

Institut Limousin de FOrmation
aux MÉtiers de la Réadaptation
Masso-Kinésithérapie

*Etude pilote : effets de la rééducation de l'équilibre sur une
situation de double-tâche émotionnelle chez l'enfant atteint
d'autisme*



Mémoire présenté et soutenu par
François Jabouille

En juin 2019

Mémoire dirigé par
François Duzou

Directeur des études filière Masso-Kinésithérapie
ILFOMER

« Le comportement, c'est la communication. Changez l'environnement et les comportements changeront. »

-Lana David, Fondatrice de Autism Unites



Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Mr Perrochon pour son incomensurable travail de suivi et son énorme implication, ses cours et ses conseils. Beaucoup m'auraient fait un procès pour le nombre de mails que j'ai pu lui envoyer. C'est un plaisir d'avoir cette qualité d'encadrement et d'enseignement et cela nous pousse à réaliser un travail qui sera, j'espère, à la hauteur de votre investissement.

Merci à mon directeur de mémoire et directeur de filière Mr Duzou de ses conseils et de son aide à la relecture et à la correction de mon mémoire. Merci aussi d'avoir été disponible pendant ces 4 années d'études. Je m'excuse d'avoir perdu les clefs de l'amphi, ça n'arrivera plus...

Je remercie également le Docteur Lemonnier de l'attention qu'il a porté à mon travail depuis le début, de m'avoir fait confiance, de m'avoir dirigé et reçu régulièrement tout au long de ces années de travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance toute particulière à Nathalie Goulème, Evelyne Soyez, Katia Gimenez, Noushine Hadjikhani et Quentin Guillon pour leur honnêteté et pour avoir pris le temps de me lire, de me conseiller, de m'aiguiller et/ou me recevoir et de ne pas avoir classé mes demandes dans « courriers indésirables » de suite. Ce fut très apprécié et d'une aide considérable, d'autant plus que répondre à un mail est un civisme que tout le monde n'a pas.

Merci aux personnels des centres CEA et CRA de Limoges et principalement à Nathalie Lévêque et Séverine Besselas lors de mes premiers contacts avec eux ainsi que Marie-Charlotte Léger pour avoir géré d'une façon très efficace le côté logistique qu'impliquait ma venue au sein du CRA et m'avoir placé dans les meilleures dispositions possibles. Dédicasse à Alain, Antoine et Nicolas pour leur accueil très chaleureux au CRA pendant les 2 mois de la durée de mon protocole.

J'adresse ensuite un grand merci aux familles et surtout aux enfants qui ont accepté de participer à cette recherche, sans qui tout cela ne serait resté qu'à l'état de conjecture. Ce fut une première expérience extrêmement enrichissante pour moi.

Je tiens à remercier la promotion masso-kinésithérapeutes ILFOMER 2015-2019, vous avez donné un goût à ces études pour le moins qu'on puisse dire étonnant. Vous êtes tous de très belles personnes. Mention spéciale pour mon colocataire Thomas Busson, sans qui tout aurait été possible, mais n'aurait pas eu la même saveur. Sans oublier Yoan Borie, un être exceptionnel aux multiples visages.



Mes pensées se tournent ensuite vers mes amis de la TS1, ce paragraphe ne serait pas complet si je n'abordais pas à quel point il est précieux de pouvoir passer des moments aussi riches avec des gens sur qui l'on peut compter.

J'exprime enfin ma gratitude la plus profonde à ma famille, pour leur soutien inégalé à tous les niveaux, leur compréhension, leur intérêt à l'égard de mon travail, pour les personnes qu'ils sont et ce qu'ils représentent. Tout est plus facile quand on est entouré de cette manière. On ne choisit pas sa famille, mais je n'en aurai pas voulu une autre.

Merci aux membres du jury pour avoir lu et évalué les quelques 100 pages de ce mémoire et me permettre de le présenter pour l'obtention de mon DE de masso-kinésithérapie.



Droits d'auteurs

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :

« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »

disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>



Charte anti-plagiat

La Direction Régionale de la Jeunesse, des Sports et de la Cohésion Sociale délivre sous l'autorité du Préfet de région les diplômes du travail social et des auxiliaires médicaux et sous l'autorité du Ministre chargé des sports les diplômes du champ du sport et de l'animation.

Elle est également garante de la qualité des enseignements délivrés dans les dispositifs de formation préparant à l'obtention de ces diplômes.

C'est dans le but de garantir la valeur des diplômes qu'elle délivre et la qualité des dispositifs de formation qu'elle évalue que les directives suivantes sont formulées à l'endroit des étudiants et stagiaires en formation.

Article 1 :

Tout étudiant et stagiaire s'engage à faire figurer et à signer sur chacun de ses travaux, deuxième de couverture, l'engagement suivant :

Je soussigné François Jabouille

**Atteste avoir pris connaissance de la charte anti plagiat élaborée par la DRDJSCS NA
– site de Limoges et de m'y être conformé.**

Et certifie que le mémoire/dossier présenté étant le fruit de mon travail personnel, il ne pourra être cité sans respect des principes de cette charte.

Fait à Limoges, Le lundi 6 mai 2019

Suivi de la signature.

Article 2 :

« Le plagiat consiste à insérer dans tout travail, écrit ou oral, des formulations, phrases, passages, images, en les faisant passer pour siens. Le plagiat est réalisé de la part de l'auteur du travail (devenu le plagiaire) par l'omission de la référence correcte aux textes ou aux idées d'autrui et à leur source ».

Article 3 :

Tout étudiant, tout stagiaire s'engage à encadrer par des guillemets tout texte ou partie de texte emprunté(e) ; et à faire figurer explicitement dans l'ensemble de ses travaux les références des sources de cet emprunt. Ce référencement doit permettre au lecteur et correcteur de vérifier l'exactitude des informations rapportées par consultation des sources utilisées.

Article 4 :

Le plagiaire s'expose aux procédures disciplinaires prévues au règlement intérieur de l'établissement de formation. Celles-ci prévoient au moins sa non présentation ou son retrait de présentation aux épreuves certificatives du diplôme préparé.

En application du Code de l'éducation et du Code pénal, il s'expose également aux poursuites et peines pénales que la DRJSCS est en droit d'engager. Cette exposition vaut également pour tout complice du délit.



Vérification de l'anonymat

Mémoire DE Masseur-Kinésithérapeute

Session de juin 2019

Attestation de vérification d'anonymat

Je soussigné François Jabouille

Etudiant de 4ème année

Atteste avoir vérifié que les informations contenues dans mon mémoire respectent strictement l'anonymat des personnes et que les noms qui y apparaissent sont des pseudonymes (corps de texte et annexes).

Si besoin l'anonymat des lieux a été effectué en concertation avec mon Directeur de mémoire.

Fait à : Limoges

Le : lundi 6 mai 2019

Signature de l'étudiant



Glossaire

TSA = Troubles du Spectre Autistique

DT = Double tâche

CG = Centre de Gravité

NGC = Noyaux Gris Centraux

MH = Maladie de Huntington

SGT = Syndrome de Gilles de la Tourette

IRM = Imagerie par Résonance Magnétique

TED-NOS = Troubles Envahissants du Développement Non Spécifiés

OMS = Organisation mondiale de la santé

CIM = Classification Internationale des Maladies

DSM-V = 5^e édition du Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders

ADOS = Autism Diagnostic Observation Schedule

ADI-R = Autism Diagnostic Interview-Revised

HAS = Haute Autorité de Santé

QI = Quotient Intellectuel

INSERM = Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale

BWAS = Brain Wide Association Analysis

FCC = Faible Cohérence Centrale

FFA = Aire Fusiforme des Visages

TED = Troubles Envahissants du Développement

CAMSP = Centre d'Action Médico-Social Précoce

CHU = Centre Hospitalier Universitaire

YO = Yeux ouverts

YF = Yeux fermés

AFP = Association Française de Posturologie

SOFPEL = Société Francophone Posture Equilibre et Locomotion

CoP = Centre de Pression

LFS = Longueur du CoP en Fonction de sa Surface

VFY = Variance de la vitesse du CoP normalisée en fonction de sa position moyenne en Y



Table des illustrations

Figure 1. Schéma des différentes afférences du système sensoriel nécessaires au contrôle postural.	16
Figure 2. Modèle attentionnel (adapté d'après Van Zomeren & Brouwer, 1994)	28
Figure 3. Modèle cognitif (adapté d'après Norman et Shallice, 1986)	30
Figure 4. Schéma du paradigme de DT dans notre étude.....	33
Figure 5. Schéma récapitulatif de l'hypothèse d'une cascade développementale dans l'autisme	36
Figure 6. Déficiences fondamentales dans l'autisme (modifié par Stewart H. Mostofsky 2013) ...	44
Figure 7. Photos issues de l'article de Goulème et al. (2017)	53
Figure 8. Présentation de l'environnement expérimental lors du bilan posturographique.	55
Figure 9. Adaptation du diagramme de flux CONSORT 2010 proposé par Cannac et al.	60
Figure 10A et 10B. Comparaison des moyennes des paramètres surface (A) et vitesse moyenne (B) des pré et post-tests pour les groupes témoin et expérimental dans les différentes conditions. L'étoile signifie une différence significative avec un $p < 0,05$	62
Figure 11A et 11B. Comparaison des moyennes des paramètres LFS (A) et VFY (B) des pré et post-tests pour les groupes témoin et expérimental dans les différentes conditions. L'étoile * signifie une différence significative avec un $p < 0,05$	63
Figure 12A et 12B. Comparaison du coût de DT des paramètres surface (A) et vitesse moyenne (B) du CoP des pré et post-tests pour les groupes témoin et expérimental dans les cinq situations de DT.....	65
Figure 13A et 13B. Comparaison du coût de DT des paramètres LFS (A) et VFY (B) des pré et post-tests pour les groupes témoin et expérimental dans les cinq situations de DT.....	66



Table des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques cliniques des participants.....	61
--	----



Table des matières

Introduction	13
Cadre théorique	15
1. Mécanisme du contrôle postural	16
1.1. Définition	16
1.2. Contribution de différentes afférences sensorielles	16
1.2.1. Système vestibulaire	17
1.2.2. Système visuel.....	17
1.3. Approche neurologique	18
1.3.1. Neuro-anatomie	18
1.3.2. Le « Reweighting »	19
1.4. Un développement progressif.....	20
2. Traitement visuel de stimuli sociaux.....	22
2.1. Les émotions	22
2.1.1. Définition.....	22
2.1.2. Neuro-anatomie	23
2.2. Les modèles de reconnaissances des visages	24
2.3. Développement du traitement des visages	25
2.3.1. Développement du cerveau	25
2.3.2. Développement de la reconnaissance des émotions faciales.....	25
2.4. Modération par la plasticité cérébrale	26
3. Emotions et contrôle postural : une situation de double-tâche	28
3.1. Concept de ressources attentionnelles	28
3.1.1. Définition.....	28
3.1.2. Modèle de traitement de l'information	29
3.2. Le paradigme de la double-tâche	31
3.3. Constat chez les neurotypiques.....	33
4. Troubles du Spectre Autistique	35
4.1. Définition	35
4.2. Les modèles neuropsychologiques de l'autisme	36
4.3. Etat des lieux de la recherche	38
4.3.1. TSA et information visuelle.....	38
4.3.1.1. Stratégie attentionnelle	38
4.3.1.2. Exploration atypique des visages	39
4.3.2. TSA et émotions	41
4.3.2.1. Une reconnaissance perturbée.....	41
4.3.2.2. Un modèle hypothétique.....	42
4.3.3. TSA et contrôle postural.....	43
4.3.3.1. Un constat particulier	43
4.3.3.2. La double-tâche et l'autisme	44
4.3.3.3. Une prise en soin par l'activité ?	45
4.4. Prise en soins thérapeutique	46
4.4.1. Stratégies actuelles.....	46
4.4.2. TSA et masso-kinésithérapie	47
5. Problématique.....	49



Méthode	51
1. Population.....	52
2. Design de l'étude	53
2.1. Procédure expérimentale	53
2.2. Consignes de passation	54
3. Matériel.....	55
4. Variables.....	56
5. Analyse statistique	57
Résultats	59
1. Diagramme de flux.....	60
2. Traitement des données	61
2.1. Caractéristiques générales des populations	61
2.2. Evaluation de la stabilité posturale	61
2.2.1. Surface et vitesse moyenne du CoP	62
2.2.2. Paramètres LFS et VFY	63
2.3. Analyses secondaires.....	64
2.3.1. Caractéristiques anthropométriques.....	64
2.3.2. Effet fatigue.....	64
2.3.3. Coût de la DT.....	64
2.3.3.1. Surface et vitesse moyenne du CoP.....	65
2.3.3.2. LFS et VFY.....	66
Discussion	67
1. Objectifs de l'étude	68
1.1. Hypothèse principale : amélioration du contrôle posturale.....	68
1.2. Evaluations secondaires.....	70
1.2.1. Caractéristiques anthropométriques.....	70
1.2.2. Effet fatigue.....	70
1.2.3. Coût de DT	71
1.3. Faisabilité et retombées cliniques.....	72
1.4. Limites de l'étude	74
1.4.1. Biais de sélection	74
1.4.2. Limite de l'examen posturographique.....	75
1.4.3. Effet d'apprentissage	75
1.4.4. Durée de l'intervention	75
1.5. Perspectives.....	76
2. Conclusion.....	78
Références bibliographiques	79
Annexes	91



Introduction

Dans beaucoup de contextes, l'être humain reçoit un grand nombre d'informations en provenance de l'environnement ou de son propre corps qu'il doit trier et prioriser afin de réduire le coût cognitif de leur intégration. En effet, notre cerveau ne peut traiter qu'un nombre fini d'informations à la fois. Pour faciliter leur traitement, il développe des connexions, des automatismes qui lui permettent d'être plus efficace pour une tâche donnée et donc d'y allouer moins d'attention. Le contrôle postural est un processus complexe résultant de l'intégration de plusieurs informations sensorielles dans le but d'interagir correctement dans et avec son environnement. Avec la marche, c'est une des deux bases fondamentales à la posture et à l'action d'un individu (1) et pourtant nous ne nous demandons pas si nous sommes stables à chaque fois que nous entreprenons une activité. Mais encore, dans le domaine visuel, la communication socio-émotionnelle requiert des habiletés pour traiter (observer, décoder, comprendre) les mouvements biologiques humains (oculaires, labiaux et corporels) qui représentent une source d'informations sociales et contribuent à l'engagement social. En effet, si quelqu'un se fâche, nous sommes capables de voir aussitôt qu'il est énervé sans avoir besoin de relever spécifiquement les détails des sourcils qui se froncent, de la direction des yeux et des mouvements de la bouche. Une capacité d'intégration sensorielle multimodale associée à nos diverses expériences vécues nous permettent donc de combiner efficacement ces deux activités sans s'en rendre compte, en gérant le traitement des stimuli sensoriels qui nous parviennent.

La pathologie de l'autisme fait partie des troubles envahissants du développement et semblerait, d'après les chiffres, être en constante augmentation. Bien qu'elle soit encore mal comprise, elle affecte de près la maturation du cerveau provoquant des désordres notamment dans les deux domaines évoqués. Une tendance à un équilibre précaire semble émerger de la littérature scientifique en comparaison aux personnes neurotypiques, c'est-à-dire au développement habituel (2). Également, il apparaîtrait qu'une stratégie attentionnelle différente soit responsable de l'exploration atypique des visages (3) mais aussi que le traitement des informations complexes nécessite beaucoup de ressources cognitives pour une personne avec autisme (4). Dans un modèle où les capacités attentionnelles ne sont pas extensibles (5), cela peut engendrer des conséquences au niveau du fonctionnement cognitif. En effet, les personnes avec un trouble du spectre autistique (TSA), à l'image des témoignages de Temple Grandin ou Donna Williams, décrivent souvent des phénomènes de « surcharge sensorielle » pendant lesquelles ils n'arrivent plus à réfléchir, à penser, à fonctionner. Bien qu'il y ait de nombreuses thérapies qui se combinent aujourd'hui, certains aspects de l'autisme peuvent rester encore peu concernées par celles-ci et la réalité du terrain en France fait que les délais d'attentes pour les prises en soins actuelles ne cessent de croître.



Nous introduirons notre travail par une revue de la littérature sur les différents domaines le concernant, à savoir le contrôle postural et le traitement des émotions. Après avoir défini ces bases essentielles, nous aborderons le concept particulier de la double-tâche (DT) qui fournit un contexte « écologique » à notre étude puisque la plupart des actes réalisés dans notre vie se font selon ce schéma-là. La dernière partie du cadre théorique abordera l'état des lieux des connaissances lorsque l'on croise la pathologie de l'autisme avec ces deux champs, a priori distincts mais peut-être pas tant que l'on pourrait le croire.

Ensuite, viendra la partie méthode et la description de la mise en place de notre expérimentation qui s'intéresse à étudier les effets de la rééducation de l'équilibre chez l'enfant atteint d'autisme dans une situation de DT émotionnelle.

En dernière partie nos résultats seront critiqués afin d'aborder les différents biais possibles mais aussi de manière à établir des perspectives futures pour les travaux à venir dans ce domaine qui à ce jour reste peu documenté.



Cadre théorique



1. Mécanisme du contrôle postural

1.1. Définition

L'équilibre postural résulte de l'alignement du centre de masse du corps (centre de gravité CG) avec le centre de pression au sol, autrement dit il faut que la projection du CG soit à l'intérieur du polygone de sustentation (délimité par la surface d'appui). Pour y parvenir, le système nerveux contrôle la posture tel un pendule inversé. Dans ce modèle, le corps peut être visualisé en un bâton fixé au sol oscillant autour des chevilles. Toutefois, l'homme ne peut se maintenir en parfait équilibre. Il se stabilise continuellement en tentant d'annuler l'ensemble des forces qui agissent sur la masse corporelle comme la gravité. La finalité du contrôle postural est triple : élaborer des représentations spatiales, contrôler l'équilibre et fournir une base stabilisée à l'action, évitant ainsi une chute. La posture globale est obtenue par la position et l'orientation dans l'espace des segments corporels, elle-même obtenue par les informations sensorielles (6).

1.2. Contribution de différentes afférences sensorielles

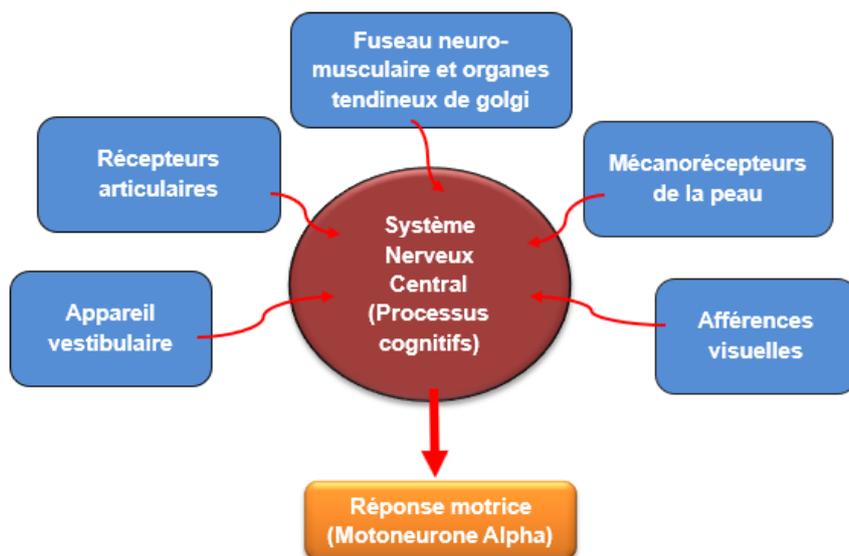


Figure 1. Schéma des différentes afférences du système sensoriel nécessaires au contrôle postural.

