Masso-Kinésithérapie, Nancy.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *The Behavioral and Brain Sciences*, 22(4), 577-609.
- Binder, J. R., & Desai, R. H. (2011). The neurobiology of semantic memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(11), 527-536.
- Bonnal, C., & Hillaire, J. (2014). *Entraînement du lexique chez des enfants avec paralysie cérébrale par une stimulation des représentations mentales* (Mémoire d'Orthophonie). Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon.
- Bourlon, C., Chokron, S., Bachoud-Levi, A.-C., Coubard, O., Bergeras, I., Mouliignier, A., ... Bartolomeo, P. (2009). Presentation of an assessment battery for visual mental imagery and visual perception. *Revue Neurologique*, 165(12), 1045-1054.
- Broisin, M., & Varrey-Fusco, C. (2012). *La compréhension écrite de texte en CM2 : contribution de la compréhension orale morphosyntaxique, de la gestion de l'implicite et des fonctions exécutives* (Mémoire d'Orthophonie). Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon.

-
- Campion, N., & Rossi, J.-P. (1999). Inférences et compréhension de texte. *L'année psychologique*, 99(3), 493-527.
- Chalamel, A.-L., & Gonnet, C. (2008). *Evaluer la compréhension écrite de textes chez les élèves de sixième : compétences en jeu dans la gestion de l'implicite* (Mémoire d'Orthophonie). Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon.
- Choudhury, S., Charman, T., Bird, V., & Blakemore, S.-J. (2007). Development of action representation during adolescence. *Neuropsychologia*, 45(2), 255-262.
- Christel, M., & Lefèvre, W. (2008). *La compréhension orale chez l'enfant sourd : de l'explicite à l'implicite* (Mémoire d'Orthophonie). Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon.
- Dérudet, M. (2012). *L'orthographe lexicale chez un patient atteint d'une atrophie corticale postérieure : Effets d'un entraînement basé sur les images mentales* (Mémoire d'Orthophonie). Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon.
- Dubois, M., Vial, I., & Bollon, T. (1998). Conception multimodale : quelques orientations possibles (application à un vocabulaire étranger) (p. 217-229). Présenté à Quatrième colloque hypermédias et apprentissages, Grenoble.
- Eskenazi, A. (2012). *Logique et langage - liens entre structures logico-mathématiques et langage élaboré chez l'adolescent, de 11 à 20 ans, pris en charge en orthophonie* (Mémoire d'Orthophonie). Université de Nice Sophia Antipolis, Nice.
- Fayol, M. (2003). La compréhension : évaluation, difficultés et interventions. Présenté à PIREF en vue de la conférence de consensus sur l'enseignement de la lecture à l'école primaire les 4 et 5 décembre 2003, Paris, France.
- Fayol, M. (2004). La lecture et son apprentissage. In *Les journées de l'ONL : L'évolution de l'enseignement de la lecture en France, depuis dix ans* (MENESR, p. 117). Paris.
- Fishburne, G.-J. (1990). Le développement de la capacité d'imagerie visuelle et kinesthésique chez l'enfant. *STAPS - The international journal of sport science and physical education*, 11(22), 11-16.
- Flanagan, J. R., Vetter, P., Johansson, R. S., & Wolpert, D. M. (2003). Prediction Precedes Control in Motor Learning. *Current Biology*, 13, 146-150.

-
- Frak, V., Paulignan, Y., & Jeannerod, M. (2001). Orientation of the opposition axis in mentally simulated grasping. *Experimental Brain Research*, 136(1), 120-127.
- Funk, M., Brugger, P., & Wilkening, F. (2005). Motor processes in children's imagery : the case of mental rotation of hands. *Developmental Science*, 8(5), 402-408.
- Gabbard, C. (2009). Studying action representation in children via motor imagery. *Brain and Cognition*, 71(3), 234-239.
- Gabbard, C., Caçola, P., & Bobbio, T. (2011). The ability to mentally represent action is associated with low motor ability in children : a preliminary investigation. *Child : Care, Health and Development*, 38(3), 390-393.
- Gilbert, E., & Poulot, E. (2015). *Entraînement intensif et ciblé sur la compréhension inférentielle d'enfants dysphasiques : étude de cas multiples* (Mémoire d'Orthophonie). Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon.
- Grangeon, M. (2009). Effets de l'imagerie motrice dans la rééducation de lésions du système nerveux central et des atteintes musculo-articulaires. *Science & Motricité*, 2(67), 9-38.
- Grebot, E. (1994). *Images mentales et stratégies d'apprentissage - Explications et critique ; les outils modernes de la gestion mentale*. Paris: ESF Editeur.
- Guarnera, M., Commodari, E., & Peluso, C. (2013). Rotation and generation of mental imagery in children with specific language impairment. *Acta Paediatrica*, 102(5), 539-543.
- Guilbert, J., Jouen, F., Lehalle, H., & Molina, M. (2013). Motor imagery and simulation of action in children. *Année Psychologique*, 113(3), 459-488.
- Jeannerod, M. (1994). The Representing Brain - Neural Correlates of Motor Intention and Imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17(2), 187-202.
- Jeannerod, M. (1995). Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia*, 33(11), 1419-1432.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action : a unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, 14(1 Pt 2), 103-109.
- Jensen, E. (2005). *Teaching with the Brain in Mind, Revised* (Revised 2nd edition). Alexandria: Association for Supervision & Curriculum Deve.

-
- Joffe, V. L., Cain, K., & Marić, N. (2007). Comprehension problems in children with specific language impairment: does mental imagery training help? *International Journal of Language & Communication Disorders / Royal College of Speech & Language Therapists*, 42(6), 648-664.
- Karypidis, C. (2010). *Asymétries en perception et traitement de bas niveau : traces auditives, mémoire à court terme et représentations mentale* (Thèse de Doctorat). Université Paris 3 - Sorbonne Nouvelle, Paris.
- Keogh, R., & Pearson, J. (2011). Mental Imagery and Visual Working Memory. *PLoS ONE*, 6(12), 29221.
- Kosslyn, S. M. (1980). Les images mentales. *La recherche*, 11(108), 156-168.
- Kosslyn, S. M., Margolis, J. A., Barrett, A. M., Goldknopf, E. J., & Daly, P. F. (1990). Age differences in imagery abilities. *Child Development*, 61(4), 995-1010.
- La Garanderie, A. (de). (1982). *Pédagogie des moyens d'apprendre : Les enseignants face aux profils pédagogiques* (le Centurion). Paris.
- La Garanderie, A. (de). (1987). *Comprendre et imaginer : les gestes mentaux et leur mise en œuvre*. Bayard Jeunesse.
- Lameyre, X. (1993). *L'imagerie mentale*. Paris, France: Presses Universitaires de France - PUF.
- Larousse, É. (s. d.). Dictionnaire français - Dictionnaires Larousse français monolingue et bilingues en ligne. Consulté à l'adresse <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais>
- Lebon, F. (2008). Imagerie motrice et activité électromyographique. *Science & Motricité*, (64), 11-34.
- Lenfant, M., Thibault, M.-P., & Helloin, M.-C. (2006). L'évaluation de la compréhension chez les 3-15 ans : une approche axée sur l'interprétation.pdf. *Glossa*, 95, 6-22.
- Lenfant, M., Thibault, M.-P., & Helloin, M.-C. (2009). *EXALang 11-15 : La batterie informatisée pour l'examen du langage oral, du langage écrit et des compétences transversales chez le collégien*. (Ortho Motus).
- Lewis, M., Vance, A., Maruff, P., Wilson, P., & Cairney, S. (2008). Differences in motor imagery between children with developmental coordination disorder with and without the combined type of ADHD. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 50(8), 608-612.

-
- Linkenauger, S. A., Lerner, M. D., Ramenzoni, V. C., & Proffitt, D. R. (2012). A Perceptual-Motor Deficit Predicts Social and Communicative Impairments in Individuals With Autism Spectrum Disorders : Perceptual-motor deficit in autism. *Autism Research*, 5(5), 352-362.
- Lotze, M., & Halsband, U. (2006). Motor imagery. *Journal of Physiology, Paris*, 99(4-6), 386-395.
- Maeder, C. (2013). *Réflexion Lecture* (Ortho Edition). Isbergues.
- Malouin, F., & Richards, C. L. (2010). Mental practice for relearning locomotor skills. *Physical Therapy*, 90(2), 240- 251.
- Marichy, C. (2008). *Etudes des compétences en compréhension orale de jeunes scolarisés en difficulté face à l'écrit* (Mémoire d'Orthophonie). Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon.
- Molina, M., Tijus, C., & Jouen, F. (2008). The emergence of motor imagery in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 99(3), 196- 209.
- Mulder, T., Hochstenbach, J. B. H., Van Heuvelen, M. J. G., & den Otter, A. R. (2007). Motor imagery : the relation between age and imagery capacity. *Human Movement Science*, 26(2), 203- 211.
- Nazir, T. A., Jeannerod, M., & Hauk, O. (2008). The role of sensory-motor systems for language understanding. *Journal of Physiology*, 102(1-3), 1 - 3.
- Noten, M., Wilson, P., Ruddock, S., & Steenbergen, B. (2014). Mild impairments of motor imagery skills in children with DCD. *Research in Developmental Disabilities*, 35(5), 1152- 1159.
- Oakhill, J., & Patel, S. (1991). Can imagery training help children who have comprehension problems.pdf. *Journal of Research in Reading*, 14(2), 106- 115.
- Pacherie, E. (2003). Article « imagerie mentale ». In *Grand Dictionnaire de la Philosophie* (Bordas). Paris.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1978). *La psychologie de l'enfant* (Vol. 369). Paris: Presses Universitaire de France.
- Pulvermüller, F., Hauk, O., Nikulin, V. V., & Ilmoniemi, R. J. (2005). Functional links between motor and language systems. *The European Journal of Neuroscience*, 21(3), 793- 797.
- Rakotomalala, R. (2011). *Tests de Normalité : Techniques empiriques et tests statistiques*.