Tout d'abord, la sensibilité extéroceptive, autrement dit l'information liée au sens du toucher, est cruciale pour renseigner les propriétés physiques du support (température, configuration, orientation, rigidité...). Elle est donnée par les mécanorécepteurs de la peau (terminaisons libres, récepteur de Merkel et corpuscules de Meissner, Pacini et Ruffini). Ensuite, d'un point de vue postural, c'est la proprioception qui est impliquée dans le calcul de la position et de l'inertie des différents segments corporels. Elle provient des récepteurs musculaires (fuseaux neuromusculaires et organes tendineux de Golgi) ainsi que des



récepteurs de articulaires (corpuscules de Ruffini et de Pacini et terminaisons libres). La distribution chez l'homme des récepteurs proprioceptifs musculaires dans la quasi-totalité de la musculature depuis le segment oculaire jusqu'au segment podal suggère l'existence d'une chaîne proprioceptive fonctionnelle reliant entre eux les différents segments corporels (7).

1.2.1. Système vestibulaire

Par opposition aux autres systèmes sensoriels, le système vestibulaire ne possède pas de cortex qui lui est propre (8). Il a toutefois un fonctionnement bien connu au niveau sous-cortical lui permettant de réguler rapidement la posture en relation avec la gravité et les positions et déplacements de la tête. Il effectue les corrections posturales, entre autre, via les voies descendantes vestibulo-spinales (réflexe vestibulo-spinal) qui innervent les motoneurons des membres inférieurs (9). Cet appareil sophistiqué situé dans l'oreille interne comprend deux types de structures : les canaux semi-circulaires qui sont sensibles aux accélérations angulaires (rotations) et les organes otolithiques qui sont sensibles aux accélérations linéaires de la tête. Automatique et inconscient, ce système informe le cerveau sur la position et les déplacements de la tête tout en maintenant l'équilibre et il permet la coordination des mouvements de la tête et des yeux en générant des réflexes vestibulo-oculaires (8).

1.2.2. Système visuel

S'ajoute aux deux premières composantes les informations visuelles : on sait depuis Romberg (10) que l'occlusion des yeux engendre un accroissement des oscillations corporelles d'environ 30 % lorsque les pieds sont normalement écartés et d'environ 50 % lorsqu'ils sont l'un devant l'autre. Nashner et al. (11) ont placé des sujets sur un support soumis à un mouvement de translation rapide dans un environnement visuel normal ou stabilisé (l'environnement visuel se déplace en même temps que le support). Lorsque le flux visuel résultant du mouvement était normal, une réponse précoce des muscles de la cheville était obtenue environ 100 ms après la perturbation. Or, elle disparaissait en vision stabilisée, ce qui démontre l'origine visuelle de la réponse. La vision joue d'autant plus un rôle que la tâche est difficile à réaliser, et certaines postures ne peuvent pas être maintenues dans l'obscurité (12). Une récente étude de 2018 s'est attachée à étudier les stratégies sensorielles dans la régulation de l'équilibre en appliquant des translations visuelles puis des vibrations tendineuses à des adultes sains. Leurs résultats indiquent que les sujets les plus sensibles aux informations proprioceptives (vibrations) sont les moins sensibles aux informations visuelles mais également les plus performants à la tâche d'équilibre. Les auteurs concluent alors que « plus la contribution proprioceptive au contrôle postural est importante, meilleure est son automaticité. La présence de corrélations inverses chez les visuodépendants suggère



que la vision permet de compenser une utilisation des afférences proprioceptives moins efficaces » (13).

Pour résumer, un système de contrôle postural fonctionnel est crucial pour se tenir debout, marcher, et interagir dans la vie quotidienne (14). En effet, le contrôle postural est une activité motrice résultant de l'interaction de multiples processus sensorimoteurs (gérant les contraintes externes, les stratégies motrices et sensorielles, l'orientation dans l'espace) et de processus cognitifs (14). Pendant la station prolongée debout, le système nerveux central reçoit et intègre des informations sensorielles à la fois visuelles, somatosensorielles et vestibulaires qu'il couple aux autres informations des différents systèmes pour produire une réponse appropriée capable de maintenir une posture stable (**Figure 1**) (15).

1.3. Approche neurologique

1.3.1. Neuro-anatomie

Le contrôle de l'équilibre implique le système nerveux dans son ensemble. Pour commencer, une stimulation du noyau rouge évoque non seulement une flexion d'un membre, mais également les ajustements posturaux correspondants dans les trois autres membres. Ce fait suggère que les patrons moteurs à l'origine des ajustements posturaux automatiques sont déjà assemblés au niveau mésencéphalique puis véhiculés en partie par la voie rubro-spinale (16). Ensuite, les voies vestibulo-spinale et réticulo-spinale se terminent à la fois sur les motoneurons et les interneurons qui influencent la musculature du cou, du tronc et des membres.

Le cervelet représente 50% des neurones de l'encéphale. Il est en dérivation à la face postérieure du tronc cérébral et se compose du vermis et du lobe flocculo-nodulaire en médian (contrôle de la posture, du tonus, de l'équilibration et de la locomotion) et de deux hémisphères latéraux (contrôle de la motricité extra pyramidale, de la programmation des paramètres moteurs de la force, durée, amplitude et direction). Par l'étude des pathologies cérébelleuses, il serait donc impliqué dans les ajustements posturaux préparatoires, les réactions posturales (latence et amplitude) ainsi que dans les synergies posturales (17).

De plus, les noyaux gris centraux (NGC) sont classiquement associés au contrôle de l'alignement corporel et du tonus (18) du fait de leur rôle majeur dans le réseau neuronal complexe qui traite et intègre une variété de signaux sensoriels. Les NGC font donc partie des principaux réseaux impliqués dans la conversion des informations sensorielles en réponses motrices. Ils fonctionnent selon deux voies :

- La voie directe : les informations en provenance des autres régions corticales sont acheminées à l'entrée principale, le striatum, puis vers la sortie, le globus pallidus



interne et la substance noire réticulée. Elle facilite le mouvement par la désinhibition des neurones toniques de sortie.

- La voie indirecte : le globus pallidus externe et le noyau sous-thalamique s'interposent entre les structures d'entrées et de sorties et modulent les signaux. Cette voie augmente l'inhibition tonique qui résulte en une inhibition du mouvement. Une autre structure module l'activité en optimisant les deux voies : la substance noire.

Leur désordre affecte les mécanismes d'intégration des informations sensorielles multimodales et le contrôle postural, comme il est possible de l'apprécier dans la maladie de Parkinson, la maladie de Huntington (MH) ou encore le syndrome de Gilles de la Tourette (SGT). Les résultats appuient de façon importante l'hypothèse de déficits dans le traitement et l'intégration des informations proprioceptives pour le contrôle de la posture chez les personnes atteintes de troubles des NGC, comme dans la maladie de Parkinson (19,20).

Enfin, un contrôle cortical de la posture a été mis en évidence en pointant l'implication de l'aire motrice supplémentaire dans l'élaboration des ajustements posturaux anticipateurs (21). Le cortex sensoriel associatif (polymodal) semble aussi impliqué dans le contrôle de la stabilisation (22).

1.3.2. Le « Reweighting »

Littéralement « repondération » en français, il se définit comme l'intégration sensorielle multimodale continue pendant laquelle, au cours d'un même mouvement, la contribution relative de chacune des afférences sensorielles est modulée selon les besoins. Cette redistribution sensorielle est nécessaire aux mécanismes d'ajustements posturaux en temps réel et contribue ainsi au contrôle postural stable et flexible (23,24). Comparativement aux adultes, les jeunes enfants sont reconnus pour avoir des réponses stéréotypées et peu adaptables. Ils sont donc moins flexibles dans la sélection de la stratégie posturale utilisée dans un environnement changeant. Ce phénomène pourrait être attribuable en partie, à une habileté inférieure de « reweighting » (23–25). En effet, les jeunes enfants, autant que les adultes peuvent utiliser les différentes informations sensorielles pour contrôler leur posture, mais c'est la contribution respective de chacune d'entre-elles qui varie au cours du développement. Des études suggèrent que le « reweighting » adaptatif serait présent en partie très tôt dans l'enfance (4 ans, le plus jeune groupe suivi) et se développeraient graduellement (23–25). D'autres constats suggèrent aussi qu'il pourrait être limité jusqu'à l'âge de 10 ans (23,24) et même jusqu'à 15 ans (25). Ces résultats sont en partie expliqués par le développement tardif des centres supérieurs.



En résumé, le cerveau doit considérer une multitude d'informations en provenance de diverses régions spécialisées : sensorimotrices, cognitives et comportementales-émotionnelles. Ces signaux devront assurément être intégrés ensemble afin de déterminer la réponse posturale appropriée. C'est en ça qu'intervient un réseau global impliquant le noyau rouge, le cervelet, les NGC et certaines parties du cortex cérébral. Les NGC, du fait de leur organisation en chaîne, forment des boucles parallèles de régulation dédiées à la planification et à l'exécution du mouvement (26). Cependant, il semblerait que le mécanisme d'intégration des signaux sensoriels, bien que présent, ne soit pas entièrement mature chez l'enfant surtout concernant le traitement multimodal (reweighting).

1.4. Un développement progressif

Le modèle développemental décrit qu'au cours des étapes initiales du développement, le contrôle postural dépend prioritairement des réflexes spinaux et du tronc cérébral. Par la suite, à mesure que progresse la maturation du système nerveux central, les circuits des centres supérieurs deviennent progressivement plus efficaces (27).

Cependant, il n'y a pas de consensus clairement établi concernant les stades de maturation du contrôle postural. On sait que l'efficacité de la stabilité posturale augmente non-linéairement durant l'enfance (4-10ans) et que cette augmentation est caractérisée par une diminution en amplitude et en fréquence des ajustements posturaux (28). Selon certains, c'est vers l'âge de 7 ans que les enfants atteindraient une performance comparable à celle des adultes (29-31). A cet âge ils utilisent en moyenne 70% de leur base de support alors que les enfants plus jeunes (4-6 ans) utilisent en moyenne seulement 44% de leur base de support (29). Cet accroissement soudain de la zone de stabilité (4-5 cm) à l'âge de 7 ans demeure inexplicable, mais pourrait être dû au phénomène de recalibration sensorielle (maturation du « reweighting »). En effet, les auteurs de cette dernière étude ont observé que l'amélioration n'était pas corrélée avec les paramètres morphologiques et suggèrent plutôt que leurs résultats supportent l'hypothèse d'une période de transition (29). Cette proposition est appuyée par plusieurs autres recherches ontogénétiques (27,32). Néanmoins, selon d'autres auteurs, quelques années précédant l'âge de la maturité (15 ans), les adolescents n'auraient pas encore atteint une performance comparable à celle de l'adulte (25). L'hypothèse ici est la suivante : il se produit des changements morphologiques importants lors de l'enfance et l'adolescence qui pourraient conduire à une sous-utilisation de la proprioception et une sur-utilisation des autres systèmes sensoriels pour orienter et stabiliser leur posture, notamment la vision.



Pour le système vestibulaire, dès la naissance les réflexes vestibulo-collique et vestibulo-spinal sont présents. Toutefois, c'est également vers 7-8 ans que l'information spécifique concernant la position et les mouvements de la tête par rapport à la surface de support devient progressivement plus disponible dans les centres de contrôle postural (33). Le développement du système vestibulaire serait plus lent que celui des systèmes visuel et proprioceptif. Des chercheurs ont démontré qu'à l'âge de 15 ans, ce système n'aurait pas encore atteint le niveau adulte (34). En effet, la stimulation vestibulaire galvanique, un outil de recherche qui perturbe les informations vestibulaires en stimulant le nerf vestibulaire à travers la peau, ne semble pas affecter le contrôle postural des jeunes adolescentes de 10-13 ans comparativement aux adultes (35).

Concernant le développement de la contribution des afférences visuelles au contrôle postural, deux hypothèses se distinguent à nouveau. La première soutient que les jeunes enfants utiliseraient l'information visuelle de façon dominante (32) et cette prédominance diminuerait graduellement à partir de l'âge de 6 ans pour s'égaliser avec l'importance des autres systèmes sensoriels (36). Le deuxième constat suggère plutôt que les afférences visuelles ne seraient pas le paramètre critique dans le maintien de l'équilibre chez les jeunes enfants. Avec ou sans vision, les enfants de 2-3, 4-6 et 7-10 ans activent de la même façon les réponses musculaires des jambes, du tronc et du cou suivant la translation postérieure rapide de la surface de support (37). Ce n'est que vers l'âge de 12 ans que l'étude des ajustements posturaux anticipés indique un comportement similaire aux adultes (38).

En somme, il n'y a pas de consensus sur l'âge de maturité du contrôle postural : certaines études suggèrent qu'il est quasiment atteint vers 7 ans tandis que d'autres ne le retrouve pas achevé pendant l'adolescence, théorisant un système proprioceptif et un processus de « reweighting » inachevé. Pareillement, certains auteurs suggèrent que le paramètre sensoriel de la vision est mature précocément et d'autres affirment plutôt qu'il n'aurait pas atteint sa performance maximale avant 12 ans. Ces larges différences peuvent être expliquées par le fait qu'il semble que la maturation des systèmes sensoriels soit dépendante du contexte. En effet, l'âge d'atteinte de la maturité sensorielle dépend de la tâche expérimentale dans laquelle les enfants et les adolescents ont été évalués (25). Des tendances permettent toutefois d'observer que la maîtrise de l'intégration somato-sensorielle et vestibulaire se poursuivrait progressivement sur une large période ontogénétique pour contrôler efficacement sa posture. Par opposition, la vision serait mature plus précocément.



2. Traitement visuel de stimuli sociaux

L'homme se montre capable d'identifier un nombre apparemment infini de visages, alors que seules de fines discriminations visuelles permettent de les identifier. Cette compétence particulière à identifier les visages suggère que le cerveau humain traite ces stimuli de façon spécialisée, en faisant appel à des mécanismes de traitement visuel de hauts niveaux cognitifs, différents de ceux mis en œuvre de façon plus générale en reconnaissance d'objets (39).

2.1. Les émotions

2.1.1. Définition

L'émotion, d'après le dictionnaire Larousse, est une « réaction affective transitoire d'assez grande intensité, habituellement provoquée par une stimulation venue de l'environnement ». Selon Scherer (40), cette réaction comporte plusieurs composantes : cognitive (qui détermine la nature et l'intensité de la réaction émotionnelle), physiologique (accélération du rythme cardiaque par exemple), expression motrice, tendances à l'action (préparent l'organisme à s'adapter, interagir avec son environnement de manière à assurer son bien-être ou sa survie) et sentiment subjectif (prise de conscience de son état émotionnel permettant de le réguler ou le verbaliser). Ainsi, la combinaison des éléments issus de toutes ces dimensions donne lieu à une possible gamme quasi infinie d'émotions particulières. Cependant, Ekman définit 15 émotions de base (41) avec parmi elles 6 émotions dites fondamentales qui sont celles perçues de façon non ambiguë et universelle sur le visage : la joie, la tristesse, la colère, le dégoût, la peur et la surprise (42).

Dans *Le Sentiment même de soi*, Antonio Damasio (1999) insiste sur la distinction à établir entre émotion et sentiment. « Les émotions sont des actions. Certaines se traduisent par des mouvements des muscles du visage, comme des expressions faciales de joie, de colère, etc..., (...). Les émotions sont donc, d'une certaine façon, publiques : on peut les mesurer, les étudier. Les sentiments, en revanche, sont privés, subjectifs. Ils sont ressentis par l'individu et lui seul. Il ne s'agit pas de comportements mais de pensées ». Les sentiments sont une conséquence de la réaction émotionnelle, c'est une partie du phénomène mental.

Les réactions émotionnelles sont communément évaluées avec l'IAPS (International Affective Picture System) (43) et plus récemment avec des vidéos qui ont l'avantage de procurer un ensemble de stimuli normatifs plaisant, déplaisant ou neutre (30). Des études ont montré chez des populations saines qu'il y avait une plus grande augmentation de l'activité du cortex visuel pour les images à valence positive ou négative contrairement aux images neutres et qu'elle était proportionnelle au niveau d'intensité de l'émotion (44,45). Vuilleumier et



Pourtois (46) décrivent dans une étude par IRM que le traitement des émotions sur un visage implique un travail interactif de plusieurs structures corticales (amygdale, gyrus fusiforme, cortex occipital et aires pariétales).

2.1.2. Neuro-anatomie

Papez (47), en 1937, a modélisé un circuit cérébral qui relie les projections des voies sensorielles à toutes les zones du cerveau en cause dans les émotions : striatum (le mouvement), cortex (la pensée et l'expérience consciente), hypothalamus (affects), et hippocampe (mémoire). MacLean (48), en 1949, a énoncé le concept de système limbique ou cerveau viscéral, qui regroupe en un seul sous-ensemble toutes les structures sous-corticales du circuit de Papez. Le cerveau se serait développé selon trois strates successives au cours de l'évolution, et le système limbique représente l'étage intermédiaire ou « cerveau paléo-mammalien » (49). Bien que ce modèle soit largement répandu, il est cependant de plus en plus contesté et l'on parle davantage de réseau émotionnel. Pour Joseph Ledoux & Muller (1997) (50), chaque émotion correspond à une unité cérébrale fonctionnelle distincte, c'est-à-dire à un circuit neuronal spécifique, résultat d'une longue sélection au cours de l'évolution. (C'est lui qui décrira le circuit de la peur et sa liaison avec l'Amygdale).

Ces différents circuits ont comme relais : le noyau amygdalien, le noyau accumbens, l'hippocampe, l'hypothalamus, le thalamus ainsi que certaines aires du cortex préfrontal et du cortex temporal (gyrus fusiforme appelé cerveau des visages) (52). Plus récemment, les études en imagerie ont montré que les NGC (surtout le putamen et le noyau caudé) s'activent de manière spécifique chez les sujets sains pendant qu'ils regardent des visages exprimant du dégoût (53). Également, chez les patients souffrant de la maladie de Huntington (désordre des NGC), des déficits de reconnaissance des émotions faciales ont également été mis en évidence (54). A son tour le cervelet apparaît impliqué dans les bases neuro-fonctionnelles des émotions au vu de son activation dans plusieurs contextes émotionnels (55).

Pour résumer, un changement interne ou de l'environnement provoque une réaction émotionnelle (phénomène mental traduit par des expressions somatiques) qui touche l'individu de manière holistique et incontrôlée afin de préserver son intégrité (ex : la peur d'un serpent entraînant le retrait). Une émotion est un processus adaptatif évolutif (elles évoluent pour aider les organismes à opérer les tâches fondamentales de la vie) résultant de l'interaction complexe de différentes structures cérébrales liées en réseau. Le point intéressant à retenir est que plusieurs structures semblent fournir une interface entre les deux domaines de l'affect et du contrôle postural, notamment les NGC et le cervelet.



2.2. Les modèles de reconnaissances des visages

- Modèle fonctionnel de Bruce et Young (1986) : c'est un modèle cognitif fonctionnel du traitement des visages dans lequel on peut différencier 2 grandes étapes. Une étape d'encodage structural du visage permet d'extraire les propriétés invariantes (formes) du visage (l'écartement des yeux, la taille du nez ou la configuration spécifique du visage entre deux personnes), ce qui génère une représentation du visage. Puis l'encodage pictural qui examine les traits variants (dynamiques) du visage : l'analyse des expressions faciales (émotions), des mouvements de la bouche (articulation phonatoire) et la direction du regard (attention conjointe). Ensuite, la représentation du visage est comparée aux représentations stockées en mémoire et si elle correspond à une représentation existante, le visage peut être considéré comme familier. Il est ensuite possible d'accéder aux connaissances sémantiques sur l'identité de la personne et ce n'est qu'en dernier lieu que se réalise la phase d'accès au lexique permettant la verbalisation du nom de la personne. Il ne fournit cependant aucune information concernant les bases neuro-anatomiques des processus.