-
- Sablayrolles, H., & Sevault, C. (2012). *Les difficultés de compréhension écrite de texte : profil linguistique et cognitif d'un groupe d'enfants « faibles compreneurs » de CM2* (Mémoire d'Orthophonie). Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon.
- Steenbergen, B., Van Nimwegen, M., & Crajé, C. (2007). Solving a mental rotation task in congenital hemiparesis : motor imagery versus visual imagery. *Neuropsychologia*, 45(14), 3324- 3328.
- Stevens, J. A. (2005). Interference effects demonstrate distinct roles for visual and motor imagery during the mental representation of human action. *Cognition*, 95(3), 329- 350.
- Trocmé-Fabre, H. (1994). Les Images M mentales. In *J'apprends donc je suis* (Organisation, p. 78- 82). Paris, France.
- Vaivre-Douret, L. (2014). Developmental coordination disorders : State of art. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 44(1), 13- 23.
- Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., Ingster-Moati, I., Boddaert, N., Cabrol, D., Dufier, J.-L., ... Falissard, B. (2011). Subtypes of developmental coordination disorder : research on their nature and etiology. *Developmental Neuropsychology*, 36(5), 614- 643.
- Van Elk, M., Van Schie, H. T., Zwaan, R. A., & Bekkering, H. (2010). The functional role of motor activation in language processing : motor cortical oscillations support lexical-semantic retrieval. *NeuroImage*, 50(2), 665- 677.
- Veronneau, L. (2013). *Classification logique et définition de mots en langage oral, existe-t-il un lien, étude réalisée chez des enfants de sixième* (Mémoire d'Orthophonie). Université de Poitiers, Poitiers.
- Williams, J., Thomas, P. R., Maruff, P., & Wilson, P. H. (2008). The link between motor impairment level and motor imagery ability in children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 27(2), 270- 285.
- Wilson, P. H., Ruddock, S., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Blank, R. (2013). Understanding performance deficits in developmental coordination disorder : a meta-analysis of recent research. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 55(3), 217- 228.

-
- Wolpert, D. M. (1997). Computational approaches to motor control. *Trends in Cognitive Sciences*, 1(6), 209- 216.
- Wolpert, D. M., & Flanagan, J. R. (2001). Motor prediction. *Current Biology*, 11(18), R729- 732.
- Zabalia, M. (2002). Action et imagerie mentale chez l'enfant. *L'année psychologique*, 102(3), 409- 422.
- Zeman, A., Dewar, M., & Della Sala, S. (2015). Lives without imagery – Congenital aphantasia. *Cortex*, 73, 378- 380.
- Zeman, A. Z. J., Della Sala, S., Torrens, L. A., Gountouna, V.-E., McGonigle, D. J., & Logie, R. H. (2010). Loss of imagery phenomenology with intact visuo-spatial task performance : A case of 'blind imagination'. *Neuropsychologia*, 48(1), 145- 155.
- Zwicker, J. G., Missiuna, C., Harris, S. R., & Boyd, L. A. (2012). Developmental coordination disorder: A review and update. *European Journal of Paediatric Neurology*, 16(6), 573- 581.

ANNEXES

Annexe I : Recrutement de l'échantillon



Figure 25 : Prospectus distribué dans les collèges et à l'Institut des Sciences Cognitives

Tableau 6 : Caractéristiques des participants

Participants	Age (en mois)	Sexe (1/M)	Latéralité (D/G)	Sport (O/N)
s3	133	F	D	O
s5	171	F	D	O
s6	150	F	D	N
s7	149	F	D	N
s8	156	F	D	O
s9	140	M	D	O
s10	168	F	D	O
s12	133	M	D	O
s13	148	F	D	N
s14	146	M	D	O
s15	145	F	D	O
s16	153	M	D	O
s17	152	M	D	O
s19	182	M	D	O
s20	152	M	D	O
s21	146	F	D	O
s22	141	M	D	O
s23	175	M	G	O
s24	161	F	G	O
s25	147	M	D	O
s26	166	F	D	O
s27	163	M	D	O
s28	157	F	D	O
s29	145	F	D	O
s30	165	M	D	O
s31	134	F	D	O
s32	152	M	D	O
s33	164	M	D	O
s34	141	M	D	O
s35	160	F	D	O

Annexe II : Consignes données aux participants

Toutes les consignes étaient données oralement par l'expérimentateur avant de débuter la tâche.

PROTOCOLE « LINKENAUGER »

Tâche d'accessibilité

« Sur cette table, je vais déplacer un cylindre devant toi, des fois en avant, des fois en arrière. Tu vas garder le menton bien calé dans la mentonnière, la main droite dans cette position, et dire stop quand tu penses pouvoir l'attraper (s'il avance) ou ne plus pouvoir l'attraper (s'il recule). Tu imagines le mouvement de ton bras droit, sans jamais faire le geste pour de vrai. L'important, c'est de toujours imaginer le même mouvement. Quand tu auras dit stop, tu fermeras les yeux puis tu décaleras ta main droite sur le côté pour que je puisse mesurer la distance entre le cylindre et la mentonnière. Attends bien que je te dise de les rouvrir. On va faire ça plusieurs fois. »

Tâche de prise

« Tu gardes la même position, le menton bien calé et la main droite dans la mentonnière. De la même façon, tu ne fais aucun mouvement en vrai, tu les imagines. Je vais agrandir ou rétrécir le bloc devant toi, tu dois me dire stop quand tu penses pouvoir l'attraper et le soulever. Attention, tu dois pouvoir le prendre entre le pouce et le majeur. »

Tâche d'ouverture

« Tu as ici deux fentes. Celle du haut glisse sur celle du bas, ce qui permet d'agrandir ou de refermer l'espace. Je vais monter puis descendre doucement la fente, et tu me diras stop quand tu penses que c'est le plus petit espace dans lequel tu peux passer ta main en frôlant les bords. Attention tu ne fais toujours aucun mouvement, tu imagines seulement. On commencera avec la main à plat, puis on finira en la mettant debout sur la tranche, comme ça. Garde bien les doigts serrés, même le pouce. On va faire plusieurs répétitions. »

PROTOCOLE « FRAK »

Tâche d'entraînement

« Tu as ici un cylindre rempli d'eau. Tu vas devoir le prendre entre le pouce et l'index, et le verser dans cet autre cylindre, de cette manière, puis le replacer à sa position d'origine. Tu vas pouvoir t'entraîner quatre fois. »

Tâche principale

« Sur cet écran, un cercle va apparaître, de la même taille que le cylindre. Les deux petits traits indiquent l'endroit où tu dois mettre ton pouce et ton index pour prendre le cylindre et réaliser la même manipulation que précédemment. Plusieurs cercles vont apparaître, et la position des deux traits va varier, proposant ainsi différents axes de prise. Tu devras imaginer faire le geste sur lequel tu t'es entraîné, et dire si tu as trouvé la prise facile, difficile ou impossible, en appuyant sur ces touches. »

PROTOCOLE « DEFINITIONS »

« Je vais te donner oralement des définitions de mots simples. Par exemple, « l'objet rond et jaune qui brille dans le ciel la journée est le soleil ». Tu devras me dire si la définition que tu as entendue est correcte ou incorrecte. Il y a deux listes de soixante définitions chacune, on fera l'épreuve des énigmes entre les deux. Tu prends le temps que tu veux pour me répondre, tu peux aussi te corriger si tu le souhaites, mais écoute bien car je ne pourrai pas répéter la phrase. »

PROTOCOLE « ENIGMES »

« Maintenant, tu vas devoir résoudre des énigmes. Pour cela, tu as des indices qui vont apparaître un par un. C'est toi qui décides de les faire apparaître en appuyant sur cette touche. Si le premier indice ne te suffit pas pour trouver l'énigme, tu peux faire apparaître le suivant. Quand tu as trouvé, tu cliques sur « j'ai trouvé » et tu notes ta réponse au clavier. Ce sont des lieux ou des personnages réels qu'il faut deviner, comme un médecin ou une patinoire, le plus rapidement possible et avec un minimum d'indices. »

Annexe III : Listes des définitions

Les 240 définitions sont numérotées de 1 à 240 au sein des quatre listes. En italique, nous retrouvons les énoncés incorrects. Le mot cible est présenté en gras, en fin de définition.

LISTE 1

52. Une capacité naturelle à pressentir ou percevoir quelque chose est un **instinct**
10. *Une allure précipitée constitue **la lenteur***
19. Des outils utilisés par les coiffeurs pour raccourcir les cheveux longs sont **des ciseaux**
36. *Un mammifère à groin et à sabots, dont la queue est plumée, est **un cochon***
41. *Un mammifère ruminant à grand bec, élevé pour sa production de laine et de viande est **un mouton***
47. La connaissance que chacun a de son existence et de celle du monde extérieur est **la conscience**
17. Un légume orange dont la racine, plus ou moins allongée, est comestible, est **une carotte**
56. Un chagrin, une désolation d'avoir fait ou de n'avoir pas fait quelque chose est **un regret**
33. *Une plante épineuse qui pousse dans les régions arctiques est **un cactus***
26. Un mammifère à queue touffue, au museau pointu et au pelage roux est **un renard**
57. L'information qui se répand et dont l'origine est inconnue ou incertaine est **une rumeur**
44. *Un petit rongeur au pelage gris, prédateur des oiseaux et vivant dans les champs est **une souris***
60. Un jugement, une sentence qui déclare l'accusé coupable ou non est **un verdict**
49. Un groupe de personnes ayant certaines qualités valorisées socialement constitue **une élite**
39. *Une région articulaire située à la jonction du pied et de la jambe constitue **le genou***
25. Une semelle utilisée pour avancer sur un parquet afin de ne pas le salir est **un patin**
30. Une plante bulbeuse à grande et belle fleur solitaire en forme de vase est **une tulipe**
23. Une grande céréale formée d'un épi contenant de petits grains jaunes est **un maïs**
37. *Un morceau de tissu attaché à un bâton, utilisé pour s'essuyer la peau est **un drapeau***
13. *Une œuvre originale préservée pendant plusieurs années est **une réplique***
27. Un conifère habituellement décoré pour Noël est **un sapin**
50. Un objet transmis à une personne par le biais des services postaux est **un envoi**

-
54. Le stade ou le degré atteint dans un domaine est **un niveau**
24. Un bateau de grande taille destiné à la navigation en mer est **un navire**
45. *Un bagage rectangulaire, fait pour être porté à la main quand on fait les courses, est une valise*
7. *Un sentiment de honte ou une satisfaction de soi affaiblie constitue la fierté*
18. Un objet en cuir ou en tissu, destiné à habiller ou à protéger le pied est **une chaussure**
20. Les astres qui brillent la nuit dans le ciel sont **des étoiles**
1. *Un acte signifiant des retrouvailles après une séparation est un adieu*
8. *Le fait de cacher ce que l'on pense à cause du jugement d'autrui est la franchise*
4. *Le fait d'imposer des choses à quelqu'un est un dilemme*
46. Une grande inquiétude née du sentiment d'une menace prochaine ou immédiate est **une angoisse**
22. Un oiseau rapace à plumes, vivant la nuit et dormant le jour est **un hibou**
11. *Le fait de pouvoir se rappeler presque tous les évènements de sa vie est un oubli*
5. *Le fait d'attendre avec pessimisme la réalisation de quelque chose constitue l'espoir*
58. Le fait de porter assistance ou secours est **un soutien**
29. Le mâle de la vache, capable de se reproduire est **un taureau**
40. *Un animal à grandes oreilles et à queue en tire-bouchon est un lapin*
48. Une référence qui permet de juger, d'estimer et de définir quelque chose est **un critère**
9. *Un ordre similaire à un autre constitue son inverse*
3. *L'augmentation d'une grandeur ou d'une puissance est un déclin*
34. *Un fruit rouge et sucré, contenant un noyau, et poussant dans le sol est une cerise*
51. L'ensemble des dimensions d'un objet est **un format**
59. Un arrêt, une attente angoissée de ce qui va se produire est **un suspens**
32. *Un objet de forme cubique, utilisé dans les sports d'équipe comme le football est un ballon*
38. *Un petit animal caractérisé par son aptitude à produire et à filer la soie est une fourmi*
43. *Un animal marin aux dents pointues et inoffensif est un requin*
55. Un engagement que l'on prend en jurant quelque chose est **une promesse**
2. *Une idée originale inspirée par autrui est un cliché*
14. *Une grande hâte, une rapidité extrême voire excessive constitue la sagesse*
53. Un comportement qui indique à quelqu'un qu'on a l'intention de lui faire du mal est **une menace**
42. *Un oiseau marin noir et blanc des régions tropicales, aux pattes palmées est un pingouin*