- Modèle neuro-anatomique de Haxby, Hoffman et Gobbini (2000) : de façon plus récente, Haxby, Hoffman & Gobbini ont proposé un modèle neurocognitif de la reconnaissance des visages. Selon ce modèle, la reconnaissance des différents attributs d'un visage impliquerait un lien entre deux sous-systèmes :

- Un système central (localisé au niveau du cortex visuel occipito-temporal) qui serait spécialisé dans l'analyse perceptive visuelle des visages, avec un sous-système qui analyserait les aspects invariants du visage (gyrus fusiforme) et un sous-système (gyrus temporal supérieur) qui analyserait les aspects changeants du visage, parmi lesquels son expression faciale.
- Un système étendu constitué de multiples et diverses régions cérébrales spécialisées dans des traitements cognitifs spécifiques, impliquant l'amygdale et l'insula pour le traitement des émotions.

- Modèle neuro-anatomique de Adolphs (2002) : il vient enrichir les précédents en mettant en évidence les différentes stratégies de la reconnaissance des visages entre les nombreuses structures cérébrales. L'amygdale et le cortex orbito-frontal auraient pour rôle de lier la représentation de l'expression faciale observée aux connaissances conceptuelles de l'émotion, et ce par trois stratégies différentes :

- Les rétrocontrôles sur les cortex occipitaux et temporaux modèleraient la représentation du visage dans ces régions, contribuant ainsi à une catégorisation de l'expression faciale et à l'allocation de l'attention sur certaines de ses caractéristiques.



- Les connexions avec les diverses régions corticales et l'hippocampe déclencheraient les connaissances associées à l'expression faciale contribuant à la récupération des connaissances conceptuelles sur l'émotion.
- Les connexions avec les structures motrices (les NGC et les cortex somato-sensoriels de l'hémisphère droit), l'hypothalamus et le tronc cérébral déclencheraient les composantes de la réponse émotionnelle à l'expression faciale contribuant à la génération des connaissances sur les états émotionnels de l'autre personne.

2.3. Développement du traitement des visages

2.3.1. Développement du cerveau

Par l'étude de l'épaisseur de la substance grise, des recherches ont mis en évidence que la taille du cerveau augmente de 0.4 à 1.5 mm par an de 5 à 11 ans (56). Durant cette tranche d'âge, le gain en quantité de substance grise s'observe surtout au niveau des régions frontales et pariéto-occipitales par rapport aux autres régions corticales indiquant ainsi l'accroissement de certaines aires impliquées dans le traitement visuel et/ou dans le contrôle postural. Si l'on s'intéresse plus particulièrement au développement du circuit de la reconnaissance des visages, les résultats des recherches sont contradictoires. D'un côté des auteurs (57) prônent un rétrécissement progressif du réseau spécifique de la reconnaissance des visages avec l'avancée dans l'âge, évoquant une spécialisation, quand d'autres (58) considèrent que ces aires s'étendent avec l'âge et que, par conséquent, le nombre de neurones s'activant à la vue de visages augmente significativement avec le temps.

2.3.2. Développement de la reconnaissance des émotions faciales

Tout d'abord, la signification des expressions faciales est élémentaire avant l'âge de 2 ans et l'enfant ne semble capable d'interpréter et catégoriser les expressions faciales comme « émotion » qu'à partir de l'âge de 2-3 ans, à la même période de l'acquisition du langage (59). Ensuite, l'étude de Vicari et al. (60) s'est portée sur 120 enfants âgés de 5 à 10 ans en utilisant une tâche de désignation verbale des émotions : elle faisait passer des photos de différentes expressions faciales une à une devant les sujets qui devaient alors les désigner suivant les 6 émotions de base. Les auteurs ont montré que dès l'âge de 5-6 ans, les enfants étaient capables de désigner le nom d'une émotion qu'ils reconnaissaient sur un visage et que les performances des enfants augmentaient de manière significative entre les âges de 5-6 et 7-8 ans. De plus, les auteurs ont également démontré que la précision des jugements des enfants s'améliorait encore légèrement entre les âges de 7-8 et 9-10 ans, ce qu'a confirmé l'étude de Leppänen et Hietanen (61) auprès de 131 enfants âgés de 7 à 10 ans en rapportant une amélioration significative des performances de reconnaissance entre les âges de 7 et 8 ans,



de 8 et 9 ans et entre les âges de 9 et 10 ans. Ceci atteste de la capacité des enfants à progresser entre les âges de 5 et 10 ans pour reconnaître et nommer les émotions véhiculées par les expressions faciales. Enfin, l'étude de Lenti, Lenti-Boero et Giacobbe (62) conduite auprès de 151 enfants et adolescents âgés de 8 à 16 ans a montré que cette compétence ne se stabilisait pas à 10 ans mais continuait de se façonner lentement jusqu'à la fin de l'adolescence, avec des performances qui s'amélioraient de manière significative entre 10 et 11 ans pour la reconnaissance de la peur et, entre 13 et 14 ans, pour la reconnaissance de la tristesse.

En résumé, l'ensemble des études présentées ci-dessus indique que l'organisation basique des circuits neuronaux qui sous-tendent la reconnaissance des visages est partiellement présente très tôt et se développe de la petite enfance jusqu'à l'adolescence chez les neurotypiques. Les représentations faciales seraient donc innées et grossièrement définies pour permettre d'appréhender les visages et repérer les situations potentielles à risques. Concernant l'intégration de ces stimuli émotionnels, qu'il s'agisse du traitement local ou du traitement de l'ensemble du visage, le mécanisme serait probablement déjà opérationnel peu après la naissance, mais à un niveau d'immaturation par rapport au mécanisme adulte.

2.4. Modération par la plasticité cérébrale

La plasticité est définie comme la possibilité dont dispose un organisme à s'adapter à un environnement donné, qu'il soit interne ou externe à l'individu. Ce phénomène englobe donc tout autant l'adaptabilité du cerveau aux contraintes imposées par sa propre maturation qu'à celles que lui impose l'environnement extérieur (63). Selon Ridding et Rothwell (2006), « la plasticité est la capacité du SNC à modifier l'efficacité de la transmission au sein des réseaux neuronaux ».

D'après les récents travaux dans le domaine, l'augmentation qualitative et quantitative des expériences visuelles à certaines périodes critiques de maturation du système nerveux apparaît donc capable de moduler à la fois les réponses physiologiques mais aussi l'organisation fonctionnelle du cortex visuel, de la même manière que maintenir des stimulus auditifs variés facilite le bilinguisme (63). C'est-à-dire que la génétique et l'environnement interagissent pour entraîner des changements développementaux dus à l'effet puissant de l'exposition environnementale à certaines phases clés du développement, appelées périodes sensibles.

Ces périodes représentent un intervalle de temps optimal où les circuits neuronaux peuvent être sculptés et radicalement modifiés par l'expérience. Le mécanisme de prolifération synaptique suivi d'un élagage semblerait être à la base de la spécificité de ces périodes. La



conséquence de cela pour l'enfant est un progrès rapide dans le domaine concerné par l'amélioration des connexions neuronales. Mais que ce soit en mois ou en années, chaque fenêtre d'opportunité finit par se fermer et les connexions se stabilisent, rendant plus difficile l'apprentissage. Dans l'autisme, la particularité de développement par défaut de prolifération (moins de synapses) pourrait expliquer les problèmes de perception et d'interaction sociale. A l'inverse, un défaut d'élagage (trop de connexion synaptiques) pourrait expliquer les intérêts restreints, les comportements stéréotypés et le sens du détail (64). En effet, cette maturation atypique du système nerveux pourrait avoir un impact considérable sur les périodes sensibles.



3. Emotions et contrôle postural : une situation de double-tâche

3.1. Concept de ressources attentionnelles

3.1.1. Définition

L'attention est un processus cognitif complexe. Longtemps considéré comme un concept unitaire, l'on sait aujourd'hui qu'il s'agit plutôt d'un ensemble de notions plus spécifiques.

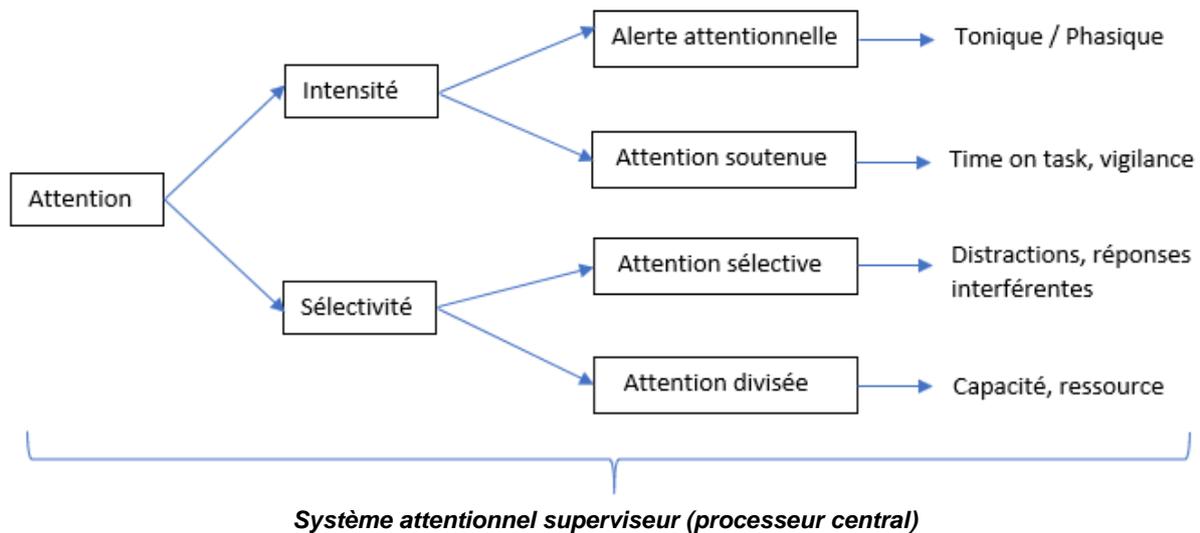


Figure 2. Modèle attentionnel (adapté d'après Van Zomeren & Brouwer, 1994)

D'après le modèle de Van Zomeren et Brouwer (1994), les fonctions attentionnelles peuvent être regroupées autour de deux axes : la sélectivité et l'intensité (**figure 2**). L'humain ne peut agir que sur un nombre restreint d'informations à la fois, et c'est pour cette raison que notre organisme met en place une sélection attentionnelle. Le caractère intensif de l'attention, lui, correspond à l'accroissement de l'activité perceptive, motrice et mentale : en d'autres termes à la concentration. Cela concerne donc la quantité d'information transmise à partir de l'environnement et utilisée dans le comportement (65).

Au final, 4 types d'attention se distinguent : l'attention sélective permet de récupérer les informations pertinentes à l'accomplissement d'une tâche donnée et de faire abstraction de celles qui ne le sont pas. Si l'on cible le domaine de la vue, l'attention visuelle se déploie sur le domaine visuel disponible, sélectionne ses aspects importants et améliore le traitement ultérieur des informations sélectionnées (66). L'attention soutenue intervient lorsque nous devons maintenir notre attention sur une longue durée et de façon continue. On peut la placer à l'extrémité supérieure d'un continuum passant par l'alerte tonique (état d'éveil) et la vigilance. L'attention divisée, quant à elle, contribue à répartir celle-ci entre différentes sources d'information. Ce type d'attention est celle utilisée lors des situations en DT (67). Par exemple, lorsque je tiens une conversation en courant sur un chemin accidenté, cela me permet de



comprendre ce que me dit mon interlocuteur sans tomber ou m'arrêter. Enfin, l'alerte phasique est définie comme l'habileté à maintenir une sensibilité optimale aux stimulations externes. C'est une modification très rapide et transitoire de la disponibilité du système attentionnel induite par un signal avertisseur. Cet événement va désengager l'individu de l'activité en cours. Si l'événement n'a pas d'importance et ne revêt aucun caractère prioritaire pour l'individu, ce dernier pourra le négliger grâce à des mécanismes d'inhibition cognitive et se réengager dans l'activité précédente (68).

L'inhibition cognitive, elle, fait partie des fonctions exécutives. Selon C. Boujon et Karen Lemoine, « l'inhibition intervient dans tout contexte ou situation nouvelle qui nécessite de l'attention. ». Elle permet d'ignorer les stimuli parasites qui sont inadaptés à l'action en train d'être réalisée. Les deux chercheurs ajoutent que « ce mécanisme est utile dans le sens où il permet de rendre disponibles et efficaces les processus d'analyse et de réponse pour les éléments pertinents ». Autrement dit, la notion de distraction lors d'une tâche serait due à un échec des processus d'inhibition, pouvant avoir une origine externe (ex : un bruit fort) ou interne (ex : une douleur vive, des pensées), qui ne joueraient pas leur rôle de filtre de manière adéquate pour la situation. Typiquement dans notre étude, si un bruit survient pendant l'observation des visages, ce procédé permettra à l'enfant de comprendre qu'il n'y a pas de danger et qu'il peut l'ignorer pour continuer l'analyse sans s'attarder dessus (69). Il ne semble pas y avoir de déficit de cette fonction d'inhibition chez la population des personnes avec autisme (67).

3.1.2. Modèle de traitement de l'information

Le premier concept de canal unique de traitement a été abandonné au bénéfice d'un modèle dit de capacité ou de ressources attentionnelles. Dans son modèle de 1973, Kahneman décrit, dans le système de traitement de l'information, l'existence d'un processeur central dont le rôle est de distribuer l'attention sur les différents éléments de la situation perceptive (5). Cette allocation est flexible en fonction des intentions de la personne, des facteurs motivationnels et de la pertinence biologique des éléments perceptifs, mais aussi en fonction de la demande en attention de la tâche. Autrement dit les deux axes de sélectivité et d'intensité de l'attention interagissent continuellement, régulés par le processeur central. Ce régulateur central serait la pierre angulaire qui articulerait trois domaines : mémoire de travail, fonctions exécutives et processus attentionnels. En fonction du champ, il s'appellera respectivement administrateur central, système exécutif ou système de supervision attentionnel. Malgré ces appellations variées, son rôle demeure identique : déterminer stratégiquement les priorités de traitement (70).



Il faut alors faire la différence entre deux points : l'attention, qui est la capacité à sélectionner les informations pertinentes pour l'action et les fonctions exécutives qui permettent de choisir les actions adaptées. En effet, la fonction exécutive peut-être définie comme «une autorégulation qui implique la capacité de s'engager dans une activité orientée vers un but avec les processus mentaux nécessaires, principalement régulés par les lobes frontaux » (71). Autrement dit, les fonctions exécutives (flexibilité, inhibition, organisation...) font varier le traitement de l'information en fonction des objectifs de la personne. Elles ont une portée générale, ce qui signifie qu'elles ne s'exercent pas sur une situation en particulier ou sur l'acquisition d'une capacité spécifique, mais qu'elles sont mises en œuvre dans de nombreuses situations de la vie quotidienne, et même lorsque l'enfant doit débattre et coopérer avec d'autres enfants, ou mener des projets seul ou en groupe. Mais ces fonctions, attentionnelles et exécutives, sont étroitement imbriquées, dans la mesure où la sélection des informations est guidée par les besoins de l'action à effectuer.

Selon Kahneman, chaque activité qui demande de l'attention est en concurrence avec d'autres activités potentielles au même instant. Quand une tâche est initiée, si sa demande cognitive est supérieure aux ressources d'attention disponibles, le niveau de performance décline. Pour caractériser le niveau de demande cognitive, donc le niveau d'attention requis pour la réalisation d'une tâche, il a introduit la notion d'« effort mental », qui reste un concept central dans toutes les théories actuelles. Plus la tâche est complexe, plus grand sera l'effort mental nécessaire à la réalisation de celle-ci (72).

Pour expliquer comment est traitée l'information, le modèle cognitif de Norman et Shallice (73) (**figure 3**) reste le plus en vogue aujourd'hui. Il considère que beaucoup des opérations de traitement sont exécutées sans contrôle attentionnel, déclenchées automatiquement par des signaux appropriés.

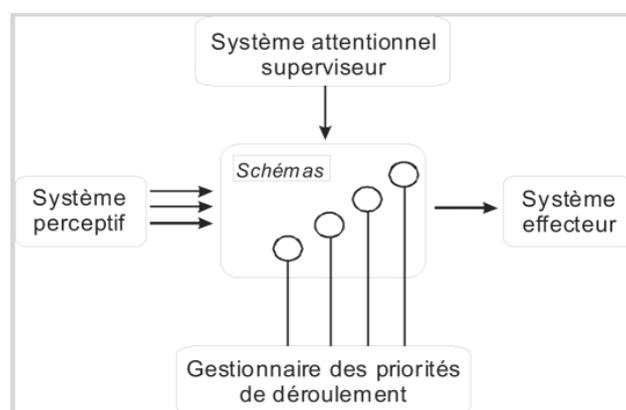


Figure 3. Modèle cognitif (adapté d'après Norman et Shallice, 1986)



Les schémas peuvent être compris ici comme des mécanismes cérébraux acquis, contrôlant les séquences d'action ou de pensée (par exemple : effectuer un trajet domicile-travail). Ce modèle distingue alors deux contextes. Dans les situations routinières, les informations perceptives de l'environnement déclenchent le schéma d'action qui reste opérant jusqu'à atteindre le but de l'action ou jusqu'à son inhibition par un autre schéma. C'est notamment le « gestionnaire des priorités » de déroulement qui assure la coordination des schémas les plus pertinents en fonction de l'objectif. Son rôle permet de gérer la compétition entre les différents schémas potentiellement activables connus. Dans les situations de nouveauté, le système attentionnel de supervision (processeur central) intervient alors puisque les routines engrammées ne sont plus adaptées à l'action. Il attribuera donc une partie de l'attention à cette tâche afin de développer une réponse satisfaisante et appropriée (72).

En résumé, le concept d'attention se réfère en fait à quatre processus distincts. Le modèle de capacité attentionnelle répartit les ressources limitées de notre système grâce à un « processeur central » qui régule l'allocation de l'attention en fonction du coût cognitif et de la nouveauté de la situation. Dans les tâches routinières le traitement se fera donc en utilisant des circuits nécessitant peu des processus attentionnels, permettant de garder un stock de ressource pour les autres activités en cours. Les domaines de l'attention et des fonctions exécutives sont tellement imbriqués que dans certaines hypothèses l'attention visuelle serait nécessaire au bon fonctionnement exécutif, qui est lui-même utile à une personne pour exprimer son ressenti ainsi que sa manière de penser et d'agir. Mais leur articulation à l'heure actuelle reste confuse.

3.2. Le paradigme de la double-tâche

Dans notre étude, c'est principalement l'axe de la sélectivité avec la fonction d'attention divisée (ou partagée) qui va être mise en avant lors de ce qu'on appelle une situation de DT. La DT correspond à la réalisation simultanée de deux tâches mais implique cependant certaines spécificités. Pour parler de paradigme de DT, il est nécessaire d'évaluer les tâches concurrentes isolément puis associées afin de mesurer l'effet de la DT sur chaque fonction. S'il se produit un changement significatif dans la prestation de l'une des tâches par rapport à leur condition isolée, cela indique une forte sollicitation des ressources attentionnelles, témoignant ainsi du paradigme de DT dont l'hypothèse est la suivante : deux tâches réalisées simultanément interfèrent si elles utilisent des sous-systèmes fonctionnels et/ou cérébraux identiques (74,75).