-
- 21. Un fruit rouge formé de nombreux petits grains est **une framboise**
 - 12. *L'absence de développement ou un retour à un stade antérieur est le progrès*
 - 15. *Une certitude sur l'authenticité d'une chose est un soupçon*
 - 6. *L'aspect désavantageux ou négatif de quelque chose est une faveur*
 - 31. *Un objet opaque et sombre permettant d'éclairer une pièce est une ampoule*
 - 35. *Un fruit rouge, de forme ovale, dont la pulpe contient un jus acide est un citron*
 - 16. Une brosse fixée à un long manche, utilisée pour nettoyer le sol est **un balai**
 - 28. L'ensemble des os du corps de l'homme et des animaux est **un squelette**

LISTE 2

- 72. *La diminution progressive d'une force par dispersion ou par effacement constitue un renfort*
- 113. Le fait d'inventer, de modifier une vérité est **un mensonge**
- 111. La répétition d'un évènement dans une période déterminée est **une fréquence**
- 119. Un contrat, un accord entre deux ou plusieurs pays et conclu par écrit est **un traité**
- 88. Un instrument pour écrire avec de l'encre est **un stylo**
- 85. Un animal aquatique, respirant avec des branchies et ayant des nageoires est **un poisson**
- 68. *Un amour froid et sans intérêt est une fureur*
- 66. *Une histoire basée sur des détails vrais dont on se souvient est une fiction*
- 90. Un relief montagneux crachant lave et magma lors des éruptions est **un volcan**
- 97. *Un bâtiment de pierre, destiné à regrouper les Hommes pour étudier est une église*
- 107. Le fait d'avoir le pouvoir de diriger quelqu'un ou quelque chose est **un contrôle**
- 81. Un grand mammifère de la savane africaine, au cou très long est **une girafe**
- 83. Un outil de bricolage avec une tête et un manche, permettant d'enfoncer un clou est **un marteau**
- 96. *Un mammifère marin à deux jambes, connu pour ses facultés sociables est un dauphin*
- 63. *Le fait d'avoir la liberté d'agir selon ses propres choix constitue le destin*
- 106. Le fait de soumettre quelque chose par la force et par les armes est **une conquête**
- 116. Une demande adressée à quelqu'un est **une requête**
- 86. Une machine de science-fiction à l'aspect humain, capable de bouger est **un robot**
- 77. Un bâtiment du Moyen-âge, défendu par un fossé, des murailles et des tours est **un château**

-
104. Un instrument de cuivre qu'on peut gratter pour créer de la musique est **une trompette**
109. Une alliance ou un accord entre deux pays est **une entente**
82. Un crustacé rouge/orangé à carapace dure et à grandes pinces est **un homard**
114. La qualité de quelque chose ou de quelqu'un qui provoque l'admiration est **un prestige**
94. Un gros rouleau constitué de morceaux de cheveux, destiné à être fumé est **un cigare**
61. L'ensemble des caractères météorologiques définissant le climat d'un pays est **une ambiance**
118. La conservation, le maintien de la vie lors de périodes difficiles constitue **la survie**
78. Un animal qu'on peut monter, disposant de sabots et d'une crinière est **un cheval**
71. L'incapacité à attendre quelque chose constitue **la patience**
99. Un amphibiens des profondeurs de l'océan, capable de ramper est **une grenouille**
95. Une barrière de paille entourant un terrain est **une clôture**
105. Un véhicule comportant quatre roues et une selle, et avançant grâce à des pédales est **un vélo**
92. Un bâtonnet de cire comportant une mèche, et dont la combustion est toxique est **une bougie**
102. Un fruit à coquille dure et sous forme de grappe est **un raisin**
67. Le domaine qui concerne la création de matières premières constitue **la finance**
70. Ce qui est concret et réel, ce qui est connu et compris constitue **un mystère**
112. Une grossièreté qui blesse, qui déplait est **une insulte**
62. Le fait d'avoir un sérieux doute dans la vérité d'une doctrine est **une croyance**
87. Un produit de charcuterie de forme longue et allongée, utilisé pour les barbecues est **une saucisse**
69. La qualité morale qui invite à mépriser le droit des autres est **la justice**
110. Une période de l'Histoire marquée par un évènement particulier est **une époque**
64. Un sentiment d'émerveillement dû à un évènement très palpitant est **un ennui**
91. Un animal marin aux oreilles pointues et à grande queue est **une baleine**
108. Le fait de vouloir obtenir quelque chose est **un désir**
93. Un gros rongeur caractérisé par ses pattes palmées, sa queue bouclée et poilue est **un castor**
98. Une arme à une seule corde, courbée et utilisant des flèches est **un fusil**
115. Un pourcentage, un coefficient ou un ratio est **un quota**
117. Un châtiment infligé par une autorité pour le non respect d'un règlement est **une sanction**
89. Un reptile à carapace écailleuse et à bec corné, connu pour son mouvement très lent est **une tortue**

-
75. Un résultat décevant dans une épreuve sportive ou au travail est **un succès**
76. Un oiseau qui peut nager et voler, au cou court, au bec aplati et aux pattes palmées est **un canard**
73. Le fait de pardonner quelqu'un qui nous a fait du mal est **une revanche**
74. Une réjouissance publique destinée à commémorer un fait marquant est **un scandale**
79. Un gros légume orange pouvant être décoré pour Halloween est **une citrouille**
101. Un fruit ovale à noyau, blanc ou rouge, dont on extrait une huile est **une olive**
65. Un sentiment neutre que l'on porte sur quelqu'un est **une estime**
120. Une capacité à faire du bien, l'efficacité de quelque chose est **une vertu**
103. Les poils se trouvant à la base inférieure des paupières s'appellent **les sourcils**
80. Une grande étendue de terrain, couverte d'arbres est **une forêt**
100. L'ensemble des poils qui poussent sous la lèvre inférieure chez l'homme constitue **une moustache**
84. Un bulbe rond et blanc, utilisé en cuisine et qui fait pleurer lorsqu'on le coupe est **un oignon**

LISTE 3

133. L'abandon d'un ami quand il a besoin d'aide constitue **un soutien**
179. La qualité de quelqu'un qui agit avec prudence et modération est **la sagesse**
123. L'ensemble des objets n'ayant aucun aspect commun entre eux constitue **un critère**
132. Une histoire ancienne mais réelle est **une rumeur**
155. Un astre terne dans le ciel la nuit et qui produit de la chaleur est **une étoile**
145. Un animal à grandes oreilles et à queue en pompon est **un lapin**
167. Une sorte de préjugé, de formulation banale est **un cliché**
122. L'état cérébral qui implique une perte de connaissance est **la conscience**
165. Une plante bulbeuse et nuisible aux cultures est **une tulipe**
156. Un fruit jaune comestible, formé de nombreux petits grains est **une framboise**
131. Une douleur causée par une blessure physique ou par l'absence de soins médicaux est **un regret**
141. Un mammifère à groin et à sabots, dont la queue est en tire-bouchon est **un cochon**
166. Un acte signifiant une séparation ou une renonciation est **un adieu**
134. L'état de bonheur créé par la satisfaction d'un besoin est **le suspens**
136. Un objet transparent et lumineux permettant d'éclairer une pièce est **une ampoule**
163. L'ensemble des muscles de l'homme et des animaux constitue **le squelette**

-
174. Un changement d'ordre de plusieurs éléments constitue **un inverse**
176. Le fait de ne pas se souvenir de quelque chose est **un oubli**
180. Un doute sur l'exactitude de quelque chose est **un soupçon**
144. L'articulation entre la cuisse et la jambe constitue **le genou**
121. *Un petit chagrin qui disparaît rapidement est une angoisse*
159. *Un véhicule aérien de grande taille destiné à transporter des passagers est un navire*
140. Un fruit jaune ou vert, de forme ovale, dont la pulpe contient un jus acide est **un citron**
157. *Un mammifère volant, vivant le jour et dormant la nuit est un hibou*
142. Un tissu coloré attaché à un bâton, qu'on agite pour son appartenance à un pays est **un drapeau**
178. La copie d'un modèle original est **une réplique**
168. Une diminution d'une grandeur ou d'une puissance est **un déclin**
169. Le fait d'hésiter entre deux choses est **un dilemme**
146. Un mammifère ruminant élevé pour sa production de laine et de viande est **un mouton**
124. *Un groupe de personnes ayant une place insignifiante dans une société constitue une élite*
138. Une plante épineuse qui pousse dans les déserts est **un cactus**
127. *Une capacité apprise pendant plusieurs années pour réaliser une action constitue un instinct*
175. Une allure non précipitée et tranquille constitue **la lenteur**
137. Un objet rond ou ovale, pouvant être utilisé dans les sports comme le football est **un ballon**
130. *Le fait de partager quelque chose avec quelqu'un est une promesse*
158. *Un grand animal formé d'un épi contenant de petits grains jaunes est un maïs*
150. Un bagage de forme rectangulaire, fait pour être porté à la main lors d'un voyage est **une valise**
125. *Une histoire transmise à voix haute à une personne est un envoi*
153. *Un objet en laine ou en béton, destiné à habiller le pied est une chaussure*
143. Un insecte de petite taille, nichant en groupe sous la terre avec une reine est **une fourmi**
177. Un développement vers le mieux dans un domaine particulier est **un progrès**
160. *Une semelle utilisée pour voler sur un parquet afin de ne pas le salir est un patin*
162. *Un conifère habituellement abîmé pour Noël est un sapin*
147. Un oiseau marin noir et blanc des régions arctiques, aux pattes palmées est **un pingouin**
135. *L'ensemble organisé de principes, de règles, visant à décrire des faits est un verdict*