Les recherches ont montré que, globalement, on observait une diminution de la qualité des performances lorsque deux tâches sont réalisées en même temps par comparaison à une exécution séparée. En effet, le traitement de l'information nécessaire pour gérer la tâche secondaire interfère avec le traitement des informations nécessaires pour traiter la tâche principale. Ceci peut s'expliquer par le modèle de « compétition inter domaines » dans le contexte où l'on suppose qu'il existe un ensemble commun défini de ressources mentales pour les tâches cognitives et motrices (76). Dans ce cas, les deux tâches se disputent les ressources ce qui entraîne une diminution du rendement cognitif et/ou une réduction du contrôle postural. Toutefois, les performances à la DT sont aussi dépendantes des caractères des tâches impliquées : le niveau d'automatisme, le niveau d'expertise et les entrées sensorielles utilisées.

Concernant le niveau d'automatisme de la tâche, on distingue le « processus contrôlé », conscient, sensible aux autres demandes de traitement qui se produisent en parallèle et demandant beaucoup de capacités attentionnelles, du « processus automatique », non conscient, peu sensible aux autres demandes de traitement et ne nécessitant que peu de ressources attentionnelles : il s'agit en quelque sorte d'une routine acquise. On comprend bien alors que si les deux tâches font appel à des processus contrôlés, l'interférence négative sera plus importante que lorsqu'au moins une des tâches implique un processus automatique (77). Que ce soit pour la reconnaissance des émotions ou le contrôle postural, les deux fonctions n'impliquent que très peu de niveau de conscience et s'apparentent donc à des processus automatiques. Mais même une tâche posturale simple, comme se tenir debout, exige des ressources cognitives (78). Également, le niveau d'expertise pour chacune des tâches influence sur la performance de la DT. Cet effet est directement lié au fait que l'entraînement permet de mettre en place des routines ou des automatismes pour traiter la tâche, diminuant ainsi les ressources attentionnelles impliquées (79). Dernière caractéristique, l'interférence négative sur les performances est plus forte si les deux tâches utilisent la même entrée sensorielle. C'est-à-dire que les sujets seront meilleurs pour une DT où il s'agit de taper des mots présentés visuellement en répétant un message sonore que si les deux messages sont auditifs (même canal d'entrée sensoriel) ou visuels (entrée sensorielle et sortie motrice similaires) (80).

Si l'on reprend le schéma précédent des différentes afférences du système sensoriel nécessaires au contrôle postural (**figure 1**), on peut le compléter pour montrer en quoi la situation étudiée est susceptible d'être perturbatrice (**figure 4**). En effet, lors de l'observation d'un visage, c'est l'entrée sensorielle visuelle qui est utilisée. Cependant, elle intervient déjà également dans la régulation du contrôle postural : c'est le même canal d'entrée qui est utilisé pour deux tâches distinctes simultanées.



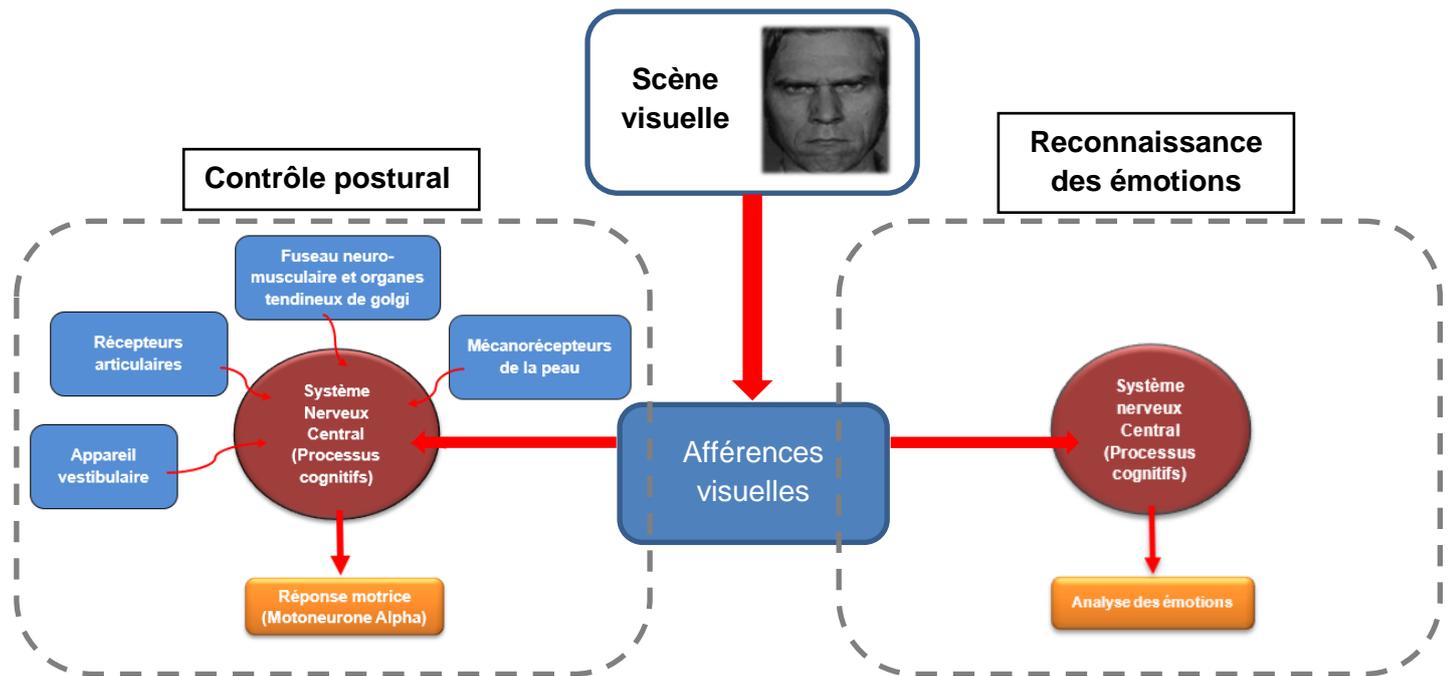


Figure 4. Schéma du paradigme de DT dans notre étude

3.3. Constat chez les neurotypiques

Certaines boucles corticales et sous-corticales ont été identifiées comme produisant une interface entre le circuit émotionnel et le système de contrôle moteur. Pour exemple, le striatum (ganglion de la base impliqué dans les mouvements involontaires du corps comme la posture) reçoit des fibres de structures limbiques comme l'hippocampe ou l'amygdale (8). Cela voudrait donc dire que des sous-systèmes cérébraux identiques pourraient être utilisés.

Actuellement, il y a relativement peu de données chez les enfants abordant le lien entre émotions et posture. Kujawa et al. (81) ont démontré que chez les enfants et adolescents les performances sont altérées (ex : temps de réaction plus long, moins de précision) en réponse à un stimulus affectif. Dans une autre étude, Chaplin et Aldao (52) ont conclu que la différence de genre dans la réponse aux stimuli émotionnels n'avait que très peu d'effet et était davantage liée à un phénomène social.

Dans la littérature chez l'adulte, la façon dont les émotions affectent le contrôle postural (projection vers l'avant ou vers l'arrière) est encore débattue. Des études ont montré qu'à la fois les images plaisantes et déplaisantes induisaient un déplacement postérieur du centre de pression alors que certaines études rapportent un comportement d'approche pour les contextes plaisants et de recul pour ceux déplaisants (43,82,83). Stins (83) aborde aussi le fait que ces oscillations le sont d'autant plus dans une situation d'équilibre précaire en comparant les deux situations unipodale et bipodale pendant le test. Par ailleurs, il a aussi été



mis en évidence que l'humain se « figeait » en réponse à un stimulus menaçant, c'est-à-dire que l'on observait une diminution des ajustements posturaux (84).

Une étude récente parue en 2016 (30) a démontré que des vidéos, jugées de haute intensité affective, ont les mêmes effets en termes de réaction posturale comparativement entre les enfants (7 à 12 ans) et les adultes, ce qui indique que la performance d'équilibre postural en réponse à un stimulus affectif serait acquise à partir de 7 ans. De plus, cette étude ne trouve pas d'effet projetant vers l'avant le centre de gravité pour un contexte plaisant ou déplaisant, en accord avec Horslen et Carpenter (31) qui mentionnent également que cet effet de « pencher vers l'avant » ne se retrouve que durant une projection brève d'image (1 à 5s) pouvant constituer un biais. Également, ils n'ont pas trouvé de réponse d'immobilisation dans les contextes déplaisants pour tous les groupes, celle-ci étant généralement observée dans les contextes les plus menaçants comme d'attaque ou de mutilation (83,85) ou bien quand la personne est confrontée pour la première fois à un contexte émotionnel (40). Une autre étude de 2015 (87) a montré l'impact de l'état émotionnel sur les déplacements posturaux qui influencerait la période de planification motrice de l'initiation de la marche.

Toutes ces recherches montrent effectivement les effets émotionnels sur le contrôle postural, mais on observe une vaste gamme de réponses pour un contexte émotionnel similaire : les processus de ces effets restent donc encore peu clairs. Il semblerait néanmoins que ces processus qui régissent le contrôle postural dans le contexte émotionnel soient matures dès l'enfance, à partir de l'âge de 7 ans. Une des principales limitations retrouvée dans ces travaux est que les auteurs ont du mal à contrôler l'intensité de la réaction que provoquera l'émotion projetée (83,84). Néanmoins, le constat chez les personnes avec autisme est tout autre.



4. Troubles du Spectre Autistique

4.1. Définition

L'autisme infantile ou de Kanner, du nom de celui qui l'a découvert, évolue aujourd'hui sous le terme de TSA qui est le plus employé et le plus adéquat du fait de la variabilité des symptômes de l'autisme dans leur sévérité ou dans l'âge de leur apparition, et de l'association avec d'autres troubles (retard de développement intellectuel, épilepsie par exemple). Ceci donne lieu à des tableaux cliniques bien caractérisés et d'autres plus atypiques. Autrement dit, les manifestations de l'autisme peuvent varier d'un enfant à l'autre. On distingue donc 4 troubles qui seraient en fait, d'après le consensus scientifique, une seule et même condition avec différents niveaux de sévérité : le trouble autistique, le syndrome d'Asperger, le trouble désintégratif de l'enfance et les TED-NOS (troubles envahissants du développement non spécifiés) . En effet, selon la classification internationale des maladies de l'OMS (CIM 10), la pathologie de l'autisme n'est plus considérée comme une affection psychologique ni comme une maladie psychiatrique mais comme un trouble envahissant du développement qui affecte les fonctions cérébrales (88).

Avec la 5^e édition du Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-V) publiée en 2013, on distingue 5 critères diagnostiques des TSA dont les deux premiers servent à en spécifier la sévérité et donc la « sous-catégorie » évoquée précédemment :

- 1) Déficits persistants dans la communication et les interactions sociales (le déficit de la réciprocité socio-émotionnelle en fait partie)
- 2) Modes restreints, répétitifs de comportements, d'intérêts ou d'activités (l'hyper ou hyporéactivité à des inputs sensoriels en est un élément)
- 3) Symptômes présents dans la période de développement précoce (avant 3 ans)
- 4) Symptômes causant une altération cliniquement significative du fonctionnement dans les domaines sociaux, scolaires, professionnels ou d'autres domaines importants
- 5) Ces perturbations ne sont pas mieux expliquées par la déficience intellectuelle ou un retard global de développement

Plusieurs outils de diagnostic existent, parmi eux l'Autism Diagnostic Observation Schedule (ADOS) et l'Autism Diagnostic Interview-Revised (ADI-R) sont validés par la HAS. Les TSA concernent aujourd'hui 1 enfant de moins de 8 ans sur 68 (ADDM Network and Year 2010 Investigators 2014) aux Etats-Unis, et une naissance sur 100 en France, dont la moitié environ présente une déficience intellectuelle (QI<70) et avec un ratio fille garçon de 1 pour 4 (Source INSERM).



Un terrain de susceptibilité génétique, une lésion cérébrale entraînant un défaut de la barrière immunitaire pendant la gestation... L'élément déclencheur reste encore à l'étude. Mais il en résulte une altération de la formation des synapses au cours du développement du système nerveux, entraînant une sélection anormale de réseaux de neurones (89). Il semble donc qu'il s'agisse d'un ensemble de déficits cognitifs, qui interagissent ou non et qui provoquent le phénotype que nous appelons autisme (**figure 5**). Des recherches ont mis en évidence des particularités de la connectivité anatomique, notamment un défaut de connectivité longue distance et une hyper-connectivité locale (83). Cependant, une étude récente tend à démontrer qu'il y aurait aussi une diminution de la connectivité courte distance : ce dernier point reste donc à éclaircir (91). Par rapport aux méthodes utilisées habituellement, la méthode BWAS (Brain Wide Association analysis) développée par des chercheurs de l'université de Warwick (Royaume-Uni) permet de voir d'un seul coup tout le cerveau en 3D au lieu d'étudier des petites zones séparément, ce qui leur a permis de mettre en évidence une mauvaise connexion fonctionnelle entre le cortex visuel du lobe temporal (responsable d'analyser les expressions faciales de ses interlocuteurs) et le cortex préfrontal (responsable de la communication sociale et des émotions) (92).

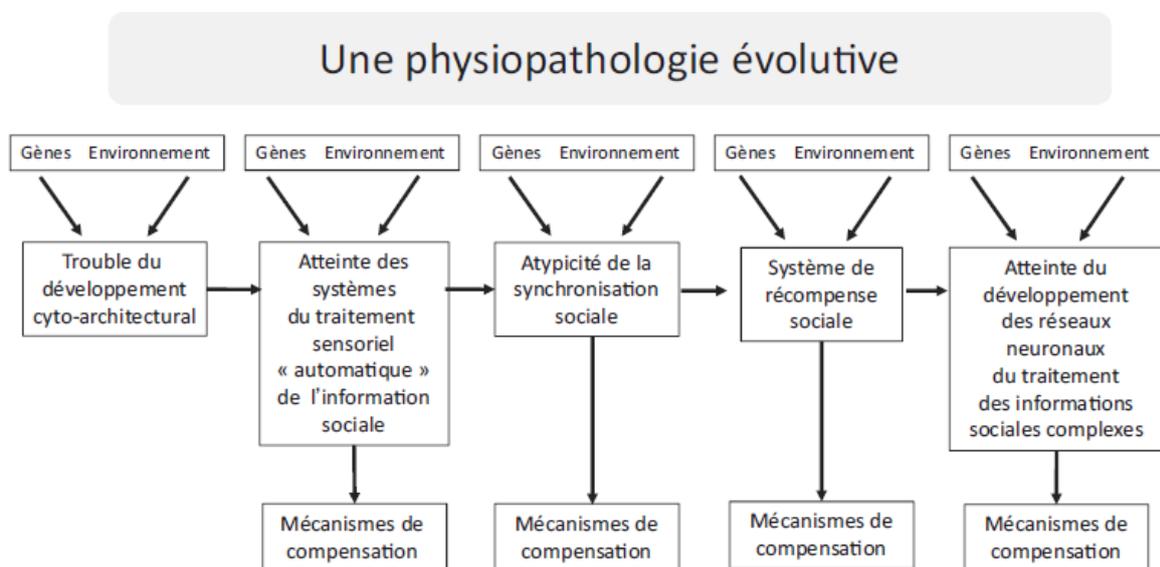


Figure 5. Schéma récapitulatif de l'hypothèse d'une cascade développementale dans l'autisme

4.2. Les modèles neuropsychologiques de l'autisme

La recherche en neuropsychologie cherche à savoir quels sont les déficits spécifiques présent chez la plupart des personnes avec autisme capables d'expliquer l'ensemble de la symptomatologie. Trois modèles théoriques se dégagent :



- La « Théorie de l'Esprit » (Theory of Mind) : l'hypothèse de base est que les personnes atteintes d'autisme présenteraient un déficit ou un retard sévère dans le développement de la Théorie de l'Esprit, c'est-à-dire dans la capacité à attribuer des états mentaux aux autres comme à eux-mêmes (93). Cette théorie est appuyée par d'autres résultats évoquant des déficits dans la compréhension des émotions et une utilisation de stratégies atypiques de reconnaissance des visages (activation anormale du gyrus fusiforme) (94).

- Le déficit des fonctions exécutives : il s'agirait d'un déficit dans la planification et le contrôle du comportement, donc au niveau de ce que l'on appelle l' « output ». Cependant, on suppose que ces déficits sont davantage une conséquence secondaire à des anomalies précoces du fonctionnement du lobe temporal médian que des facteurs causaux des troubles autistiques (95). Plusieurs données semblent soutenir cette hypothèse : le retard de maturation post-natale des lobes frontaux et la réduction de la connectivité fonctionnelle des lobes frontaux avec d'autres aires corticales et sous-corticales (96). Les déficits des fonctions exécutives semblent pouvoir fournir une explication à propos de certains symptômes autistiques, notamment pour les comportements répétitifs et les intérêts restreints.

- La faible cohérence centrale (FCC) : cette théorie est axée sur les dysfonctionnements au niveau de l'« input », faisant l'hypothèse d'un « style cognitif » particulier (97,98). En effet, lorsque nous observons une scène, les différents aspects et détails de celle-ci sont intégrés ensemble afin de donner une cohérence à l'ensemble. Dans l'autisme, la FCC signifie que ces personnes traiteraient les informations morceau par morceau, focalisées sur les parties, plutôt que dans leur contexte, engendrant par conséquent des difficultés à trouver une signification globale à un stimulus. Remarquez que l'on ne parle plus de déficit de traitement global mais bien de style ou de préférence cognitive spécifique : en effet, la FCC peut être considérée comme la résultante d'une supériorité dans le traitement local (99) et les sujets avec TSA peuvent retrouver un fonctionnement similaire aux neurotypiques concernant le traitement global s'ils sont orientés avec des instructions précises (100,101). En conclusion, la théorie de la FCC permettrait plutôt de comprendre les aspects des habiletés particulières et des pics de performances observés dans cette population (102).

Une seule théorie est insuffisante en elle-même pour justifier de tous les troubles autistiques. Certains chercheurs ont donc soutenu l'hypothèse d'une théorie combinée basée sur des déficits multiples (103), qui coexisteraient de manière indépendante ou pourraient interagir, donnant lieu aux multiples phénotypes du spectre. Ces dysfonctionnements seraient dus à des anomalies fonctionnelles des réseaux neuronaux (90), à une maturation particulière du système nerveux.



4.3. Etat des lieux de la recherche

4.3.1. TSA et information visuelle

Dans le domaine visuel, la communication socio-émotionnelle requiert des compétences pour traiter (observer, décoder, comprendre en contexte, etc.) les mouvements biologiques humains (par ex., les mouvements faciaux émotionnels, les mouvements oculaires, les mouvements labiaux et les gestes corporels) qui représentent une source d'informations sociales et contribuent à l'engagement social. Pour nous neurotypiques, les visages constituent un indice biologique et social primordial et capture donc notre attention au détriment des autres éléments de l'environnement avec lesquels on interagit (104).

4.3.1.1. Stratégie attentionnelle

Dans l'autisme le constat est en faveur d'une attention réduite (ou perturbée) pour les stimuli sociaux dès l'âge de 2 ans voire antérieurement (105). C'est-à-dire qu'ils ne classent pas comme prioritaire les visages par rapport à leur environnement. Leur stratégie d'attention sélective serait donc différente de la nôtre. Des études chez des nourrissons d'un an ont montré que les neurotypiques basculent davantage leur attention d'un objet à un individu quand il y en a un contrairement aux bébés avec TSA qui passent plus de temps sur les objets (106).

S'il semble que cette distinction est présente très tôt, il apparaît aussi qu'elle subsiste pendant une longue période. L'étude de Riby & Hancock (107) a par exemple montré que les adolescents avec TSA passaient plus de temps à fixer des zones dans l'arrière-plan plutôt que les visages lors de présentation d'images de visages statiques. Une autre étude d'eye-tracking (analyse du regard) a montré que lors de la présentation de vidéos faisant apparaître des individus dans un environnement particulier, les enfants avec TSA étaient plus attirés par les lettres des prénoms présents dans cet environnement que par les individus eux-mêmes (108). Von Hofsten et al. ont confirmé ces résultats en mettant en évidence l'exploration privilégiée de l'arrière-plan d'une vidéo de conversation entre deux individus par les enfants avec TSA (109).

Un point intéressant émerge lors de la comparaison des deux paradigmes (statique VS dynamique). Les films semblent moins capter l'attention des participants que les images, comme en témoigne la diminution du temps d'observation global des stimuli. La question reste ouverte : sont-ils moins intéressés ou moins capables de traiter ces stimuli plus complexes ? Si l'on prend la seconde idée, l'hypothèse faite est que la complexité de la tâche (incluant en plus les mouvements et le bruit) surcharge les processus attentionnels du sujet (110) donc celui-ci effectuerait un tri (trop de tri ?) des informations qui lui parviennent pour réduire leur coût d'un point de vue cognitif en évitant ces stimuli.



En résumé, les habiletés attentionnelles sont intactes, on ne peut donc pas parler de déficit de l'attention. Cependant, chez les très jeunes enfants, la majorité des études d'eye-tracking indique une diminution du temps d'observation d'un stimulus social par rapport à des enfants neurotypiques, comme s'ils ne le percevaient pas comme tel. Chez des enfants plus âgés, adolescents et adultes, des données à partir de l'utilisation de vidéos d'interactions sociales rapportent aussi une diminution du temps d'observation des visages chez les participants avec TSA (111). Ces résultats indiquent une analyse différente des repères sociaux. La surcharge cognitive potentielle associée aux stimuli complexes pourrait expliquer cette différence : si les personnes atteintes de TSA n'ont pas accès aux informations sociales du visage dû à leur caractère élaboré, elles auront moins d'occasions d'apprendre (naturellement, par l'expérience) les indices sociaux et donc de faire la différence visage/objet (110).

4.3.1.2. Exploration atypique des visages

Dans les études de reconnaissance faciale, le visage est habituellement scindé en plusieurs régions dites d'intérêt comme les yeux et la bouche. Goulème et al. (112) dans un article de 2015 montrent que chez le sujet neurotypique la région des yeux est plus explorée que les autres régions du visage au fur et à mesure que l'enfant grandit. Ceci est consistant avec le fait que les yeux fournissent de subtils détails pour la compréhension de l'état psychologique d'un individu (113). Cependant chez les personnes autistes, un pattern d'observation atypique se distingue. En effet, plusieurs résultats exposent que les enfants atteints de TSA, lors de l'observation de visages humains, expriment un temps de fixation réduit sur la zone des yeux comparativement aux personnes neurotypiques (3). Il a également été rapporté des performances plus faibles chez les sujets autistes quant à la reconnaissance du genre (4). Une des explications à ces singularités serait que la présence de multiples déficits sensoriels et moteurs (ex : motricité fine, déficits dans la planification motrice, contrôle postural) chez la personne autiste rend plus difficile l'intégration cérébrale complexe (114). Ceci se traduit par un retard dans la réponse oculomotrice et des difficultés dans la planification des mouvements des yeux (ex : fixation) vers une cible précise (115). Ce désordre d'intégration temporelle serait d'autant plus marqué que plusieurs canaux sensoriels sont sollicités à la fois. En effet, les personnes avec autisme sont souvent en difficulté pour traiter simultanément des informations issues de plusieurs modalités sensorielles (116), privilégiant un traitement unimodal.

Nakano et al. ont montré que lorsqu'un individu neurotypique observait un visage qui parle (et non une émotion faciale statique), son attention était alors davantage portée sur la bouche (108). Résultat qui n'a pas été retrouvé chez la personne avec TSA et qui par



conséquent vient contredire les hypothèses émises selon lesquelles les personnes autistes ont un intérêt spécifique pour la région de la bouche au détriment de la région des yeux. La plupart des études retrouvent donc ce pattern de moindre fixation sur la zone des yeux, mais les résultats concernant la bouche semblent à différencier d'une spécificité des TSA. En effet, la fixation sur la bouche participerait au développement du langage et prédit le niveau futur de vocabulaire de l'enfant (117).

En revanche, les personnes autistes montrent une interaction atypique entre la perception et l'attention, sous la forme d'un « biais local » traduit par une préférence cognitive pour les détails (c'est-à-dire une orientation attentionnelle envers les parties d'un tout au lieu du tout) (118) : c'est la théorie de la FCC évoquée précédemment. La littérature actuelle s'accorde pour dire que le fait de regarder un visage à l'envers ne change pas le degré de reconnaissance chez les sujets avec autisme alors que les sujets témoins présentent plus de mal à le reconnaître (4,119). Ceci est communément appelé l'effet d'inversion, et le fait qu'il ne soit pas présent ni chez l'enfant autiste, ni chez l'adulte, témoigne qu'il ne s'agit pas d'un simple retard de développement (119). Selon Carey et Diamond (120), seules les informations locales seraient disponibles lors d'une présentation des visages à l'envers. Meaux et al. (121) viennent appuyer cette hypothèse en montrant, lors de deux tâches de discrimination faciale, un meilleur traitement local mais une difficulté pour le traitement global de ces mêmes informations. Ces auteurs concluent que ceci est une piste pour « la compréhension du retrait social dans l'autisme puisqu'il semble que ce ne sont pas les stimuli sociaux en eux même qui soient « perturbateurs » mais plutôt le manque de perception globale de ces stimuli complexes (...), variables d'un individu à l'autre mais aussi d'un moment à l'autre ».

En résumé, il apparaît une stratégie attentionnelle spécifique précoce de reconnaissance des visages qui se traduit par deux observations : les sujets avec TSA fixent plus préférentiellement des stimuli non sociaux de la scène et l'exploration du visage se fait à priori avec un moins grand intérêt sur la zone des yeux. De plus, selon Deruelle et al., les particularités retrouvées ne seraient pas plus spécifiques aux visages qu'aux objets mais plutôt relatives à des troubles de certains traitements perceptuels notamment concernant les informations complexes ou le traitement multimodal (4). Il y aurait une hyper-sélectivité des informations occasionnant un défaut de cohérence centrale. Ainsi, ce pourrait être la préférence cognitive axée sur le détail dans le traitement des visages qui serait à l'origine des anomalies de compréhension des émotions faciales.



4.3.2. TSA et émotions

4.3.2.1. Une reconnaissance perturbée

Simmons et al. (2009) (122) ont observé que les personnes avec TSA ont des difficultés à reconnaître les émotions exprimées par les mouvements du corps et du visage, d'autant plus si le corps est en mouvement. Pour eux, le visage est traité comme un objet complexe sans lien social. Que ce soit par rapport à des photos de visages humains, ou bien des robots (123), les expressions émotionnelles sont globalement moins bien perçues par les personnes autistes que par les individus neurotypiques. De plus, les sujets avec TSA, comparativement aux sujets neurotypiques, ne reconnaissent pas mieux les émotions qu'elles soient basiques ou complexes (124) et passent même moins de temps sur la zone des yeux au fur et à mesure qu'elles se complexifient (125). Une thèse de 2015 a utilisé l'eye-tracking pendant que les sujets entretenaient deux conversations par skype : l'une relativement neutre et l'autre avec un contexte émotionnel. Il ressort que le sujet de conversation modère le temps de fixation sur la zone des yeux : à mesure que celui-ci se complexifiait émotionnellement, les participants avec autisme regardaient de moins en moins la zone des yeux, postulant une capacité réduite à décoder l'information de cette zone. L'auteur conclue que « la conversation chargée émotionnellement est probablement plus difficile en raison des exigences qu'elle impose en théorie de l'esprit (...). Par conséquent, l'attention visuelle peut être déplacée pour compenser la charge de travail et conserver les ressources cognitives » (126). Également, des chercheurs (127) ont montré que les individus avec TSA ont de plus grandes difficultés à reconnaître les émotions quand il n'y a pas de contexte, alors que les individus neurotypiques les reconnaissent identiquement avec ou sans contexte associé.

L'étude de Grelotti et al. propose une hypothèse concernant ce traitement inhabituel. Ils ont montré par imagerie que l'aire fusiforme des visages (FFA) s'active lors de la perception des personnages de manga plutôt que lors de la perception de visages humains inconnus chez des enfants autistes passionnés de manga japonais. Ceci soutient le fait que le gyrus fusiforme ne développerait pas de « spécialisation » pour les visages mais serait plutôt activé davantage pour des stimuli présentant un intérêt pour le patient (128). Dans le même sens, une activation normale du gyrus fusiforme a été retrouvée lors de la perception du visage maternel ou de visages d'amis alors qu'une hypo-activation de cette région apparaît pour la perception de visages non familiers chez des enfants présentant un TSA (94).

Également, certaines études ont utilisé des stratégies d'exploration « forcée » des visages : les sujets devaient suivre une croix de fixation dynamique les obligeant à explorer le visage de manière typique (90% du temps passé sur les yeux) ou atypique (12% seulement). Chez les sujets neurotypiques, la comparaison des deux montre une activation plus faible de



la FFA pour le trajet atypique (129). Chez les adultes avec TSA, il y avait une normalisation de l'activité de la FFA lorsqu'ils étaient contraints de réaliser une exploration typique du visage incluant la zone des yeux (100). De plus, chez les adolescents avec TSA, Dalton et al. ont rapporté une corrélation positive entre l'activation du gyrus fusiforme et le temps passé à fixer les yeux (130).

4.3.2.2. Un modèle hypothétique

La perception d'un objet comme d'un visage implique deux types de traitements : ascendant (bottom-up) et descendant (top-down). Le traitement ascendant est celui déterminé par les caractéristiques du stimulus, il constitue la base de l'identification perceptive. Le traitement descendant est celui qui fait ensuite intervenir les connaissances et expériences antérieures. C'est un processus de haut niveau cognitif permettant la suite de l'identification perceptive. Les tests projectifs en psychologie expliquent bien ce procédé. Si l'on vous demande de regarder une tâche d'encre, vous verrez d'abord une forme abstraite avant d'y repérer une forme qui vous paraît familière. C'est ce qui se passe également avec les nuages.

Les résultats de Rutherford et Towns (2008) (125) et de Brien (2015) (126) sont conformes à un modèle théorique selon lequel, pour une situation complexe, les personnes avec autisme orienteraient leur attention visuelle sur les caractéristiques de la scène nécessitant un bas niveau de traitement pour compenser les ressources cognitives limitées. De la même manière que conduire sur une route inconnue dans une tempête nous est pénible et épuise nos ressources attentionnelles beaucoup plus que l'acte de conduire sur une route connue en pleine journée que l'on a automatisée : on se concentre alors simplement sur des détails qui peuvent nous aider. Suite à son travail, Brien (2015) émet l'hypothèse que « les contextes émotionnels peuvent avoir les mêmes effets que conduire dans une tempête de neige pour les personnes avec autisme » (126). Rutherford et Towns (2008) concluent notamment que « c'est comme si plus la cible est complexe, plus la source d'information doit être simple » (125). Le travail de Neumann et al. (2006) vient conforter ceci en montrant une altération du processus attentionnel descendant et un traitement ascendant intact (131).



En résumé, le temps passé à explorer les yeux influe sur l'activation de la FFA chez les adultes avec TSA. Il apparaît donc que si la stratégie principale des personnes atteintes de TSA n'est pas d'explorer prioritairement la région des yeux, c'est plus à cause d'une attention réduite que d'une déficience fonctionnelle cognitive puisque l'exploration forcée rétablit une activation conforme de la FFA. Ce résultat a été retrouvé par une étude de 2014 comparant des dessins simples de visages d'enfants atteints de TSA avec ceux d'enfants sourds et de témoins. Ceux-ci ne montrent pas de déficits de traitement global (configuration globale préservée) mais un traitement marqué pour les caractéristiques externes au visage (132).

Une hypothèse ressort de ces constats : des anomalies fonctionnelles entraineraient, lors du développement, des ressources limitées de l'administrateur central, diminuant la performance des processus descendants. Pour compenser, les processus ascendants se spécialiseraient pour les informations à faible coût de traitement cognitif (comme la bouche) ayant comme conséquence un défaut de cohérence centrale. Ceci pourrait expliquer une partie des données sur l'exploration atypique dans les TSA et notamment pourquoi la zone des yeux, plus complexe, a tendance à être évitée.

4.3.3. TSA et contrôle postural

4.3.3.1. Un constat particulier

Les personnes avec TSA sont rapportées comme ayant des problèmes à moduler les informations sensorielles (133). Une méta-analyse vient d'être publiée en 2017 au sujet du contrôle postural des personnes atteintes de TSA, par Yi Huey Lim et al (2). Celle-ci rapporte une augmentation plus importante des ajustements posturaux chez la population TSA comparativement à une population témoin dans différentes conditions sensorielles : yeux ouverts (simple et double-tâche) (134–141), yeux fermés (135,138), sol instable (140) et lors de la visualisation de vidéos dynamiques (142). Les personnes avec TSA apparaissent donc plus instables en terme d'équilibre que leurs homologues neurotypiques.

De plus, aucune association significative entre l'amélioration de l'équilibre et l'âge n'a été trouvée chez les enfants atteints de TSA (114,137,139). Minschew et al. (2004) (114) ont également déclaré que l'équilibre ne commence pas à s'améliorer chez la personne TSA avant l'âge de 12 ans et atteint rarement un niveau d'adulte. Autrement dit, les déficits d'équilibre sont apparents dès la petite enfance et peuvent persister pendant toute la durée de vie. Les anomalies du contrôle postural peuvent avoir des conséquences sur le développement des compétences sensori-motrices et le fonctionnement social des individus TSA (109) (**figure 6**).





Figure 6. Déficiences fondamentales dans l'autisme (modifié par Stewart H. Mostofsky 2013)

4.3.3.2. La double-tâche et l'autisme

Huxhold et al. (144) ont étudié les effets d'une situation de DT sur le contrôle postural de sujets sains. Ils leur faisaient réaliser trois tâches cognitives assis, puis debout sur une plateforme de posturographie. Leurs résultats sont en faveur d'une attention partagée entre la tâche cognitive et le maintien de l'équilibre, puisque la situation de DT impacte considérablement l'équilibre postural. L'impact sur la cognition, bien que plus faible, est également retrouvé : il y a un meilleur ratio vitesse/précision mais pas de meilleure performance globale sur les épreuves cognitives. Plus tard, Stins et al. (145) ont étudié l'impact d'une DT cognitive de mémorisation sur le contrôle postural chez les enfants autistes légers. Leurs résultats confirment l'hypothèse que ces enfants peuvent utiliser des ressources excessives pour réguler leur équilibre. En effet, la DT affecte plus négativement leur performance posturale en comparaison à un groupe témoin. Également, un article de 2018 a comparé les réponses posturales des participants avec et sans TSA à diverses conditions d'écoulement optique dans un environnement de réalité virtuelle entièrement immersif. Celui-ci rapporte une plus grande instabilité des sujets avec autisme pour un flux d'écoulement vers l'avant en vision périphérique, comme s'ils n'arrivaient pas à prioriser l'information du champ visuel central par rapport à ce dernier (146). Cela peut rajouter des éléments à la situation perceptive pouvant surcharger les processus de traitement.

Par ailleurs, il y a peu de données à ma connaissance concernant les variations des ajustements posturaux en réponse à un stimulus émotionnel chez les enfants avec TSA. Ghanouni et al. (2017) (147) s'intéressent à examiner les effets d'un stimulus social (avec des visages) sur la posture des personnes atteintes de TSA comparativement au visionnage d'un objet. Ils montrent que les oscillations augmentent avec le nombre de symptômes autistiques pour la tâche sociale. Une étude récente est sortie en 2017 et confirme à la fois un déficit de



contrôle postural mais aussi une stratégie d'exploration des expressions faciales atypique lors de la visualisation d'expressions faciales (148).

Doumas et al. (149) ont évalué le contrôle postural dans trois conditions où les informations sensorielles des canaux visuels, proprioceptifs ou des deux canaux étaient modifiées suivant deux niveaux d'intensité différente. Les oscillations posturales des participants du groupe témoin à un niveau élevé d'altération des modalités sensorielles étaient identiques à celles des participants avec TSA à un niveau faible d'altération, mais cela seulement quand les deux types d'informations étaient modifiés en même temps. Ces résultats prouvent donc l'hyperréactivité des personnes avec TSA à l'information sensorielle, qui reflète une déficience de l'intégration sensorielle multimodale plutôt qu'une déficience de l'intégration sensorielle unimodale. En effet, une récente étude montre une augmentation de l'activation du cerveau postérieur à la suite d'une perturbation visuelle ce qui corrobore l'hypothèse selon laquelle l'instabilité posturale des TSA est due à l'hyperréactivité aux informations visuelles et sensorielles. L'étude fournit donc les premières preuves indiquant que la réponse posturale utilise davantage de ressources corticales pour maintenir l'équilibre en cas de perturbation visuelle chez les personnes atteintes de TSA (150). En montrant qu'une tâche visuelle augmente davantage les oscillations posturales qu'une tâche auditive chez les enfants avec TSA, Memari et al. (151) soulignent aussi que chaque entrée sensorielle influence le contrôle postural de manière spécifique et non proportionnelle au moment des mécanismes généraux d'intégration sensorielle.

4.3.3.3. Une prise en soin par l'activité ?

Yilmaz et al. (2004) (152) ont déclaré que la natation était une option thérapeutique efficace pour les enfants atteints de TSA en constatant des améliorations significatives dans la durée de l'équilibre dans diverses conditions sensorielles (notamment yeux ouverts ou fermés). Plus récemment, d'après le bulletin scientifique de l'Arapi, des résultats similaires sont retrouvés dans une préparation physique spécifique pour l'apprentissage du ski chez le jeune autiste. Les effets positifs se portent aussi bien sur la condition physique que sur les comportements inadaptés. Une des hypothèses avancées expliquant ces améliorations repose sur la stimulation physique et cognitive permanente des sujets autistes lors de l'activité physique (153). Kim et al. (2016) (154), eux, montrent les effets positifs et significatifs d'un entraînement au Taekwondo de 8 semaines sur l'équilibre unipodal et bipodal des enfants TSA. Également, une étude de 2014 signale qu'un programme d'entraînement à l'équilibre de 18 séances à raison de 3 par semaine améliorerait efficacement le contrôle postural chez les enfants atteints de TSA dans différentes conditions sensorielles (yeux fermés, pieds sur surface instable...) (155). En 2017, Pan et al. montrent l'impact d'une rééducation de 12



semaines de tennis de table sur les compétences motrices mais également sur les fonctions exécutives des personnes TSA (156). Travers et al. (2017) constatent une augmentation de l'équilibre postural à la suite d'un entraînement de jeux vidéo sur Wii. La nouveauté réside dans le fait qu'ils observent une retranscription dans des tâches de la vie quotidienne (157). Les déficits d'équilibre posturaux sont plus prononcés pendant les postures dynamiques chez les TSA ce qui suggère que les exigences accrues des activités quotidiennes où ils doivent modifier dynamiquement leur centre de gravité impliquent des déficits de contrôle postural plus graves (158).