-
154. Des outils utilisés par les coiffeurs pour sécher les cheveux longs sont **des ciseaux**
173. Le fait de dire ce que l'on pense est **la franchise**
129. Le fait d'avoir une position stratégique pour atteindre son but constitue **un niveau**
171. Un avantage accordé à une personne est **une faveur**
148. Un animal marin dangereux aux dents pointues est **un requin**
161. Un mammifère à queue plate, au museau arrondi et au pelage roux est **un renard**
152. Une plante cultivée pour sa racine comestible de forme ronde est **une carotte**
139. Un fruit rouge et sucré contenant un noyau est **une cerise**
170. Le fait de désirer, d'attendre avec confiance la réalisation de quelque chose est **un espoir**
172. Un sentiment d'orgueil, de satisfaction de soi est **une fierté**
149. Un petit rongeur au pelage gris, qui vit dans les champs et ayant peur des chats est **une souris**
126. L'ensemble des matériaux constituant un objet est **un format**
164. Le mâle de la brebis, capable de se reproduire est **le taureau**
151. Un faisceau de plumes fixé à un long manche et utilisé pour peindre est **un balai**
128. Le fait d'avoir un comportement rassurant envers un ennemi est **une menace**

LISTE 4

207. Un fruit sous forme de grappe, permettant de fabriquer du vin est **un raisin**
217. Un crustacé rouge/orangé à carapace molle et à petites pinces est **un homard**
194. Un document qui autorise deux pays à entrer en guerre est **un traité**
216. Un grand mammifère ruminant des forêts européennes, au cou très long est **une girafe**
212. Une petite maison de campagne où vivent les pauvres est **un château**
225. Un relief montagneux crachant lave et magma à basse température lors des éruptions est **un volcan**
221. Une machine de science-fiction à l'aspect humain, et capable de réfléchir ou de penser est **un robot**
235. Une énigme d'ordre surnaturel, ce qui est obscur ou caché est **un mystère**
181. L'acte de résister physiquement à quelqu'un est **une conquête**
198. Un gros rongeur à pattes palmées et à la queue aplatie, qui construit des digues est **un castor**
206. Un fruit ovale à noyau, vert ou noir, dont on extrait une huile est **une olive**
184. Une compétition entre deux personnes est **une entente**

-
182. *Le fait d'agir uniquement en fonction des instructions d'autrui est le **contrôle***
223. *Un instrument utilisé pour effacer quelque chose qu'on a écrit est un **stylo***
220. *Un animal terrestre, respirant avec des branchies et ayant des nageoires est un **poisson***
233. *Une colère très violente, une rage est une **fureur***
230. *Un sentiment favorable que l'on porte pour quelqu'un est une **estime***
191. *Une question posée à soi-même **une requête***
187. *Un jugement positif porté sur une œuvre littéraire ou artistique est une **insulte***
190. *L'ensemble des frais engendrés par la production ou la distribution d'une chose est le **quota***
183. *Le fait de vendre quelque chose est un **désir***
229. *Un sentiment de lassitude due à une inactivité trop longue est un **ennui***
227. *Une confiance dans une religion, dans la vérité d'une opinion ou d'une théorie est une **croyance***
226. *L'atmosphère, climat contextuel dans lequel se trouve quelqu'un est une **ambiance***
197. *Un bâtonnet de cire comportant une mèche, qu'on met sur un gâteau d'anniversaire est une **bougie***
203. *Une arme à feu utilisée par les chasseurs est un **fusil***
195. *Un penchant particulier pour quelque chose que la religion réprouve est une **vertu***
186. *L'année au cours de laquelle un évènement s'est produit est la **fréquence***
196. *Un animal marin à fanons, à grande queue et pesant plusieurs tonnes est une **baleine***
188. *L'acte d'oublier, d'avoir un trou de mémoire est un **mensonge***
192. *Une mesure judiciaire qui annule une condamnation pénale est une **sanction***
224. *Un reptile très vif, à carapace écailleuse et à bec corné est une **tortue***
231. *Une création qui relève de l'imaginaire est une **fiction***
228. *L'ensemble des évènements de la vie commandés par une puissance supérieure constitue le **destin***
209. *Un instrument de musique où l'on souffle est une **trompette***
204. *Un amphibien capable de sauter, de nager et qui coasse est une **grenouille***
238. *Rendre la pareille à quelqu'un qui nous a fait du mal est une **revanche***
211. *Un oiseau aquatique, au cou très long, au bec pointu et aux pattes palmées est un **canard***
202. *Un lieu de culte pour les chrétiens est une **église***
232. *Le domaine qui concerne la monnaie et l'argent est la **finance***
193. *Le fait de mourir, de perdre ses fonctions vitales constitue la **survie***
234. *Le principe moral qui exige le respect du droit des autres et de l'égalité est la **justice***
-

210. Un véhicule comportant deux roues et une selle, et avançant grâce à des pédales est **un vélo**

189. *Le fait d'avoir une apparence éblouissante mais trompeuse constitue le prestige*

215. *Une grande étendue de fleurs de toutes sortes constitue une forêt*

239. Un acte ou une affaire grave, pouvant provoquer un désordre public est un **scandale**

185. *Un lieu marqué par le réchauffement climatique est une époque*

214. *Un gros légume blanc pouvant être décoré pour Halloween est une citrouille*

222. *Un produit de charcuterie de forme ronde, utilisé pour le barbecue est une saucisse*

208. Les poils au dessus de l'œil, formant un arc constituent **un sourcil**

218. *Un outil de jardinage avec une tête et un manche, permettant d'enfoncer un clou est un marteau*

205. Les poils qui poussent au dessus de la lèvre supérieure chez l'homme constituent **une moustache**

237. Un secours apporté par un groupe de personne permettant une action plus efficace est **un renfort**

236. La qualité de quelqu'un qui sait attendre avec calme constitue **la patience**

201. Un mammifère marin, excellent nageur, remarquable pour ses facultés sociables est **un dauphin**

219. *Un légume cubique, blanc, utilisé en cuisine et qui fait pleurer lorsqu'on le coupe est un oignon*

199. Un gros rouleau constitué de feuilles de tabac, destiné à être fumé est **un cigare**

240. Une réussite ou une victoire, obtenu dans un travail ou lors d'une épreuve sportive est **un succès**

200. Une barrière en bois ou en fer entourant un terrain est **une clôture**

213. *Un animal de grande taille, muni de deux sabots et d'une crinière est un cheval*

Annexe IV : Listes des énigmes

LES PERSONNAGES

PERSONNAGE 1 : LE POMPIER

On voit un homme
avec un casque qui brille.
Il est près d'un gros camion rouge
avec une échelle.
Il a un tuyau dans les mains.
Il va monter à l'échelle du camion.

PERSONNAGE 2 : LE BOUCHER

Il a un tablier blanc
tout taché de rouge.
Il tient un grand couteau dans sa main.
Devant lui, il y a un énorme morceau de
viande
et une balance.

PERSONNAGE 3 : LE GARAGISTE

Il a une combinaison bleue,
toute sale.
Il est couché sous une voiture,
avec un outil dans une main.

PERSONNAGE 4 : LE PECHEUR

Il est assis
et tient un long bâton,
avec un fil au bout.
Il le lance dans l'eau
et il ne bouge plus.

De temps en temps, il retire le fil de l'eau.

PERSONNAGE 5 : LA JOUEUSE DE TENNIS

Elle tient le manche d'un objet dans une
main.
L'objet est arrondi à l'autre bout
et a des cordes
qui forment un quadrillage
A l'aide de cet objet elle tape
dans un petit objet sphérique
qu'elle envoie au dessus d'un filet.

PERSONNAGE 6 : LE JARDINIER

Il a un tablier,
un chapeau sur la tête,
des bottes en caoutchouc.
Il tient un objet d'où sortent des filets
d'eau.
A côté de lui, il y a un objet avec un
manche
et une partie en métal.

PERSONNAGE 7 : LA SKIEUSE NAUTIQUE

Elle a deux longues planches de bois
étroites et recourbées vers le haut,
fixées à ses pieds.
Elle tient une barre reliée à une corde
attachée à un bateau à moteur.
Elle avance sur l'eau.

PERSONNAGE 8: LA CUISINIÈRE

Elle verse quelque chose de liquide
dans une poêle,
à l'aide d'une louche.
Puis, elle secoue la poêle,
et on voit quelque chose de plat et de rond
s'élever puis retomber dans la poêle.

PERSONNAGE 10: LE VIGNERON

Il a une hotte accrochée dans son dos.
Il tient des ciseaux dans une main,
et coupe des fruits
qui ont de gros grains violets ou verts.
Puis il met les fruits dans la hotte.

PERSONNAGE 9: LE PLONGEUR

Il accroche des objets cylindriques dans
son dos
et met un tuyau dans sa bouche.
Il a un masque,
de grands objets plats en caoutchouc à
ses pieds.
Il s'apprête à sauter dans l'eau.

LES LIEUX

LIEU 1 : LE CIRQUE

C'est une grande tente.

A l'intérieur sont disposés des gradins sur lesquels les spectateurs s'assoient.

Au centre et en bas, il y a un endroit circulaire, recouvert de sable.

On peut y voir des animaux sauvages, des personnes qui jonglent, qui font des tours de magie.

LIEU 2 : LA FETE FORAINE

Dans cet endroit, il y a beaucoup de bruit.

Il y a des marchands de gaufres, de crêpes, et de barbe à papa.

Il y a aussi un emplacement où des autos se tamponnent.

On voit des wagonnets qui montent et descendent à toute vitesse.

Il y a un labyrinthe avec des parois transparentes.

LIEU 3 : LA PISCINE

Il y a plusieurs bassins rectangulaires remplis d'eau.

On voit des planches à différentes hauteurs au bord de l'un d'entre eux.

Il y a deux échelles au bord de chaque bassin pour y descendre.

LIEU 4 : L'ETABLE

C'est une sorte de petite maison, mais, par terre, c'est de la terre battue, et, à certains endroits, il y a de la paille.

De petites cloisons en bois servent de séparation entre les animaux à cornes, à sabots, et à pis roses qui dorment dedans.

LIEU 5 : LA BIBLIOTHEQUE

C'est une grande pièce, dans laquelle il y a des étagères remplies de livres qui portent des étiquettes.

A l'entrée, deux cloisons magnétiques permettent de signaler les voleurs ou les étourdis.

LIEU 6 : LE TERRAIN DE FOOT

C'est un grand espace rectangulaire de pelouse verte sur laquelle sont tracées des lignes, et des cercles blancs.

A chaque bout, il y a un grand filet maintenu par des piquets.

En hauteur, il y a aussi un grand panneau, avec des lettres et des chiffres lumineux.

LIEU 7 : LE BAR

C'est une assez grande pièce,
où il y a des tables et des chaises.
Il y a aussi un comptoir assez haut,
et des tabourets hauts.
Derrière le comptoir, on voit des bouteilles,
et des manettes dorées.
Aux murs il y a des miroirs.

LIEU 8 : LE COIFFEUR

C'est une pièce où l'on trouve des
fauteuils,
avec des bacs en plastique,
accrochés à leur dossier.
De petites douches sont branchées sur
ces bacs.
Il y a aussi de gros casques,
des peignoirs,
et des serviettes.

LIEU 9 : LA STATION SERVICE

C'est un endroit en plein air.
il y a juste un très grand toit.
Dessous, il y a des gros réservoirs
avec des tuyaux
que les automobilistes introduisent
sur le côté de leurs voitures.