En somme, que ce soit en simple ou double-tâche, les déficits d'équilibre sont apparents et cette plus grande instabilité chez les enfants atteints de TSA peut être due à une insuffisance d'intégration des multiples entrées sensorielles (visuelle, vestibulaire et somatosensorielle) (114,140). La recherche confirme que l'augmentation de la demande d'attention dans le domaine social peut réduire la capacité cognitive disponible pour le contrôle postural chez les porteurs de TSA (159) et par conséquent mener à de plus grandes oscillations posturales. De plus, il apparaît que les activités fonctionnelles améliorent à la fois l'équilibre dans les activités quotidiennes mais aussi les fonctions exécutives et donc les compétences sociales.

4.4. Prise en soins thérapeutique

4.4.1. Stratégies actuelles

Depuis 2012, la HAS a publié des recommandations à propos de l'intervention sur les TSA. Elle préconise des projets personnalisés fondés sur des interventions précoces, globales et coordonnées débutées avant 4 ans, dans les 3 mois suivant le diagnostic de TED qu'il y ait ou non retard mental associé (grade B). Ces interventions globales visent le développement du fonctionnement de l'enfant et l'acquisition de comportements adaptés dans plusieurs domaines :

- Celui de la communication et du langage par des séances d'orthophonie.
- Celui des interactions sociales par des interventions éducatives (méthodes ABA, Teacch, PECS, Denvers... (160)).
- Le domaine cognitif faisant intervenir les activités éducatives combinées aux travaux des orthophonistes, psychomotriciens et des psychologues.



- Le domaine sensoriel et moteur par l'intervention de l'ergothérapeute (sur la motricité fine, le graphisme, la communication, l'aide aux activités quotidiennes) et du psychomotricien (approche sensori-motrice, graphisme, schéma corporel, maîtrise des déplacements) (grade B).

La HAS souligne également que « les interventions évaluées mettent en évidence une amélioration du quotient intellectuel, des habiletés de communication, du langage, des comportements adaptatifs ou une diminution des comportements problèmes pour environ 50 % des enfants avec TED, avec ou sans retard mental. Aucune approche éducative ou thérapeutique ne peut donc prétendre restaurer un fonctionnement normal, ni même améliorer le fonctionnement et la participation de la totalité des enfants/adolescents avec TED (grade B) ». Ceci signifie donc que si la mise en place d'une prise en soins holistique de l'individu est conseillée, c'est parce qu'aucune approche spécifique ne permet de traiter efficacement l'autisme aujourd'hui, ce qui suggère que d'autres approches complémentaires peuvent être bénéfiques (traduit notamment par un essor de thérapies complémentaires comme l'art-thérapie, la musico-thérapie...).

En résumé, il n'existe pas de traitement propre des TSA, mais une prise en charge précoce et adaptée à l'enfant permettant d'améliorer ses capacités à interagir avec le monde qui l'entoure et à s'y adapter. Une fois validée par le médecin prescripteur, cette prise en charge est pluridisciplinaire et individualisée, en accord avec la variabilité symptomatique de la pathologie. L'enfant reçoit donc des soins qui l'aident à développer son langage, ses compétences cognitives, sensorielles et motrices, à adapter son comportement, à gérer ses émotions... Plus généralement à concourir à son bien-être et réduire les obstacles environnementaux.

4.4.2. TSA et masso-kinésithérapie

Bien que la masso-kinésithérapie ne soit pas explicitement citée parmi les recommandations de la HAS, la profession n'en demeure pas moins impliquée dans la rééducation des TSA. Ceci s'explique notamment par l'augmentation de la sollicitation des kinésithérapeutes face aux délais d'attente parfois longs pour des soins dans les structures spécialisées. Un questionnaire réalisé en 2017 rapporte que sur 188 réponses de masseur-kinésithérapeutes, 163 avaient déjà pris en soins des patients atteints d'autisme. Ceci signifie que quasiment 9 rééducateurs sur 10 soient confrontés à la rééducation de personnes avec TSA qu'ils soient libéraux, hospitaliers, dans des CAMSP ou bien dans des établissements médico-sociaux. Fait important, la prise en soins pour des troubles inhérents à l'autisme



(tonus, posture, développement psychomoteur...) représente presque 60% de ces patients selon cette enquête (161).

De plus, la précocité de la prise en charge masso-kinésithérapique est un facteur important pour le développement de l'enfant. Elle évite l'aggravation de déformations ostéo-articulaires, l'augmentation des hypo-extensibilités, les faiblesses musculaires et constitue une aide dans l'intégration sociale et environnementale pour l'enfant qui limitera ainsi la double étiquette "handicaps moteur et intellectuel". Le travail des appuis à la marche, l'apprentissage de parcours moteurs visant à utiliser à la fois les appuis unipodaux, les dissociations des membres supérieurs et inférieurs et le travail de l'équilibre (tant au niveau du sol qu'à une hauteur dite de sécurité) permettent de placer l'enfant dans des expériences sensitivo-motrices propices à son développement. Spécifiquement pour cette population, il convient au praticien de veiller à varier le déroulement des séances afin de ne pas s'enfermer dans une pratique routinière (162).

En effet, comme développé dans les paragraphes précédents, l'enfant doit pouvoir accorder toute son attention à l'exercice d'où la nécessité également de faire des pauses pendant la séance mais également d'installer un côté ludique car c'est dans le plaisir et le jeu que l'enfant participe et développe ses capacités d'apprentissage. Les axes de rééducation motrice à développer sont au nombre de trois et intercalent les champs de compétence des praticiens : développer l'imitation motrice, entraîner et développer les fonctions toniques, posturales et gestuelles et développer les mouvements de motricité fine (que la psychomotricité et l'ergothérapie développent plus spécifiquement) (163). Concernant les troubles posturaux, une multitude de déclinaisons d'exercices sont possibles : en plus des étirements et du travail de la marche, l'équilibre est testé à l'aide de déstabilisations assis sur un ballon de Klein, en station debout ou encore à l'aide de parcours moteurs (sauts dans des cerceaux, marche sur des socles de différentes formes et hauteurs, passage de barres) (162).

Il s'agit d'une prise en soins peu enseignée dans les écoles donc peu ou pas pratiquée actuellement. La difficulté est qu'il n'existe pas de méthode rééducative unique et surtout validée dans le domaine de l'autisme. Le kinésithérapeute s'inspirera donc de ses connaissances dans la rééducation motrice fonctionnelle globale (mobilisations, thérapie manuelle, plateaux proprioceptifs...) en adaptation avec les spécificités des TSA (163).



5. Problématique

Il y a un déficit de contrôle postural chez la population des personnes atteintes de TSA qui est majoré par l'utilisation des informations sensorielles d'origine visuelle (notamment lors de l'exploration des visages). En effet, dans le contexte émotionnel, on observe des plus grandes interférences négatives chez la population atteinte de TSA (148). Le fait qu'ils aient de moins bons résultats d'équilibration pourrait signifier que la tâche posturale est moins « automatisée » donc demande plus de ressources cognitives, qui ne seraient pas disponible lors des DT. Ceci s'explique par le modèle de capacité de Kahneman (5) : le partage des ressources entre les deux tâches aboutirait à une « demande » supérieure au stock utilisable pour le contrôle postural diminuant ainsi sa régulation, d'où l'accroissement des oscillations supérieur aux neurotypiques.

On peut émettre l'idée qu'un défaut de maturation du système nerveux pourrait en être la cause : soit par un déficit du « stock attentionnel » global, soit par un déficit spécifique du réseau neuronal du contrôle postural qui resterait immature. En effet, une récente revue de littérature de 2018 indique « des anomalies structurelles et fonctionnelles locales anormales dans les TSA de la substance grise cérébelleuse latérale postérieure, de la connectivité fonctionnelle cérébro-cérébelleuse et de la microstructure de la substance blanche » (164) or le cervelet apparaît comme une des structures jouant un rôle à la fois dans l'équilibre, dans la reconnaissance des émotions et dans la fonction d'attention (à une moindre mesure) (55). De plus, les différences neuroanatomiques des TSA ne s'expriment pas seulement dans le cervelet, mais aussi dans plusieurs structures corticales (165).

Plusieurs études citées précédemment nous apportent la preuve que des programmes fonctionnels peuvent améliorer l'équilibre et les fonctions exécutives chez les personnes avec TSA. Une autre étude récente souligne que les individus qui ont reçu un diagnostic précoce de TSA, mais qui ne répondent plus aux critères diagnostiques aujourd'hui, ont une analyse qui se « normalise », moins centrée sur les détails comparé aux personnes qui répondent encore aux critères de l'autisme (166). Cela montre que ces caractéristiques sont modifiables dans le temps.

À la suite de ce cadre théorique, notre hypothèse est la suivante : la rééducation de l'équilibre de l'enfant avec autisme permet d'améliorer l'efficacité de son contrôle postural, lui permettant de mieux gérer les situations de DT de la vie quotidienne. En effet, la plasticité cérébrale de cette période sensible, à travers les expériences sensori-motrices d'équilibre, pourrait favoriser d'une part la maturation du réseau cérébral impliqué, ce qui accaparerait moins de ressources attentionnelles et cognitives lors d'activités d'autre part. L'objectif de cette étude est donc d'analyser les effets du travail du contrôle postural chez les enfants avec TSA en comparant leurs tests d'équilibre en DT en pré et post-protocole de rééducation.





Méthode



1. Population

Les sujets de l'étude ont été recrutés par l'intermédiaire du Centre Ressource Autisme et du Centre Expert Autisme du CHU de Limoges. Ces deux établissements coopèrent pour mener à bien 4 missions dans le domaine de l'autisme en Limousin :

- Diagnostiquer précocement tous les enfants atteints de TSA en Haute-Vienne, Creuse et Corrèze.
- Mettre en place une intervention intensive précoce réalisée par des professionnels de terrain supervisés par des spécialistes experts en autisme.
- Constituer un pôle de référence en matière d'autisme.
- Développer la recherche dans un cadre inter universitaire.

Les critères d'inclusion et d'exclusion énoncés ci-dessous ont été transmis aux centres ce qui leur a permis de dresser une liste des enfants pouvant potentiellement participer à notre étude.

Critères d'inclusion :

- Avoir un diagnostic porté de TSA : en se basant sur l'ADI-R (Autism Diagnostic Interview-Revised) et l'ADOS-2 (Autism Diagnostic Observation Schedule) en référence au DSM-V et à la CIM-10.
- Être un enfant âgé de 5 à 14 ans. Ces âges correspondraient à une période sensible pour le développement du contrôle postural, majoritairement autour de 7 ans (29,30), mais qui pourrait progresser jusqu'à 14-15 ans (25,28). Également, l'efficacité du diagnostic avant 5 ans apparaît comme limitée.

Critères d'exclusion :

- Pathologies neurologiques (myopathie, neuropathie périphérique, poliomyélite antérieure, amyotrophie spinale infantile, paralysie cérébrale, Syndrome de Guillain-Barré).
- Pathologies traumatiques ou rhumatologiques du membre inférieur.
- Antécédents de déficit sensoriel visuel (une vision normale ou corrigée était acceptée).

Pour chaque participant, un consentement éclairé et un accord écrit de participation en règle avec la déclaration d'Helsinki ont été signés par les parents avant de commencer l'étude (**Annexe I**).

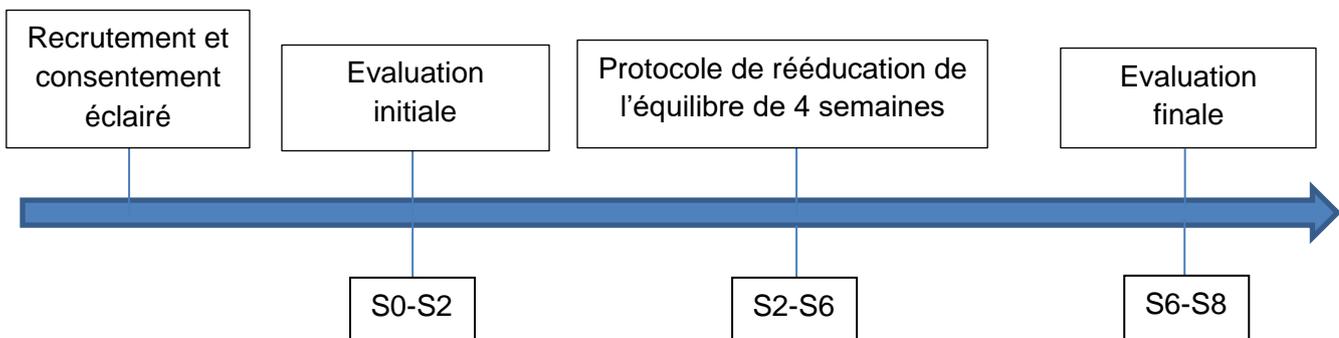


2. Design de l'étude

Dû à des contraintes temporelles et spatiales, la distribution des sujets a été effectuée non pas avec un logiciel de randomisation mais en fonction du lieu de résidence, pour certains très éloignés du Centre Ressource Autisme de Limoges, qui rendait impossible la participation au protocole de rééducation. Les 20 enfants restant à l'issue de cette première phase ont donc été répartis en deux groupes :

- Groupe expérimental : 10 enfants atteints de TSA suivant leur propre traitement quotidien en plus de notre protocole de rééducation.
- Groupe contrôle : 10 enfants atteints de TSA avec leur propre traitement quotidien uniquement.

2.1. Procédure expérimentale



La procédure expérimentale contient trois phases distinctes. D'abord, une première séance d'évaluation initiale du contrôle postural a été réalisée avec plateforme de posturographie sur laquelle différentes conditions se sont succédées : un essai de familiarisation, un essai d'évaluation de contrôle postural les yeux ouverts (YO), un les yeux fermés (YF), cinq essais en DT et un dernier essai les yeux ouverts pour contrôler l'effet fatigue. Durant ces cinq essais, le sujet a dû regarder cinq émotions de bases présentées aléatoirement (tristesse, peur, colère, joie, neutre) sans bouger.

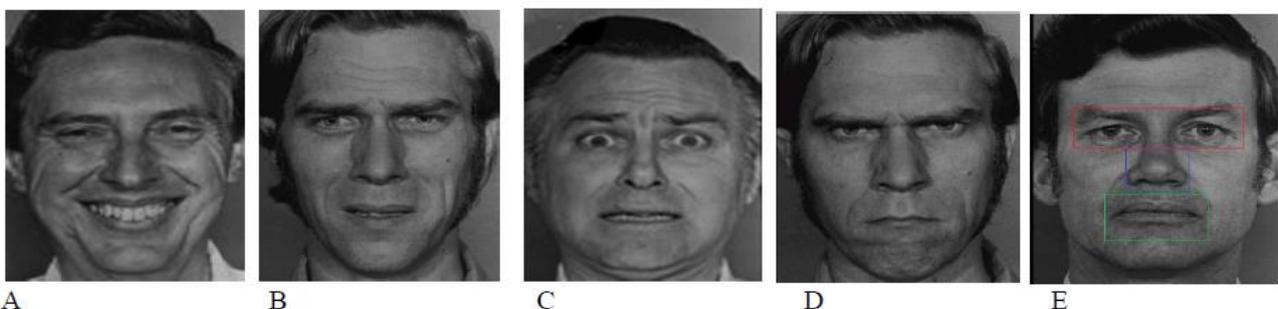


Figure 1: Five emotional faces: happy (A), sad (B), fear (C), angry (D) and neutral (E). Regions of interests (ROIs) are shown in the neutral face (E).

Figure 7. Photos issues de l'article de Goulème et al. (2017)



La deuxième phase était celle du protocole de rééducation de 4 semaines. Pendant cette durée, le sujet recevait deux séances par semaine d'environ 40 minutes de travail de l'équilibre en progressif fait d'exercices de déstabilisation, d'équilibre et de sauts. Les séances sont adaptées de 2 protocoles (167,168) issus de la littérature et ayant montré leur efficacité pour l'amélioration des performances d'équilibre (**Annexe II**). Chaque séance a été finie avec des exercices sur Wii Balance Board pour le côté ludique du travail et conserver au maximum la motivation des sujets.

La dernière phase fut l'évaluation finale du contrôle postural, dans les mêmes conditions que le test initial, afin de quantifier les progrès obtenus.

2.2. Consignes de passation

L'évaluation a été réalisée dans une pièce calme avec une lumière et une température constante. Tous les enfants ont reçu l'instruction de placer leurs pieds nus sur les marqueurs de la plateforme pendant l'expérience. Après avoir enlevé les cales, on a demandé aux enfants de se tenir calmement sur la plateforme et de regarder les images à l'écran situé 90 cm face à eux devant un mur blanc pour éviter les distractions, avec une consigne simple : « Regarde les visages sans bouger le corps » (148). Leurs bras devaient être le long du corps et ils devaient regarder droit devant eux. Avant l'expérience, les enfants ont été familiarisés avec la procédure de l'expérience, y compris la salle d'essai et la plateforme de force. Celle-ci a été calibrée avant qu'un premier essai de familiarisation soit effectué. Puis s'en est suivi deux essais d'évaluation du contrôle postural en simple tâche : un YO et un YF. Après cela, les mesures posturales en DT ont été effectuées pendant que le sujet explorait les 5x30 secondes de présentation aléatoire des différentes émotions, espacées de temps de repos pendant lesquels on s'assurait s'ils reconnaissaient, ou non, chaque émotion. Enfin, un dernier essai en simple tâche yeux ouverts a été réalisé pour contrôler l'effet fatigue.



3. Matériel

Pour les séances « bilan » d'évaluation du contrôle postural :

La capacité de contrôle postural a été mesurée par l'intermédiaire de la plateforme de posturographie Fusyo (Médicaptureurs, France) qui enregistre les forces de réaction au sol allant de 0.4 à 100N par le biais de 2034 capteurs. La fréquence d'acquisition sera réglée sur 40Hz (maximum). La plateforme (Dimensions : 530*600*70mm, poids : 12.5kg, surface active : 400*400mm, charge maximale : 250kg) est connectée à un ordinateur par port USB pour enregistrer les données avec le logiciel Fusyo Software. FUSYO permet de réaliser l'évaluation posturale et l'analyse des troubles de la statique et de l'équilibre, selon les recommandations de l'AFP85 (SOFPEL).

Lors des conditions de DT, les visages ont été présentés par diaporama sur un ordinateur de taille d'écran 15 pouces, de définition 1366x768 pixels et de fréquence d'actualisation de 60Hz.

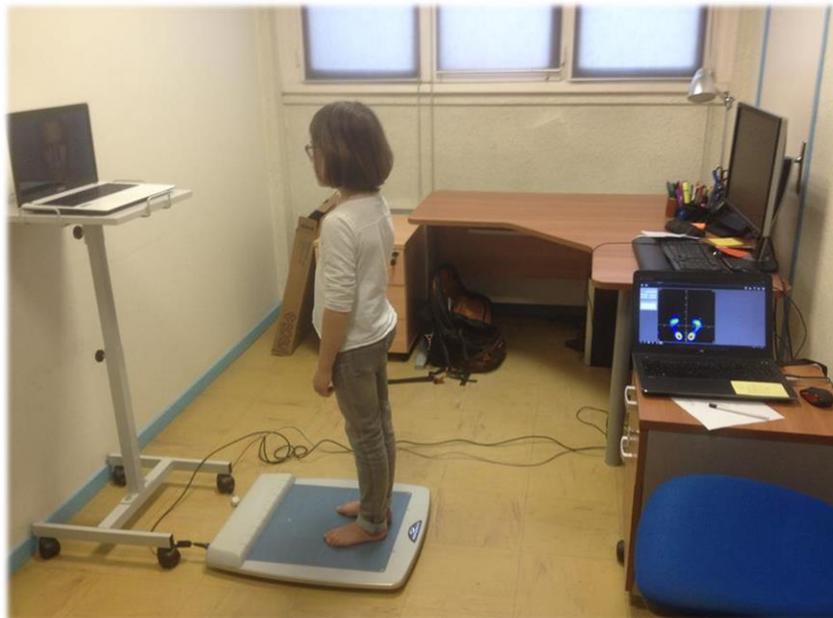


Figure 8. Présentation de l'environnement expérimental lors du bilan posturographique.

Pour les séances de rééducation :

Lors du protocole de renforcement de l'équilibre, le petit matériel appartenant à la liste suivante a été utilisé en fonction de la progression du sujet : petite planche, balles de différents diamètres, step, coussin en mousse.

La fin des séances a consisté en un travail d'équilibre sur la console de jeux vidéo Wii et le jeu WiiFit couplé à la Wii Balance Board, avec un feedback visuel sur une télévision.



4. Variables

Le critère de jugement principal est l'évolution de la stabilité posturale. Son évaluation a été faite par analyse du déplacement de la projection du centre de gravité au sol avec les paramètres suivants : surface du centre de pression (CoP), vitesse moyenne de déplacement du CoP, la longueur du CoP en fonction de la surface (LFS) et la variance de la vitesse normalisée en fonction de sa position moyenne en Y (VFY).

Le paramètre LFS est en quelque sorte une certaine image de « l'énergie dépensée » par le sujet pour contrôler sa posture orthostatique par rapport à la précision du système postural : pour une même surface, la longueur du déplacement du CoP peut être plus ou moins importante reflétant ainsi un plus ou moins grand travail (169). Ensuite, la variance de la vitesse (comparable à une grandeur d'accélération) et la position moyenne en Y ont une relation très forte ($r = -0,9$). En effet, plus le sujet est penché en avant, plus s'élève la tension des tissus des loges postérieures des jambes et moins les muscles de ces loges ont besoin de se contracter : une stratégie particulièrement bien étudiée par Loram et Lakie (2009) (170). Autrement dit, le VFY rend compte de l'activité musculaire utilisée pour contrôler l'aplomb gravitaire par les muscles de la loge postérieure de la jambe, et donc de la stratégie utilisée (de cheville ou de hanche) (171). La surface du CoP correspond à une ellipse avec 90% des points du CoP pendant l'enregistrement : c'est le paramètre par excellence pour mesurer la stabilité. Enfin, la vitesse moyenne du CoP est la vitesse moyenne de ses déplacements durant la période d'acquisition, soit 30 secondes ici.

Les paramètres posturaux de surface et de vitesse moyenne permettent de mesurer efficacement les variabilités spatiales du CoP (172). En revanche, il est prouvé mathématiquement que la longueur prise seule est un estimateur moins performant que les autres paramètres pour rendre compte de la stabilité posturale (173), c'est pourquoi elle ne sera utilisée que dans sa comparaison à la surface du CoP (LFS) ou à la durée d'acquisition (vitesse). Les descripteurs LFS et variance de la vitesse, eux, semblent aussi pertinents pour évaluer l'instabilité posturale (174).

Également, différentes variables individuelles et morphologiques ont été relevées chez les sujets de l'études : âge, taille, poids, sexe, latéralité, niveau d'activité sportive, nombres de séances réalisées du protocole de rééducation et progression dans celles-ci. Ces informations ont été répertoriées pour chaque participant sur une fiche de synthèse (**Annexe III**).



5. Analyse statistique

Pour l'analyse et le traitement des données, à la vue des faibles effectifs de nos populations, les tests retenus comme étant les plus pertinents sont des tests dit non paramétriques. Pour l'évaluation de l'évolution prétest/posttest de chaque groupe, l'échantillon étant apparié (puisque'une seule population) c'est le test T des rangs signés de Wilcoxon qui a été effectué. Pour l'étude de l'évolution intergroupe prétest/posttest (étude du Delta Δ), puisqu'il s'agit de séries non-appariées (deux populations indépendantes) c'est le test U de Mann-Whitney qui a été utilisé.

Le logiciel utilisé pour analyser les différentes variables était IBM SPSS Statistics version 22 (IBM Corp, Armonk, New York). Une différence significative a été retenue pour une valeur de $p < 0,05$.

Les résultats sont présentés sous la forme « Moyenne \pm écart-type ».





Résultats



1. Diagramme de flux

Notre étude était composée de 20 sujets répartis en 2 groupes et s'est déroulée sur une période d'inclusion comprise entre le 7 janvier et le 8 mars 2019. Finalement, 13 sujets ont été retenus pour les analyses. Le détail est explicité dans la **figure 9**.

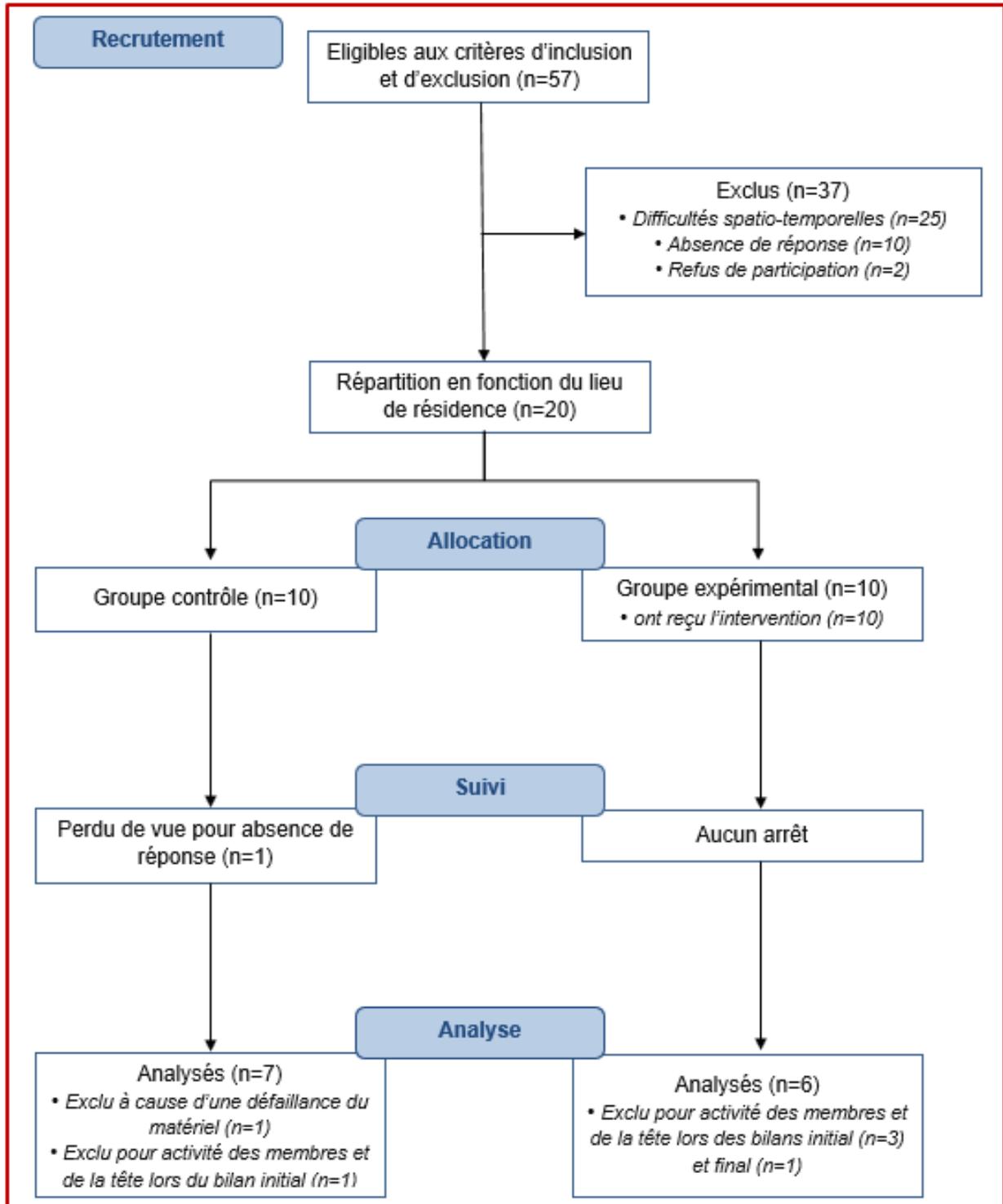


Figure 9. Adaptation du diagramme de flux CONSORT 2010 proposé par Cannac et al.



2. Traitement des données

2.1. Caractéristiques générales des populations

Au terme du protocole, les 13 enfants qui ont été inclus pour l'analyse se répartissaient comme suit : 7 dans le groupe contrôle et 6 dans le groupe expérimental. Les caractéristiques de ces participants sont détaillées dans le **tableau 1**.

	Groupe contrôle (n=7)	Groupe expérimental (n=6)
Age (années)	11,29 ± 1,11	9,83 ± 3,66
Sexe	M=100%	M=33,3% ; F= 66,6%
Taille (m)	1,49 ± 0,15	1,44 ± 0,23
Poids (kg)	46,43 ± 22,62	37,45 ± 16,11
Latéralité	G = 28,6% ; D = 71,4%	D = 100%

Tableau 1. Caractéristiques cliniques des participants

2.2. Evaluation de la stabilité posturale

Il s'agit du critère de jugement principal. Les différentes variables posturographiques retenues ont été relevées lors des bilans, une première fois avant le protocole (pré-test) puis une seconde fois après (post-test) pour le groupe expérimental, et à 6 semaines d'intervalle pour le groupe témoin. L'analyse s'est donc portée sur la comparaison, pour chaque groupe, des variables entre le pré-test et le post-test ainsi que sur la comparaison entre les groupes de cette évolution appelée delta Δ (différence entre valeurs post-test et valeurs pré-test). Les tableaux des valeurs sont respectivement disponibles aux **Annexe IV** et **Annexe V**.

Afin de mieux comprendre les résultats, il est important de savoir les choses suivantes :

- **Surface et vitesse moyenne** : plus les valeurs sont petites, plus le sujet est stable.
- **VFY** : plus il est bas, plus la stabilité est bonne.

Pour tous ces paramètres, un Delta (*valeur finale-valeur initiale*) négatif renseigne donc sur une amélioration du contrôle postural.

- **LFS** : sa lecture est plus complexe. Si le LFS est supérieur à la norme, le sujet dépense plus d'énergie pour maintenir sa posture que la population de référence. Si le LFS est inférieur à la norme, le sujet dépense moins d'énergie ou bien ne réagit pas à son instabilité (surface importante) (175). L'interprétation sera donc différente en fonction de la position de la valeur du LFS par rapport à la norme mais également en fonction du signe du delta.



2.2.1. Surface et vitesse moyenne du CoP

La **figure 10** montre la moyenne des deux groupes pour les paramètres de surface (A) et de vitesse moyenne du CoP (B), lors des bilans pré et post-protocole de rééducation pour chaque condition de simple tâche (YO et YF) et de DT (visualisation des émotions). Le test statistique n'a pas montré d'effet de groupe pour les deux paramètres. Aucun des deux groupes n'a amélioré significativement ($p > 0,05$) ses paramètres de surface et de vitesse moyenne du CoP.

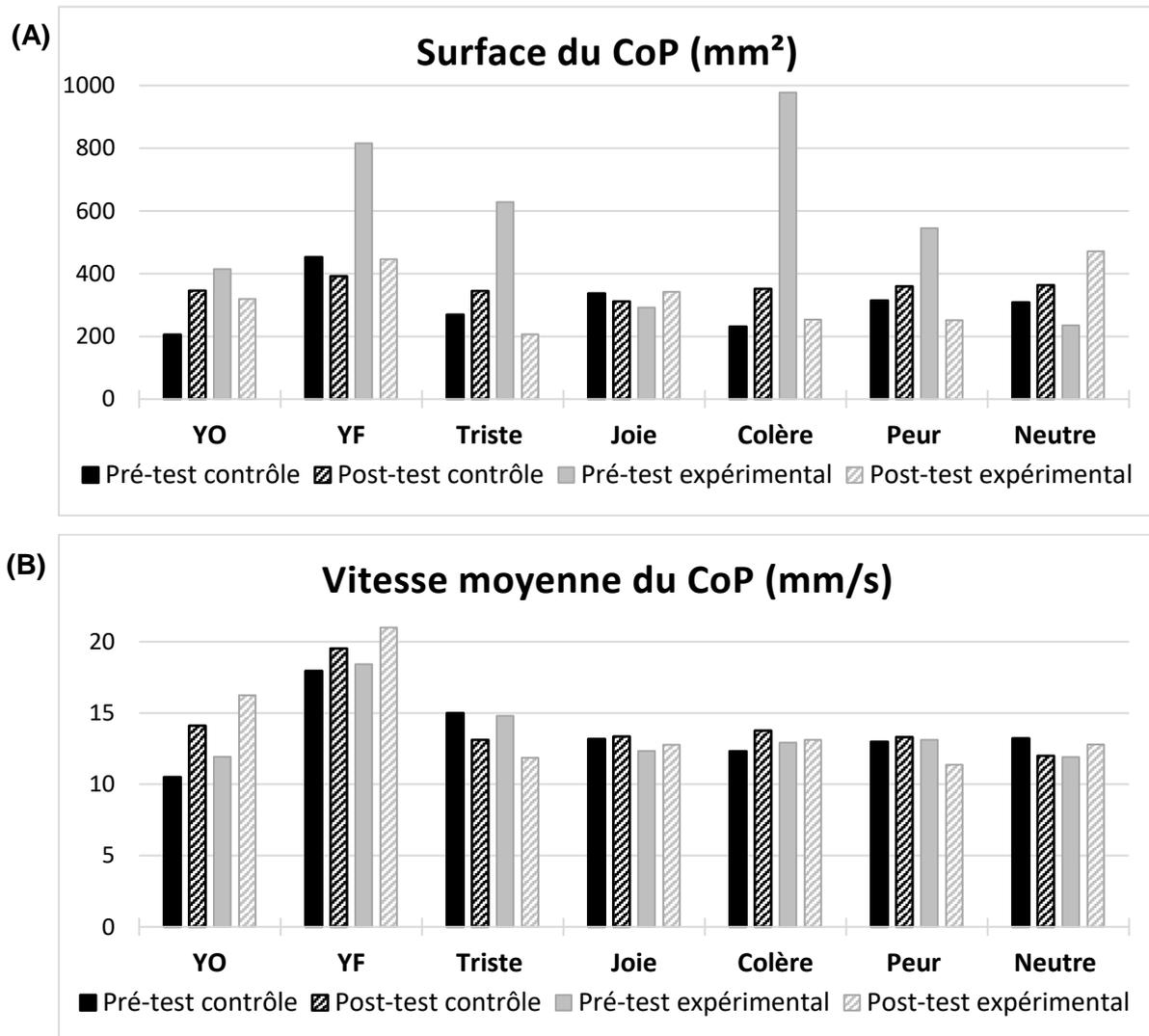


Figure 10A et 10B. Comparaison des moyennes des paramètres surface (A) et vitesse moyenne (B) des pré et post-tests pour les groupes témoin et expérimental dans les différentes conditions. L'étoile signifie une différence significative avec un $p < 0,05$.

Les graphiques comparant l'évolution delta des paramètres surface et vitesse moyenne du CoP entre les groupes pour toutes les conditions expérimentales sont disponibles en **annexe VI**. Le test statistique n'a pas montré d'effet de groupe, ce qui signifie que le groupe



expérimental n'a pas significativement amélioré son équilibre par rapport au groupe témoin que ce soit pour la surface ou la vitesse moyenne du CoP.

2.2.2. Paramètres LFS et VFY

La **figure 11** montre la moyenne des deux groupes pour l'enregistrement postural des paramètres LFS (A) et VFY (B) lors des bilans pré et post-protocole de rééducation pour chaque condition. Pour le paramètre LFS, le test statistique a montré une augmentation significative des valeurs du groupe expérimental pour les conditions YO ($p=0,043$) et lors de l'observation en DT du visage « colère » ($p=0,027$). Pour le VFY, ce même test a indiqué une diminution significative du paramètre pour les conditions « joie » ($0,046$) et « peur » ($0,046$), toujours pour le groupe expérimental. Aucune valeur significativement statistique n'est retrouvée pour le groupe témoin.

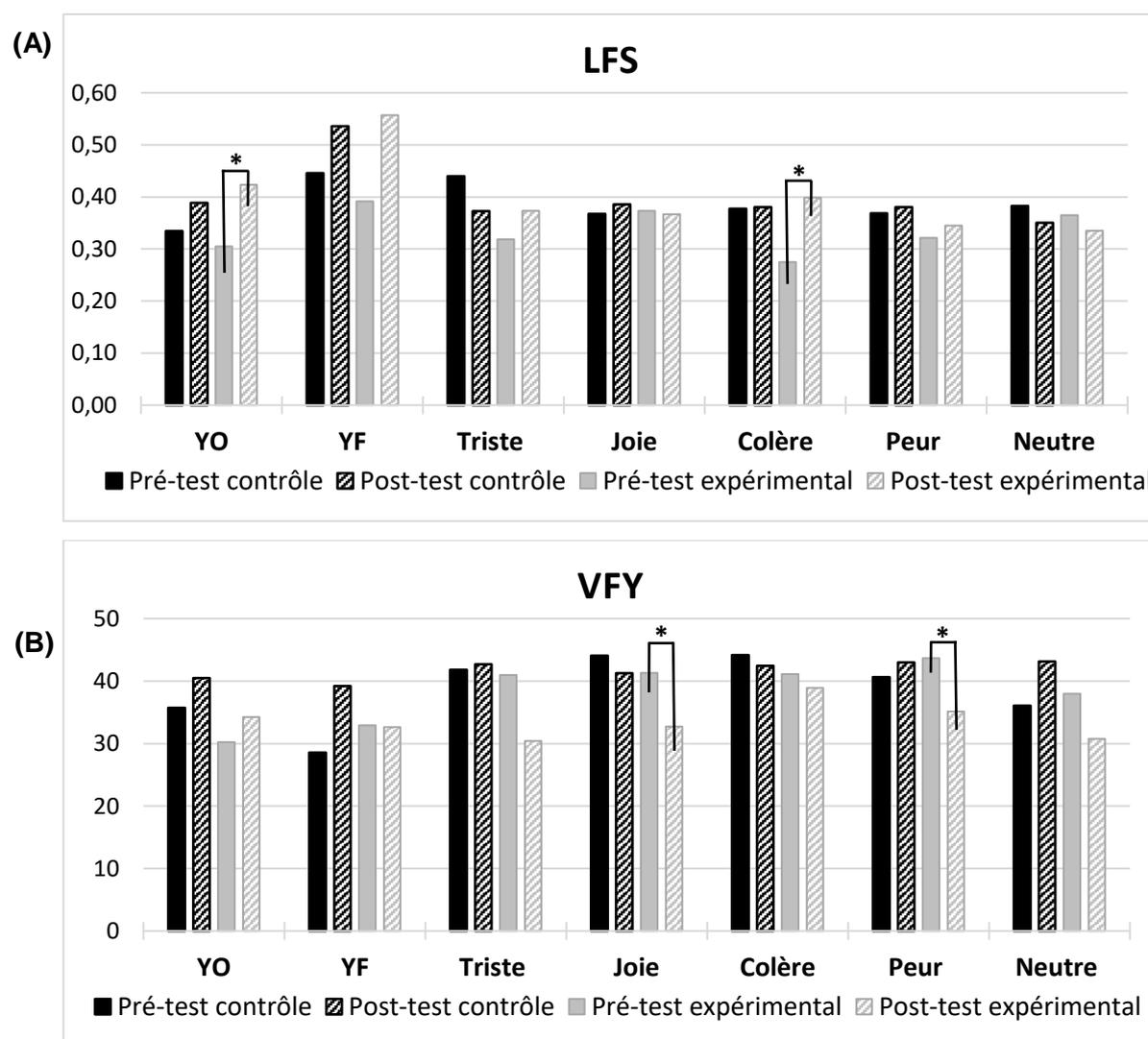


Figure 11A et 11B. Comparaison des moyennes des paramètres LFS (A) et VFY (B) des pré et post-tests pour les groupes témoin et expérimental dans les différentes conditions. L'étoile * signifie une différence significative avec un $p<0,05$.