LIEU 10 : LA GARE

C'est un endroit très grand et très bruyant.
Il y a des panneaux d'affichages,
des annonces sonores.
Les sols sont bien lisses
et en contrebas, on voit des baguettes
métalliques
qui font comme une échelle horizontale.
De grosses machines roulent dessus.
Les gens ont presque tous des valises ou
de gros sacs.

Annexe V : Mesures préalables

Tableau 7 : Résultats aux épreuves d'EXAlang©

Participants	Compétences mnésiques (en ET)	Compétences en compréhension orale (en ET)	Compétences transversales (en ET)
s3	-1,16	-0,48	0,06
s5	0,20	0,92	1,13
s6	0,21	0,38	0,33
s7	-0,78	0,91	0,89
s8	0,16	0,92	-0,06
s9	0,39	0,00	-0,39
s10	0,87	0,08	1,13
s12	0,42	-0,96	-0,83
s13	0,15	0,15	-0,24
s14	-1,36	0,08	0,33
s15	-0,69	0,30	-0,06
s16	-0,12	0,39	1,45
s17	-0,10	0,56	0,33
s19	-0,78	-1,44	1,13
s20	0,08	1,00	-0,24
s21	-0,21	0,98	0,33
s22	0,06	-0,71	-0,39
s23	1,16	0,92	0,51
s24	1,16	0,30	-0,10
s25	-0,15	-1,91	-0,24
s26	-0,42	-0,15	1,13
s27	-0,37	-1,60	-0,74
s28	-0,97	-1,65	1,30
s29	-1,05	-1,27	-1,92
s30	0,15	0,21	1,30
s31	1,36	0,47	0,51
s32	0,08	-1,11	-1,92
s33	-1,30	-0,21	1,30
s34	-1,03	-0,59	-0,39
s35	-0,13	-0,74	1,30

Annexe VI : Protocole « Linkenauer »

Tableau 8 : Résultats de la tâche d'accès

Participants	Moyenne des estimations (en cm)	Ecart type de la moyenne (en cm)	Mesure réelle (en cm)	Différence estimations et mesure réelle (en cm)	Ecart type de la différence (en cm)
s3	47,65	(7,29)	35,50	12,15	(8,59)
s5	60,10	(3,90)	45,00	15,10	(10,68)
s6	64,50	(4,64)	38,00	26,50	(18,74)
s7	27,50	(2,37)	30,00	2,50	(1,77)
s8	31,95	(2,17)	26,00	5,95	(4,21)
s9	31,60	(3,31)	29,00	2,60	(1,84)
s10	44,70	(2,35)	44,00	0,70	(0,49)
s12	58,65	(4,47)	41,00	17,65	(12,48)
s13	49,10	(1,37)	41,50	7,60	(5,37)
s14	56,80	(3,74)	53,50	3,30	(2,33)
s15	65,25	(2,40)	44,50	20,75	(14,67)
s16	56,80	(3,33)	48,00	8,80	(6,22)
s17	60,25	(6,56)	41,00	19,25	(13,61)
s19	47,05	(2,29)	45,00	2,05	(1,45)
s20	52,10	(7,65)	49,00	3,10	(2,19)
s21	51,15	(1,67)	46,00	5,15	(3,64)
s22	42,75	(6,18)	27,00	15,75	(11,14)
s23	67,40	(4,66)	55,50	11,90	(8,41)
s24	59,90	(1,29)	46,50	13,40	(9,48)
s25	56,70	(3,43)	39,50	17,20	(12,16)
s26	29,85	(2,17)	25,50	4,35	(3,08)
s27	47,65	(5,21)	36,50	11,15	(7,88)
s28	43,05	(5,01)	38,00	5,05	(3,57)
s29	31,10	(5,51)	43,50	12,40	(8,77)
s30	50,05	(6,13)	50,50	0,45	(0,32)
s31	46,20	(4,64)	41,00	5,20	(3,68)
s32	65,05	(4,33)	50,50	14,55	(10,29)
s33	39,50	(3,25)	38,00	1,50	(1,06)
s34	33,70	(1,51)	35,00	1,30	(0,92)
s35	39,60	(4,01)	26,50	13,10	(9,26)

Tableau 9 : Résultats de la tâche de prise

Participants	Moyenne des estimations (en cm)	Ecart type de la moyenne (en cm)	Mesure réelle (en cm)	Différence estimations et mesure réelle (en cm)	Ecart type de la différence (en cm)
s3	14,25	(0,35)	14,50	0,25	(0,18)
s5	13,80	(0,26)	18,00	4,20	(2,97)
s6	14,90	(0,52)	14,00	0,90	(0,64)
s7	14,75	(0,54)	15,00	0,25	(0,18)
s8	14,15	(0,24)	15,00	0,85	(0,60)
s9	14,15	(0,34)	13,00	1,15	(0,81)
s10	14,30	(0,26)	13,50	0,80	(0,57)
s12	14,55	(0,50)	14,50	0,05	(0,04)
s13	16,20	(1,67)	13,00	3,20	(2,26)
s14	14,50	(0,24)	13,00	1,50	(1,06)
s15	13,00	(0,00)	14,00	1,00	(0,71)
s16	12,01	(0,06)	13,00	0,99	(0,70)
s17	14,65	(0,82)	14,00	0,65	(0,46)
s19	12,95	(0,44)	14,00	1,05	(0,74)
s20	15,65	(1,08)	14,50	1,15	(0,81)
s21	12,65	(0,24)	13,00	0,35	(0,25)
s22	13,61	(0,18)	14,10	0,49	(0,35)
s23	13,58	(0,74)	14,00	0,42	(0,30)
s24	13,85	(0,36)	14,00	0,15	(0,11)
s25	16,98	(0,66)	14,20	2,78	(1,97)
s26	13,60	(0,39)	14,50	0,90	(0,64)
s27	12,97	(0,21)	14,10	1,13	(0,80)
s28	13,96	(0,25)	14,50	0,54	(0,38)
s29	13,68	(0,51)	14,00	0,32	(0,23)
s30	14,68	(0,68)	14,70	0,02	(0,32)
s31	13,58	(0,23)	13,00	0,58	(0,41)
s32	13,06	(0,42)	13,60	0,54	(0,38)
s33	10,57	(0,28)	14,00	3,43	(2,43)
s34	19,88	(0,29)	14,40	5,48	(3,87)
s35	14,19	(0,46)	14,50	0,31	(0,22)

Tableau 10 : Résultats de la tâche d'ouverture

Participants	Moyenne des estimations (en cm)	Ecart type de la moyenne (en cm)	Mesure réelle (en cm)	Différence estimations et mesure réelle (en cm)	Ecart type de la différence (en cm)
s3	8,92	(0,67)	8,50	0,42	(0,29)
s5	9,92	(1,38)	9,50	0,42	(0,29)
s6	9,08	(1,16)	9,00	0,08	(0,06)
s7	9,96	(0,75)	10,00	0,04	(0,03)
s8	11,42	(1,00)	10,00	1,42	(1,00)
s9	9,42	(1,16)	8,50	0,92	(0,65)
s10	9,42	(0,67)	8,00	1,42	(1,00)
s12	9,42	(1,44)	9,00	0,42	(0,29)
s13	11,42	(1,24)	8,00	3,42	(2,42)
s14	9,67	(1,23)	9,00	0,67	(0,47)
s15	10,42	(1,59)	9,00	1,42	(1,00)
s16	8,67	(1,07)	9,00	0,33	(0,24)
s17	10,50	(1,31)	10,00	0,50	(0,35)
s19	10,42	(0,79)	10,50	0,08	(0,06)
s20	10,67	(2,02)	10,00	0,67	(0,47)
s21	7,96	(0,81)	9,00	1,04	(0,74)
s22	9,67	(1,07)	9,00	0,67	(0,47)
s23	9,33	(1,37)	10,00	0,67	(0,47)
s24	9,50	(1,31)	9,00	0,50	(0,35)
s25	9,17	(1,11)	8,50	0,67	(0,47)
s26	10,17	(0,72)	10,00	0,17	(0,12)
s27	9,38	(0,71)	9,50	0,13	(0,09)
s28	10,75	(1,06)	10,00	0,75	(0,53)
s29	8,75	(2,02)	9,00	0,25	(0,18)
s30	12,75	(0,97)	11,00	1,75	(1,24)
s31	8,58	(1,10)	9,00	0,42	(0,29)
s32	10,00	(1,04)	10,00	0,00	(0,00)
s33	10,33	(0,89)	9,00	1,33	(0,94)
s34	10,00	(1,60)	8,50	1,50	(1,06)
s35	9,88	(1,05)	9,00	0,88	(0,62)

Annexe VII : Protocole « Frak »

Tableau 11 : Résultats de la tâche d'entraînement

Participants	Temps de réponse par axe de prise					
	-22°	-10°	0°	22°	45°	56°
s3	9246	6053	5180	3540	3415	3362
s5	2079	1756	1998	858	1484	801
s6	5974	5345	4770	3105	2858	2291
s7	2896	2094	2460	2353	1240	1406
s8	1661	1860	2069	1406	1009	898
s9	2233	2681	4290	2571	3695	3410
s10	4106	4082	3436	3207	2873	2455
s12	9708	8907	10119	10243	10274	11721
s13	8997	8403	8757	8179	6890	7232
s14	2574	2237	2389	1755	2198	2030
s15	4249	3858	4035	2308	3163	2930
s16	3577	2719	3667	3097	2755	3089
s17	3184	2363	2368	2887	2763	1367
s19	9915	7669	6885	6392	5897	5860
s20	4758	2896	4323	2142	2487	1740
s21	5505	3459	3593	1958	2102	1721
s22	6504	7389	8425	6629	5612	4495
s23	1758	1876	1956	1583	1988	1205
s24	1258	1449	1694	2092	1617	1227
s25	1578	1843	2164	2002	1705	1327
s26	4826	4728	2923	5294	3951	5356
s27	4198	4345	3647	2931	2771	3161
s28	2220	1829	1292	2066	1427	1410
s29	2687	2655	1970	1693	1001	1010
s30	2508	2358	2027	1795	1584	1150
s31	2669	1974	2640	1545	1569	1152
s32	8290	6759	6869	5230	4841	6797
s33	2442	3257	2626	2931	2389	1899
s34	2173	1922	2196	1171	1175	1358
s35	3488	3654	3147	2418	1483	1288

Tableau 12 : Etablissement du paramètre « score en imagerie motrice »

Participants	Temps de réponse maximum (en msec)	Temps de réponse minimum (en msec)	Score en imagerie motrice
s3	5180	3362	0,21
s5	1998	801	0,43
s6	4770	2291	0,35
s7	2460	1240	0,33
s8	2069	898	0,39
s9	4290	2571	0,25
s10	3436	2455	0,17
s12	10274	10119	0,01
s13	8757	6890	0,12
s14	2389	1755	0,15
s15	4035	2308	0,27
s16	3667	2755	0,14
s17	2887	1367	0,36
s19	6885	5860	0,08
s20	4323	1740	0,43
s21	3593	1721	0,35
s22	8425	4495	0,30
s23	1988	1205	0,25
s24	2092	1227	0,26
s25	2164	1327	0,24
s26	5356	2923	0,29
s27	3647	2771	0,14
s28	2066	1292	0,23
s29	1970	1001	0,33
s30	2027	1150	0,28
s31	2640	1152	0,39
s32	6869	4841	0,17
s33	2931	1899	0,21
s34	2196	1171	0,30
s35	3147	1288	0,42

Annexe VIII : Protocole « Définitions »

Tableau 13 : Résultats à l'épreuve des définitions

Participants	Bonnes réponses en mots de forte imagerie (en %)	Bonnes réponses en mots de faible imagerie (en %)	Bonnes réponses totales (en %)
s3	78	57	68
s5	97	93	95
s6	80	80	80
s7	93	88	91
s8	92	95	93
s9	87	52	69
s10	82	78	80
s12	67	67	67
s13	73	67	70
s14	77	85	81
s15	70	82	76
s16	78	87	83
s17	98	93	96
s19	80	57	68
s20	90	92	91
s21	93	88	91
s22	82	80	81
s23	98	92	95
s24	82	87	84
s25	73	58	66
s26	82	85	83
s27	70	70	70
s28	72	77	74
s29	77	52	64
s30	77	73	75
s31	92	87	89
s32	80	78	79
s33	83	75	79
s34	72	73	73
s35	83	78	81

Tableau 14 : Etablissement du paramètre « sensibilité » pour les mots de haute imagerie

Participants	Détections correctes (/30)		Fausses reconnaissances (/30)		Sensibilité de mots de haute imagerie
	Score brut	Score normalisé	Score brut	Score normalisé	
s3	30,00	1,00	13,00	0,43	0,89
s5	29,00	0,97	1,00	0,03	0,99
s6	26,00	0,87	3,00	0,10	0,94
s7	29,00	0,97	3,00	0,10	0,97
s8	29,00	0,97	4,00	0,13	0,96
s9	29,00	0,97	7,00	0,23	0,93
s10	29,00	0,97	10,00	0,33	0,90
s12	26,00	0,87	16,00	0,53	0,78
s13	30,00	1,00	16,00	0,53	0,86
s14	27,00	0,90	11,00	0,37	0,86
s15	29,00	0,97	17,00	0,57	0,84
s16	29,00	0,97	12,00	0,40	0,88
s17	30,00	1,00	1,00	0,03	0,99
s19	28,00	0,93	10,00	0,33	0,89
s20	30,00	1,00	6,00	0,20	0,95
s21	27,00	0,90	2,00	0,07	0,95
s22	27,00	0,90	8,00	0,27	0,89
s23	29,00	0,97	0,00	0,00	0,99
s24	30,00	1,00	11,00	0,37	0,90
s25	23,00	0,77	9,00	0,30	0,82
s26	28,00	0,93	9,00	0,30	0,89
s27	24,00	0,80	12,00	0,40	0,79
s28	30,00	1,00	17,00	0,57	0,85
s29	30,00	1,00	14,00	0,47	0,88
s30	29,00	0,97	13,00	0,43	0,88
s31	29,00	0,97	4,00	0,13	0,96
s32	29,00	0,97	11,00	0,37	0,89
s33	29,00	0,97	9,00	0,30	0,91
s34	30,00	1,00	17,00	0,57	0,85
s35	28,00	0,93	8,00	0,27	0,90

Tableau 15 : Etablissement du paramètre « sensibilité » pour les mots de basse imagerie

Participants	Détections correctes (/30)		Fausses reconnaissances (/30)		Sensibilité de mots de basse imagerie
	Score brut	Score normalisé	Score brut	Score normalisé	
s3	25,00	0,83	21,00	0,70	0,65
s5	30,00	1,00	4,00	0,13	0,96
s6	21,00	0,70	8,00	0,27	0,80
s7	25,00	0,83	2,00	0,07	0,93
s8	29,00	0,97	2,00	0,07	0,97
s9	20,00	0,67	19,00	0,63	0,54
s10	27,00	0,90	10,00	0,33	0,87
s12	25,00	0,83	13,00	0,43	0,80
s13	25,00	0,83	15,00	0,50	0,76
s14	27,00	0,90	7,00	0,23	0,90
s15	26,00	0,87	7,00	0,23	0,89
s16	27,00	0,90	5,00	0,17	0,92
s17	28,00	0,93	1,00	0,03	0,97
s19	21,00	0,70	17,00	0,57	0,62
s20	30,00	1,00	5,00	0,17	0,95
s21	24,00	0,80	1,00	0,03	0,94
s22	26,00	0,87	8,00	0,27	0,88
s23	28,00	0,93	3,00	0,10	0,95
s24	26,00	0,87	4,00	0,13	0,93
s25	23,00	0,77	19,00	0,63	0,64
s26	27,00	0,90	6,00	0,20	0,91
s27	28,00	0,93	16,00	0,53	0,82
s28	27,00	0,90	11,00	0,37	0,86
s29	23,00	0,77	22,00	0,73	0,55
s30	28,00	0,93	14,00	0,47	0,84
s31	26,00	0,87	5,00	0,17	0,91
s32	24,00	0,80	16,00	0,53	0,73
s33	27,00	0,90	12,00	0,40	0,85
s34	29,00	0,97	16,00	0,53	0,85
s35	27,00	0,90	10,00	0,33	0,87

Annexe IX : Protocole « Enigmes »

Tableau 16 : Etablissement du paramètre « score d'indication »

Participants	Taux de résolutions normalisé	Taux d'indication normalisé	Score d'indication
s3	0,65	0,87	0,57
s5	0,7	0,72	0,50
s6	0,75	0,63	0,47
s7	0,8	0,63	0,50
s8	0,85	0,7	0,60
s9	0,75	0,79	0,63
s10	0,85	0,46	0,35
s12	0,85	0,62	0,53
s13	0,65	0,55	0,36
s14	0,6	0,68	0,41
s15	0,65	0,62	0,40
s16	0,7	0,56	0,39
s17	0,7	0,54	0,38
s19	0,6	0,66	0,40
s20	0,75	0,54	0,41
s21	0,85	0,6	0,51
s22	0,8	0,75	0,59
s23	0,9	0,53	0,48
s24	0,7	0,56	0,39
s25	0,25	0,53	0,13
s26	0,6	0,54	0,32
s27	0,35	0,5	0,18
s28	0,75	0,61	0,46
s29	0,65	0,69	0,45
s30	0,7	0,55	0,39
s31	0,7	0,75	0,53
s32	0,5	0,72	0,36
s33	0,9	0,66	0,59
s34	0,5	0,57	0,29
s35	0,75	0,51	0,38

Annexe X : Test de normalité

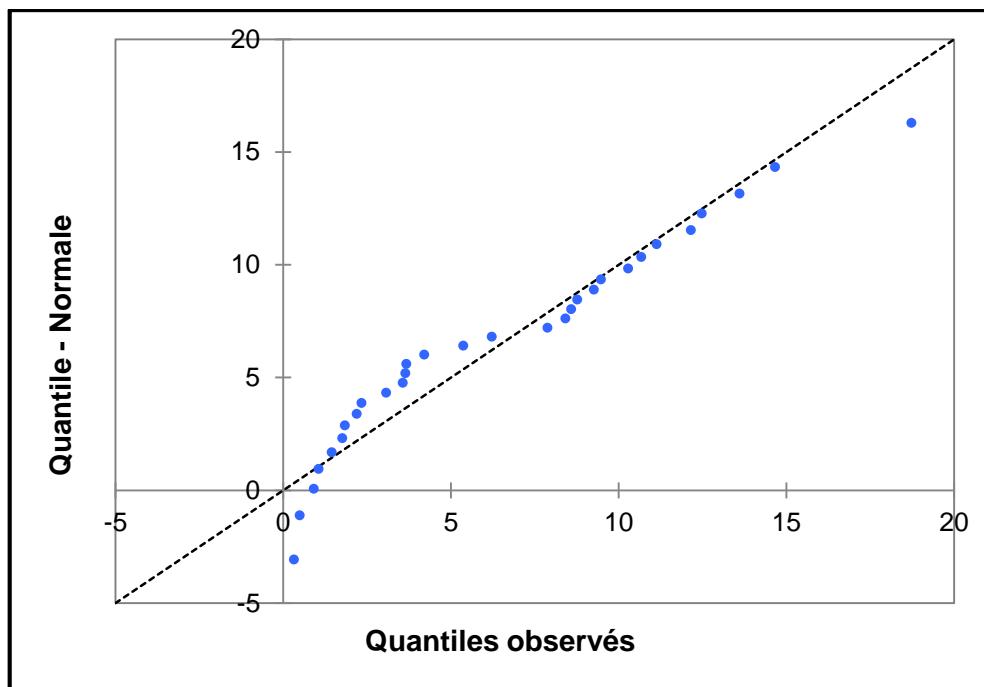


Figure 26 : Distribution des variations d'estimation de la tâche d'accès
« Linkenauger »

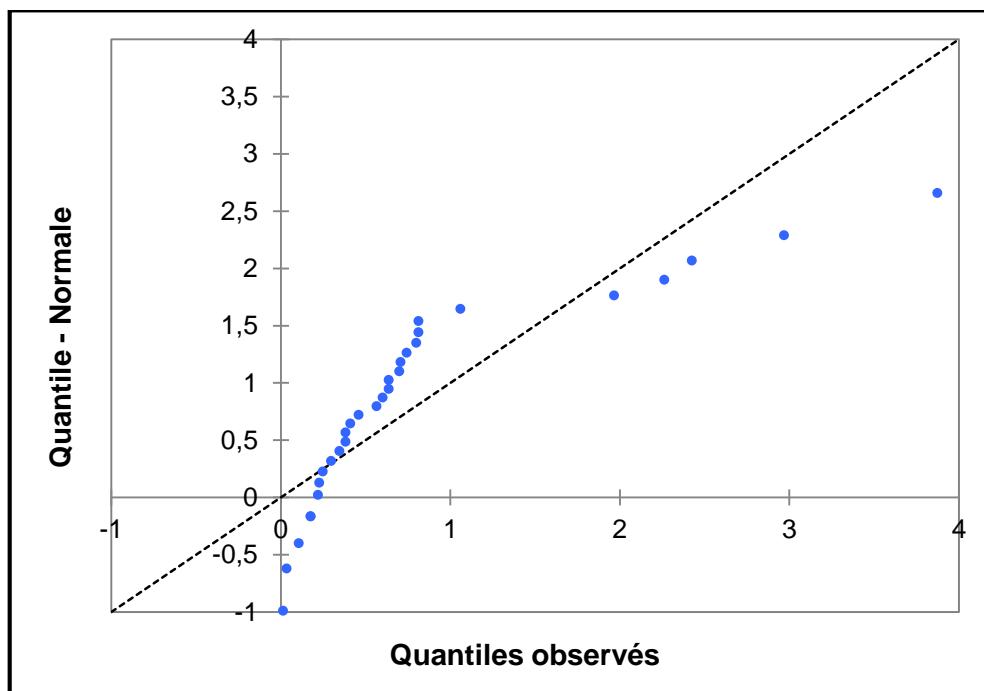


Figure 27 : Distribution des variations d'estimation de la tâche de prise
« Linkenauger »

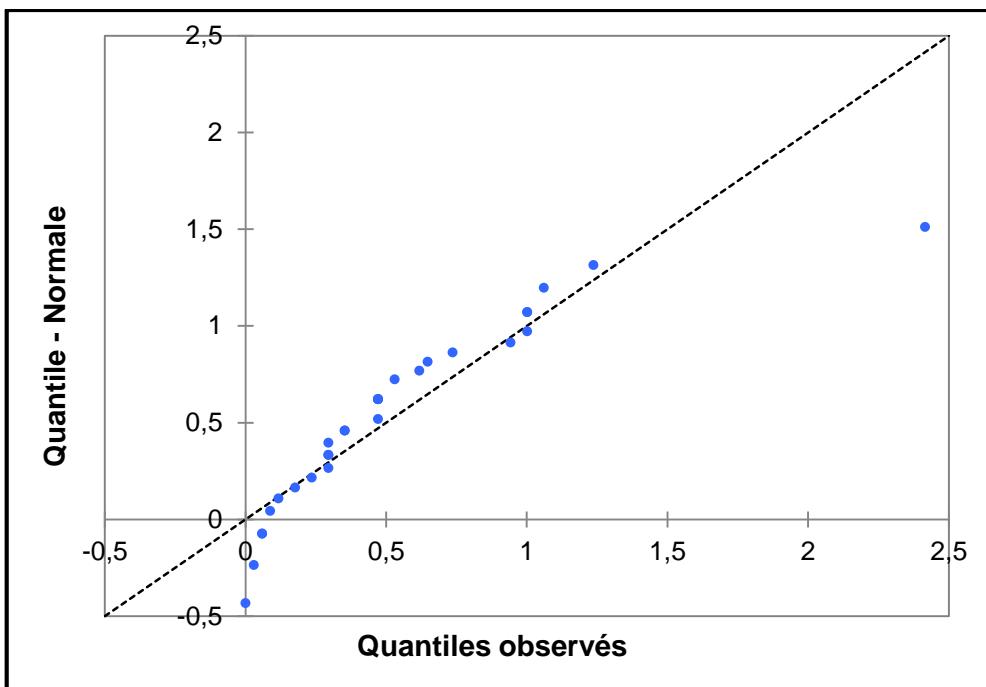


Figure 28 : Distribution des variations d'estimation de la tâche d'ouverture « Linkenauger »

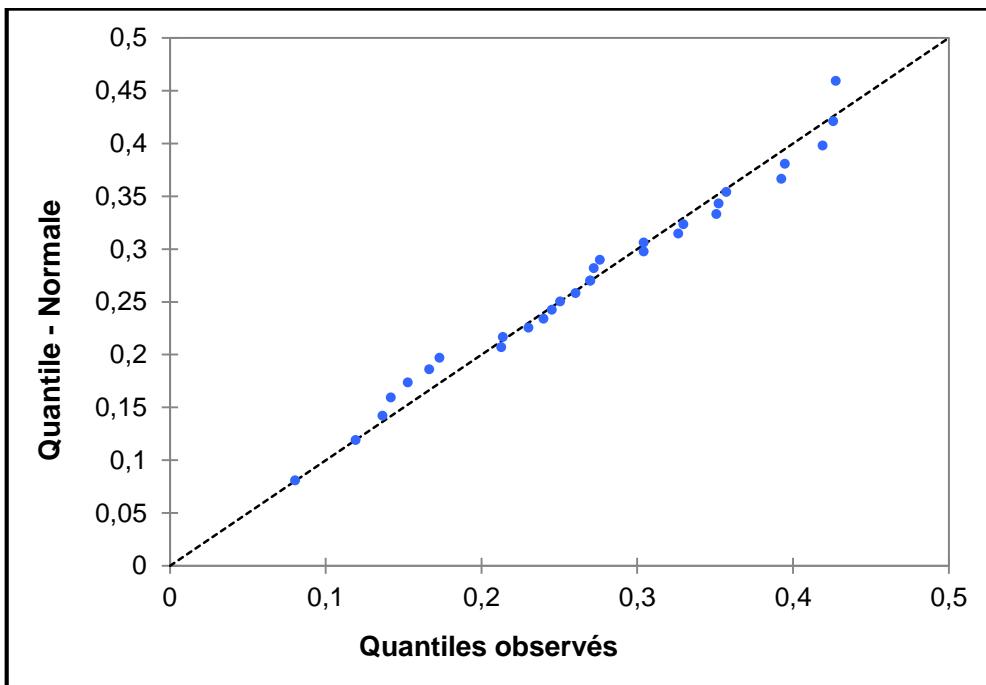


Figure 29 : Distribution des scores d'imagerie motrice « Frak »

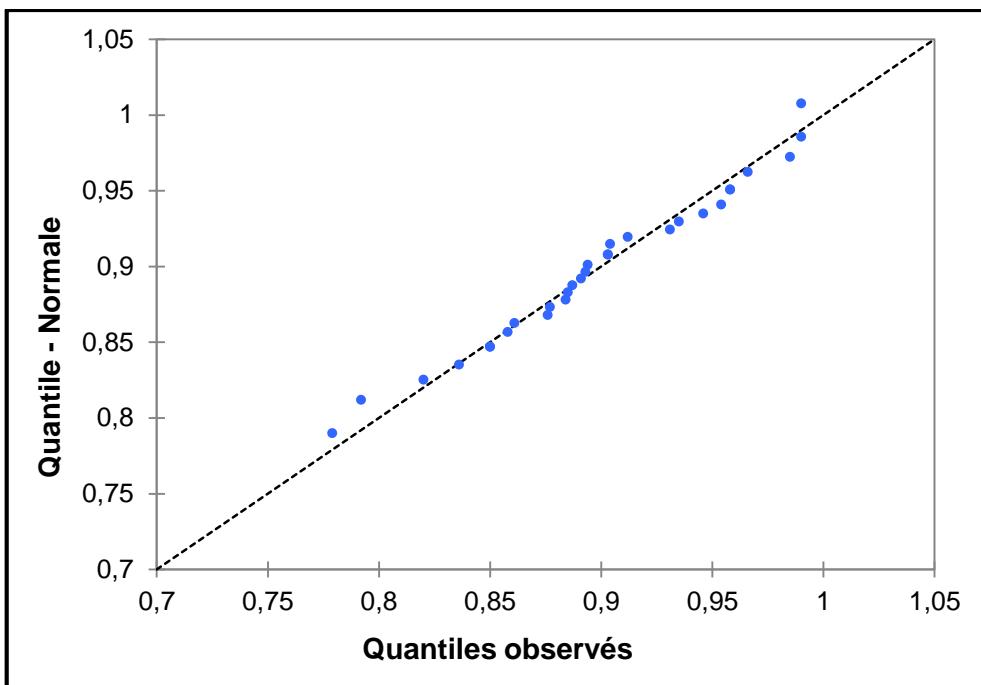


Figure 30 : Distribution des sensibilités de mots de haute imagerie « Définitions »

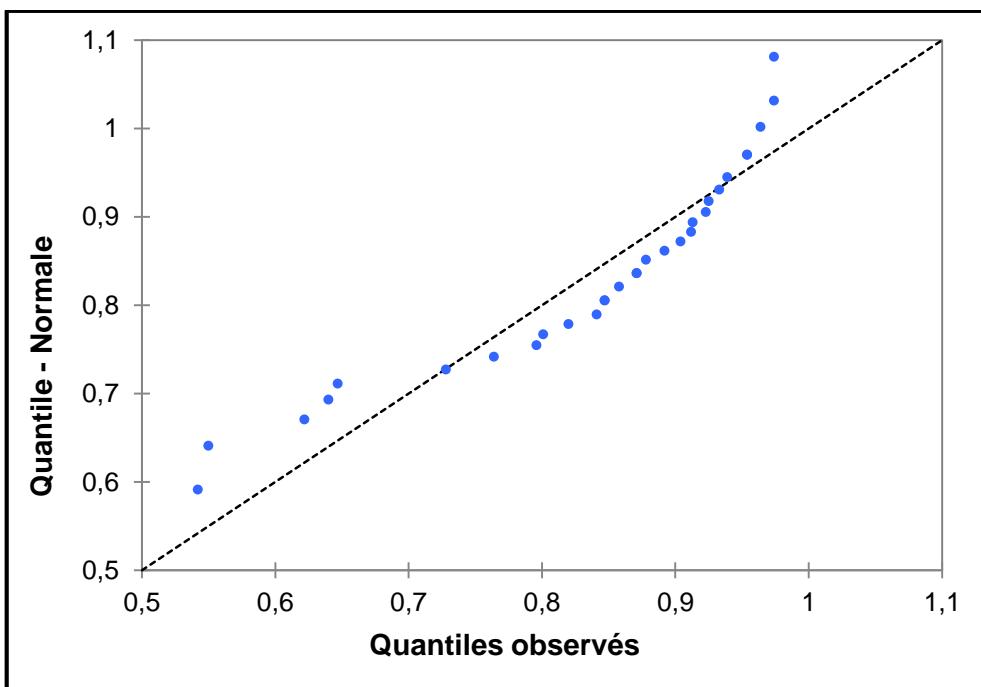


Figure 31 : Distribution des sensibilités de mots de basse imagerie « Définitions »

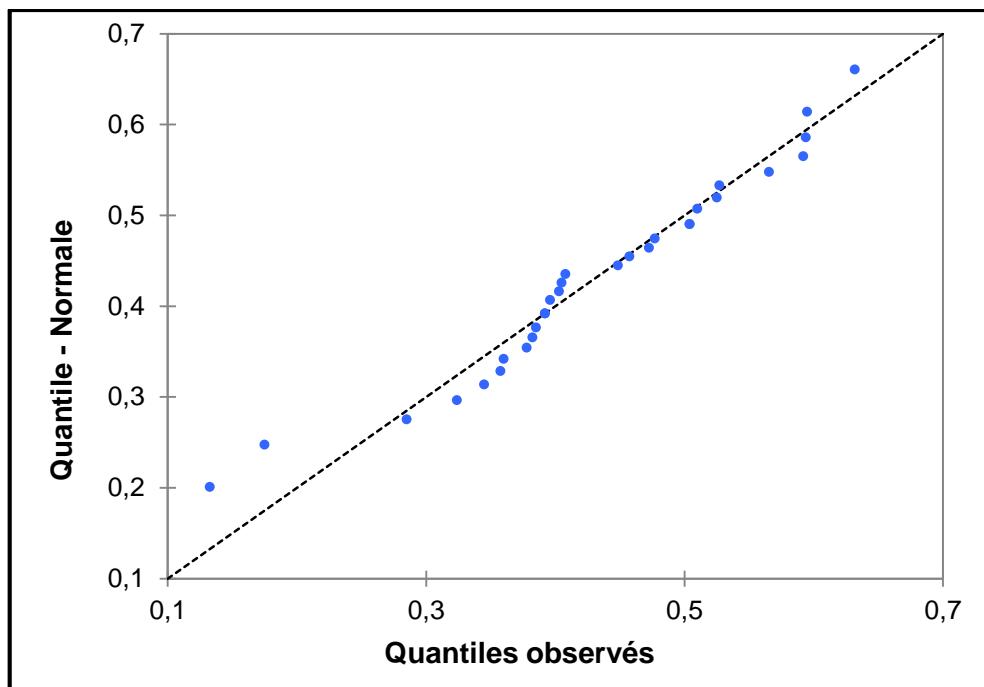


Figure 32 : Distribution des scores d'indication « Enigmes »

TABLE DES ILLUSTRATIONS

1. Liste des figures

Figure 1 : Théorie du double codage (Paivio, 1971)	13
Figure 2 : Matériel d'expérimentation	32
Figure 3 : Posture du participant	32
Figure 4 : Tâche d'accessibilité	33
Figure 5 : Tâche de prise.....	33
Figure 6 : Tâche d'ouverture	34
Figure 7 : Tâche d'entraînement	35
Figure 8 : Tâche principale.....	36
Figure 9 : Degrés des axes de prise manuelle	36
Figure 10 : Exemples d'énigmes proposées	38
Figure 11 : Variations d'estimations des participants pour chaque tâche du protocole « Linkenauger »	42
Figure 12 : Temps de réponse pour chaque axe de prise	43
Figure 13 : Tendances comportementales individuelles	44
Figure 14 : Scores en imagerie motrice des participants pour le protocole « Frak ».....	45
Figure 15 : Type de réponses des participants pour chaque reconnaissance	46
Figure 16 : Intensité de la sensibilité A' en fonction des courbes de distribution	47
Figure 17 : Distributions des types de reconnaissances pour les définitions.....	47
Figure 18 : Sensibilité des mots des participants pour le protocole « Frak ».....	48
Figure 19 : Scores d'indication des participants pour le protocole « Enigmes »	49
Figure 20 : Distribution des âges de notre échantillon.....	50
Figure 21 : Carte des corrélations de Spearman.....	51
Figure 22 : Impact du contexte langagier.....	59
Figure 23 : De la manipulation à la compréhension.....	61
Figure 24 : Exercice d'évocation par l'odorat extrait de Neuropédagogie.com.....	62
Figure 25 : Prospectus distribué dans les collèges et à l'Institut des Sciences Cognitives	73
Figure 26 : Distribution des variations d'estimation de la tâche d'accès « Linkenauger »....	100
Figure 27 : Distribution des variations d'estimation de la tâche de prise « Linkenauger » ...	100
Figure 28 : Distribution des variations d'estimation de la tâche d'ouverture « Linkenauger »	101
Figure 29 : Distribution des scores d'imagerie motrice « Frak »	101
Figure 30 : Distribution des sensibilités de mots de haute imagerie « Définitions »	102
Figure 31 : Distribution des sensibilités de mots de basse imagerie « Définitions »	102
Figure 32 : Distribution des scores d'indication « Enigmes »	103

2. Liste des tableaux

Tableau 1 : Constitution des définitions	37
Tableau 2 : Trois types de variables au sein de notre étude.....	39
Tableau 3 : Répartition des indices par énigme	48
Tableau 4 : Tests de normalité de Shapiro-Wilk.....	50
Tableau 5 : Coefficients de détermination (R ²)	52
Tableau 6 : Caractéristiques des participants	74
Tableau 7 : Résultats aux épreuves d'EXAlang©	90
Tableau 8 : Résultats de la tâche d'accès	91
Tableau 9 : Résultats de la tâche de prise	92
Tableau 10 : Résultats de la tâche d'ouverture	93
Tableau 11 : Résultats de la tâche d'entraînement	94
Tableau 12 : Etablissement du paramètre « score en imagerie motrice »	95
Tableau 13 : Résultats à l'épreuve des définitions.....	96
Tableau 14 : Etablissement du paramètre « sensibilité » pour les mots de haute imagerie ..	97
Tableau 15 : Etablissement du paramètre « sensibilité » pour les mots de basse imagerie..	98
Tableau 16 : Etablissement du paramètre « score d'indication »	99

TABLE DES MATIERES

ORGANIGRAMME.....	2
1 UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1.....	2
1.1 Secteur Santé.....	2
1.2 Secteur Sciences et Technologies.....	2
2 INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA READAPTATION	3
REMERCIEMENTS	4
SOMMAIRE	5
INTRODUCTION.....	9
PARTIE THEORIQUE	11
I Imagerie mentale.....	12
1 Définition.....	12
2 Evocation et élaboration	13
3 Utilité et fonction	14
4 Développement	15
4.1 Dès la naissance.....	15
4.2 Pendant l'enfance.....	16
5 Vivre sans image.....	16
II Imagerie motrice.....	16
1. Définition.....	16
2. Action exécutée versus action simulée	17
3. Utilité des images motrices	18
4. Développement des images motrices	18
5. Trouble praxique	19
III Aspect langagier	20
1 Traitement linguistique	20
2 Gestion des inférences	21
3 Compréhension	22
3.1 Définition	22
3.2 Fonctionnement	22
4 Gestion mentale	23
PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES	25
I Contexte et problématique	26

II	Hypothèse théorique	26
III	Hypothèses opérationnelles	26
	PARTIE EXPERIMENTATION.....	27
I	Population	28
1	Critères de recrutement	28
1.1	Critères d'inclusion	28
1.2	Critères de non inclusion.....	28
1.3	Critères d'exclusion	29
2	Procédure d'échantillonnage	29
2.1	Mesures préalables	29
2.2	Caractéristiques de l'échantillon	30
3	Aspects réglementaires, éthiques et financiers	30
II	Matériel et procédure	31
1	Partie Imagerie Motrice	31
1.1	Protocole « Linkenauger ».....	31
1.2	Protocole « Frak ».....	35
2	Partie Compréhension du Langage	36
2.1	Protocole « Définitions ».....	36
2.2	Protocole « Enigmes »	37
3	Variables mesurées	39
	PRESENTATION DES RESULTATS.....	40
I	Introduction.....	41
II	Analyses descriptives des différentes tâches.....	41
1	Caractéristiques de l'échantillon	41
2	Protocole « Linkenauger ».....	41
3	Protocole « Frak ».....	42
4	Protocole « Définitions »	45
5	Protocole « Enigmes »	48
III	Analyses des corrélations	49
1	Test de normalité	49
2	Corrélations de Spearman et test de significativité	51
	DISCUSSION DES RESULTATS.....	52
I	Rappel de l'objectif et des hypothèses.....	53
II	Interprétation des résultats.....	53

1	Validation des hypothèses opérationnelles	53
2	Analyse des protocoles proposés.....	54
2.1	Habiletés d'imagerie motrice	54
2.2	Compréhension du langage.....	55
3	Analyse des corrélations.....	56
III	Analyse critique de la démarche expérimentale	57
1	Recrutement et conditions de passation	57
2	Choix du matériel	58
IV	Perspectives	58
1	Apports pour la recherche.....	58
1.1	Modalités d'imagerie.....	59
1.2	Aphantasie	59
1.3	Trouble d'Acquisition de la Coordination.....	60
1.4	Pratique sportive	61
2	Apports pour l'orthophonie	61
2.1	Création d'un outil d'évaluation.....	61
2.2	Création d'un outil de remédiation	62
CONCLUSION.....	64	
REFERENCES.....	65	
ANNEXES.....	72	
Annexe I : Recrutement de l'échantillon.....	73	
Annexe II : Consignes données aux participants.....	75	
Annexe III : Listes des définitions	77	
Annexe IV : Listes des énigmes.....	86	
Annexe V : Mesures préalables	90	
Annexe VI : Protocole « Linkenauger »	91	
Annexe VII : Protocole « Frak »	94	
Annexe VIII : Protocole « Définitions »	96	
Annexe IX : Protocole « Enigmes »	99	
Annexe X : Test de normalité	100	
TABLE DES ILLUSTRATIONS	104	
1.	Liste des figures	104
2.	Liste des tableaux	105
TABLE DES MATIERES	106	

ROTIVAL Coralie

IMAGERIE MOTRICE ET LANGAGE

109 Pages

Mémoire d'orthophonie – UCBL – ISTR – LYON 2016

RESUME

Cette étude a pour objectif de mettre en lien imagerie motrice et compétences langagières. En effet, la littérature scientifique révèle, d'une part, que le langage active le cortex moteur lorsqu'un verbe d'action est prononcé, entendu ou lu, dans une phrase comme « Paul coupe sa viande ». Cette activation des systèmes moteurs permet d'accéder pleinement au sens de la phrase, lorsque celle-ci décrit une action motrice. D'autre part, l'imagerie mentale est impliquée dans la compréhension. Cette aptitude est utilisée pour le traitement du langage et permet d'apporter les informations manquantes. Ainsi, une phrase comme « son nez a la couleur d'une tomate » requiert de bonnes capacités d'imagerie pour saisir la notion implicite du « rouge ». Nous nous servons donc de cette habileté de façon inconsciente pour accéder au sens des phrases. Compte tenu de ces éléments, nous avons voulu savoir si l'imagerie motrice pouvait constituer un processus intervenant lors de la compréhension. Pour établir cette relation, nous avons proposé à 30 enfants âgés de 11 à 15 ans, deux tâches d'imagerie motrice, ainsi que deux épreuves de compréhension de phrases (orales et écrites). Afin d'en étudier les relations, nous avons procédé à des analyses corrélationnelles. Les données recueillies indiquent que l'imagerie motrice est effectivement liée à la compréhension du langage, notamment pour les mots de forte imagerie. Nos résultats confirment notre hypothèse selon laquelle de faibles habiletés d'imagerie motrice impactent négativement les capacités de compréhension de mots, quelle que soit leur valeur d'imagerie, et indirectement, portent préjudice à la compréhension de phrases orales et écrites. Finalement, par le biais de l'imagerie motrice, notre étude constitue un point de départ à diverses pistes de rééducation pour les difficultés de compréhension. Ce travail amène à concevoir de nouvelles remédiations orthophoniques.

MOTS-CLES

habiletés motrices – trouble praxique – compréhension – inférences – mots abstraits – mots concrets – préadolescents

MEMBRES DU JURY

GONZALEZ Sibylle

CHOSSON Christelle

LEVY Hagar

MAITRES DE MEMOIRE

NAZIR Tatjana

DECOPPET Nathalie

DATE DE SOUTENANCE

30 Juin 2016