La comparaison de l'évolution delta entre les deux groupes pour les paramètres LFS et VFY est également disponible en **annexe VI**. Malgré les progressions significatives des deux paramètres du groupe expérimental pour certaines conditions, le test n'a mis en évidence aucune signification statistique lors de la comparaison intergroupe. Cela signifie que l'amélioration du groupe expérimentale n'est pas significative en comparaison à celle du groupe contrôle, et cela en dépit de la tendance des graphiques.

2.3. Analyses secondaires

2.3.1. Caractéristiques anthropométriques

Aucune différence significative n'a été retrouvée à l'issue du test U de Mann-Whitney entre les 2 groupes en ce qui concerne les moyennes d'âge, de taille et de poids.

2.3.2. Effet fatigue

L'analyse de l'effet fatigue par le test T des rangs signés de Wilcoxon entre le premier et le dernier essai les yeux ouverts n'a retrouvé aucune valeur significative, que ce soit en pré ou en post-test, pour le groupe contrôle ou pour le groupe expérimental.

2.3.3. Coût de la DT

Pour connaître l'impact de la visualisation des images émotionnelles sur l'équilibre postural, le coût de la DT a été calculé pour chaque émotion en comparaison à la situation les yeux ouverts au moyen de la formule suivant (176) :

$$\text{Coût de la double tâche} = \frac{\text{Valeur simple tâche} - \text{Valeur double tâche}}{\text{Valeur simple tâche}} \times 100$$

Le résultat se retrouve exprimé en pourcentage. L'analyse du coût de la DT s'est de nouveau portée sur la comparaison des moyennes pré-test/post-test intragroupe et la comparaison des évolutions (deltas) entre les groupes.

Afin de mieux comprendre les résultats, il est important de savoir les choses suivantes :

Pour la comparaison pré-test/post-test, si le pourcentage du post-test est inférieur (plus négatif) à celui du pré-test alors cela veut dire que la DT affecte plus le paramètre d'équilibre en question qu'initialement. Si la valeur du post-test est supérieure (moins négative ou plus positive) à la valeur du pré-test, cela signifie que la DT perturbe moins l'équilibre du sujet qu'avant : il y a donc eu une progression en DT. Seule l'interprétation du paramètre LFS subit la réflexion inverse.

Pour la comparaison des deltas, c'est le même raisonnement. Les graphiques correspondants sont consultables en **annexe VII**. Après analyse, aucun résultat significatif n'émerge de la comparaison intergroupe : avec ou sans protocole de rééducation, la situation de DT n'a pas statistiquement moins d'impact sur l'équilibre du sujet.



2.3.3.1. Surface et vitesse moyenne du CoP

La **figure 12** montre le pourcentage d'impact des différentes situations de DT sur la tâche d'équilibre en pré et post-test pour les paramètres surface (A) et vitesse moyenne du CoP (B). Les valeurs ont été analysées avec le test statistique et un seul score significatif a été mis en évidence pour le groupe expérimental, celui de la vitesse moyenne en condition « peur » ($p=0,046$).

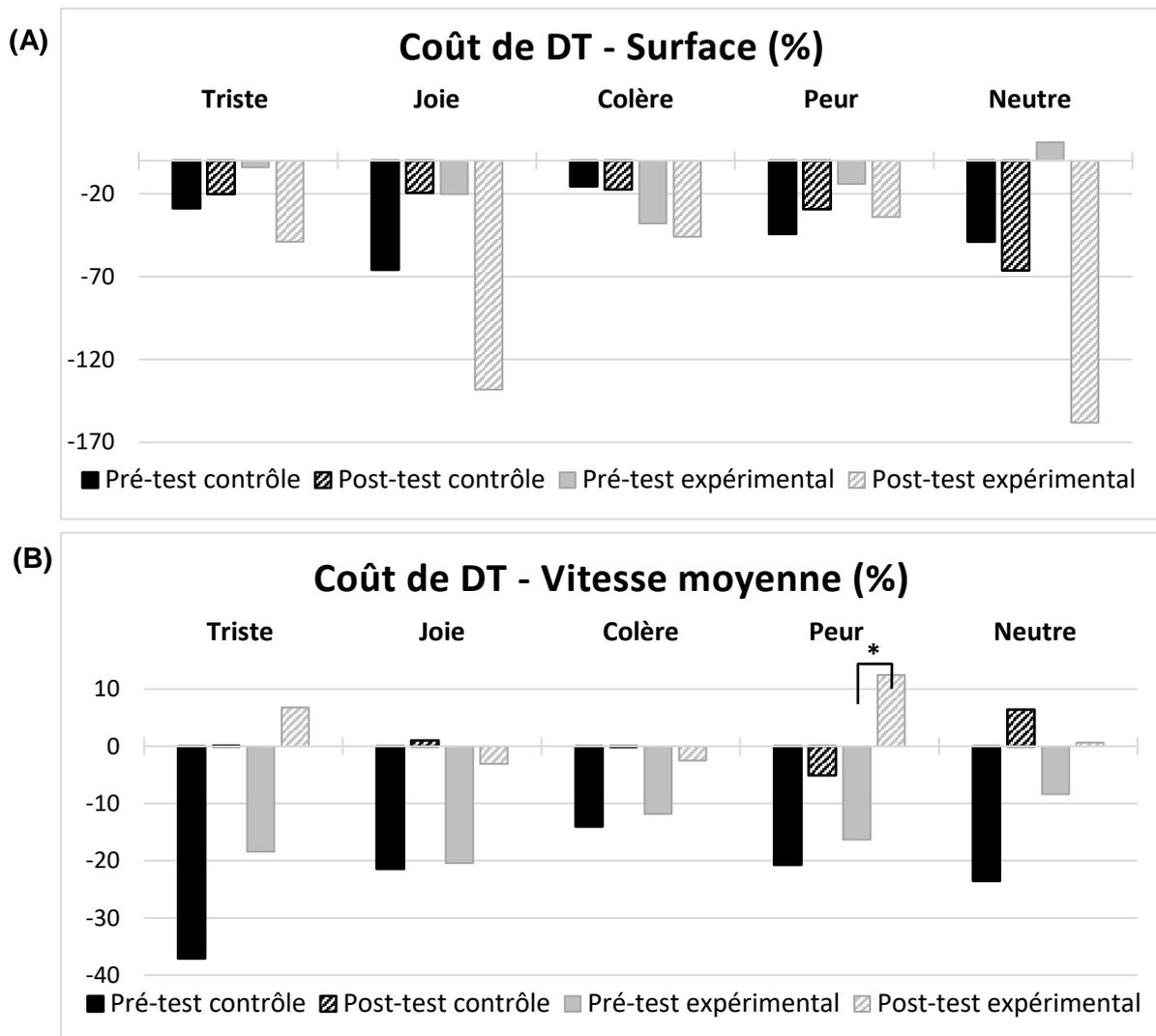


Figure 12A et 12B. Comparaison du coût de DT des paramètres surface (A) et vitesse moyenne (B) du CoP des pré et post-tests pour les groupes témoin et expérimental dans les cinq situations de DT.



2.3.3.2. LFS et VFY

La **figure 13** montre le pourcentage d'impact des différentes situations de DT sur la tâche d'équilibre en pré et post-test pour les paramètres LFS (A) et VFY (B) des deux groupes. Pour le LFS du groupe expérimental, l'analyse par le test statistique a indiqué deux valeurs significatives pour les conditions de visualisation des visages « joie » et « neutre » ($p=0,028$ pour les deux). Pour le VFY, aucune valeur significative n'est ressortie de l'analyse statistique.

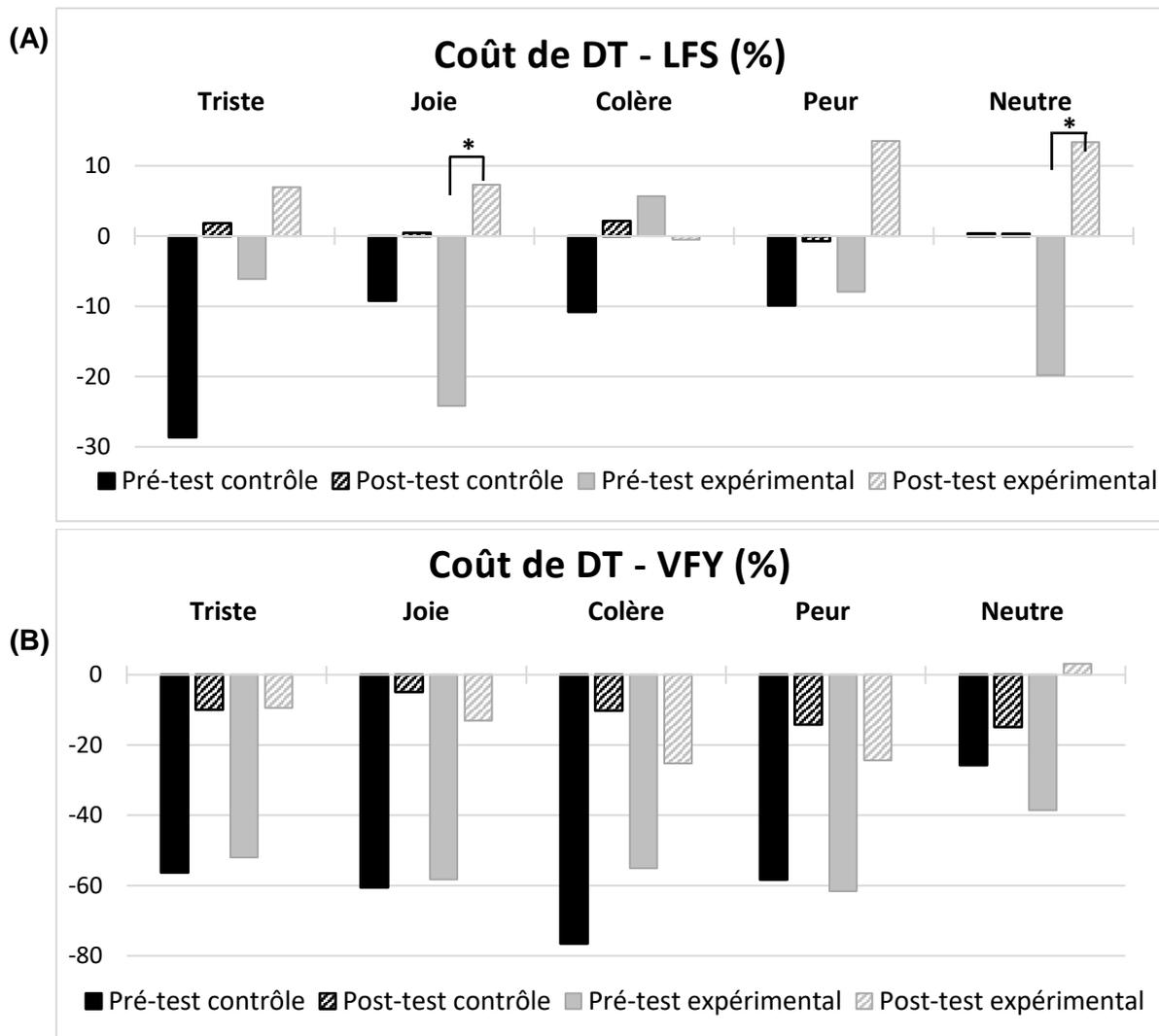


Figure 13A et 13B. Comparaison du coût de DT des paramètres LFS (A) et VFY (B) des pré et post-tests pour les groupes témoin et expérimental dans les cinq situations de DT



Discussion



1. Objectifs de l'étude

Cette expérimentation avait pour objectif d'analyser les effets d'un protocole de rééducation du contrôle postural chez les enfants avec TSA, en comparant les différents paramètres de leurs tests d'équilibre en pré et post-protocole de rééducation, en condition de simple et DT.

1.1. Hypothèse principale : amélioration du contrôle posturale

La revue de littérature indique un faible contrôle postural dans la population des personnes avec autisme (2). Elle met aussi en évidence l'impact positif des activités sportives sur celui-ci (154,156,157) mais nous n'avons retrouvé qu'un seul papier évaluant l'effet d'un protocole de renforcement de l'équilibre dans la population des TSA (155). La nouveauté de notre étude réside dans le fait que, à ma connaissance, aucune recherche précédente ne s'est portée sur l'analyse de l'équilibre post-protocole en situations de DT en contexte émotionnel. Ce travail s'inscrit dans la continuité des études de Goulème et al. (2017) et Ghanouni et al. (2017) (147,148) qui ont utilisé des images pour étudier l'impact d'un stimulus social sur le contrôle postural des enfants avec autisme.

La tendance de nos résultats reste à relativiser mais montre globalement une amélioration des données pour les sujets ayant suivi le protocole par comparaison aux sujets témoins en accord avec la littérature (152,154,156,157). Pour la surface du CoP, on observe une diminution du paramètre pour 5 des 7 conditions mais non-significative ni pour la comparaison pré-test/post-test ni au niveau de la comparaison des deltas, ceci pouvant s'expliquer par l'hétérogénéité des données traitées et par le faible échantillon de population analysé. La différence qui en ressort reste néanmoins intéressante, d'autant plus que le groupe contrôle ne montre pas d'évolution ou très peu. Contrairement à nos hypothèses initiales, la vitesse moyenne du CoP est le paramètre qui évolue le moins : on note une évolution positive pour seulement 2 des 7 paramètres et semblable dans nos 2 groupes. Une contre-étude serait nécessaire afin de savoir si cela est dû au hasard ou bien si avec plus de puissance les résultats se confirment. En effet, ce manque de progression contraste avec les résultats de Cheldavi et al. (2014) qui ont utilisé ce paramètre pour montrer qu'un protocole de travail du contrôle postural était bénéfique pour la population des enfants autistes (155). Cependant, il existe des différences importantes entre nos études. Les enfants étaient plus jeunes (moyennes d'âges entre 7 et 8 ans contre 10 à 11 ans ici) et le protocole était composé de 18 séances contre seulement 8 ici. La correspondance entre un âge plus propice au développement du contrôle postural (29,31) et un entraînement plus intensif pourrait majorer cet effet de l'environnement sur la maturation du système nerveux central. Cette suggestion pourrait être le manque de notre étude pour atteindre une signification statistique de la



diminution de nos valeurs. A l'opposé, les résultats du groupe contrôle ne montrent que peu voire pas d'amélioration entre les deux bilans pour les 4 paramètres, s'accordant donc avec les résultats de la littérature actuelle qui montrent un contrôle postural moins efficient qui progresse peu pendant l'enfance des individus avec autisme (114).

Les paramètres LFS et VFY ont chacun montré des différences significatives lors de la comparaison pré-test/post-test du groupe expérimental. Cependant, aucune différence significative n'est retenue au niveau de la comparaison des deltas entre les groupes. Pour commencer, le VFY du groupe expérimental atteste d'une diminution sur 5 des 7 conditions avec deux valeurs significatives pour « joie » et « peur ». Cette amélioration à l'issue du protocole peut s'interpréter comme le fait que les enfants utilisent moins d'activité musculaire de la loge postérieure des jambes qu'initialement pour contrôler leur aplomb gravitaire, en passant d'une stratégie plutôt de hanche (du centre de gravité) à une dominance de la stratégie de cheville (du centre de pression) qui est moins énergivore (177).

Des normes ont été établies par l'Association Française de Posturologie (AFP) chez l'enfant (169), dont les valeurs moyennes correspondent alors à l'efficacité maximale du système postural d'aplomb à cet âge-là. Cependant, les normes des paramètres ont été réalisées à une cadence d'échantillonnage de 5Hz, or pour l'analyse du centre de pression la longueur du statokinogramme dépend de la fréquence d'échantillonnage de la plateforme utilisée (178). La fréquence d'échantillonnage de notre plateforme étant de 40Hz, tous les paramètres dépendants de la longueur ne peuvent donc pas rigoureusement être comparés aux normes de l'AFP. Bazert (2008) a été confronté au même problème lors de sa thèse. D'après lui il « faudrait sans doute rééchantillonner les jeux de données après avoir appliqué un filtre passe-bas » (175).

Pour le dernier paramètre, notons quand même que dans les textes publiés par l'AFP, les valeurs moyennes du LFS les yeux ouverts pour ces catégories d'âge se trouvent autour de 0,5 avec une limite de confiance basse autour de 0,3. Autrement dit, cela signifie que les valeurs initiales retrouvées ici se situeraient potentiellement à une limite basse voire en-dessous de la limite de confiance. Enfin, comme évoqué dans la partie résultats, pour finir d'interpréter le LFS, il faut également analyser son évolution. Pour le groupe expérimental, les valeurs post-test ont augmenté par rapport au pré-test, dont 2 significativement pour les conditions YO et la situation en DT avec le visage « colère ». Suivant ces résultats plutôt inattendus, la première interprétation serait de dire que l'effet du protocole de rééducation pour ce paramètre consiste en une augmentation de l'énergie utilisée par le sujet pour se stabiliser. Mais ce paramètre semble plus complexe que cela à décrire et nécessite une analyse plus modérée. Selon une étude et une contre-étude réalisées par Garcin sur les coureurs de l'Ultra Trail du Mont-Blanc, les finishers présentent une variable LFS proche de la perfection au



moment du départ (c'est à dire de 1 pour l'adulte), tandis que ceux qui s'arrêtent avant ont un LFS inférieur à 1 (hypercontrôle de la stabilité) ou supérieur à 1 (hypocontrôle de la stabilité) (179,180). Ceci montre que le progrès ne se fait pas forcément par une diminution du paramètre LFS mais plutôt par rapport à sa normalisation qui signifie un rapport optimal entre effort effectué (longueur) et qualité de la stabilisation (surface). On peut imaginer théoriquement que si le LFS est supérieur à la moyenne, le déplacement du centre de pression est plus important, donc le travail musculaire aussi (effort physique). Mais s'il est très inférieur à la moyenne comme ici, cela peut être dû à une plus grande maîtrise des oscillations par un contrôle neuromusculaire exagéré, inadapté et énergivore d'un point de vue des ressources cognitives (effort mental). Ceci s'accorde avec les conclusions de plusieurs auteurs qui suggèrent que les personnes avec TSA présentent une hyperréactivité aux troubles sensoriels (145,149).

Si on applique cette réflexion ici, on peut faire l'hypothèse que cette augmentation du paramètre LFS tend vers une moyenne de normalité chez l'enfant, ce qui représenterait moins d'effort (mental) pour la stabilisation de leur système postural fin. Il y a une certaine cohérence entre nos deux paramètres significatifs : le premier signifierait que l'enfant utilise moins d'activité musculaire pour se stabiliser et le deuxième que son contrôle neuromusculaire s'améliore. Il faut cependant garder à l'esprit que nos valeurs du paramètres LFS, bien que significatives, ne permettent pas de conclure réellement sur un effet possible puisque nous ne pouvons pas les comparer formellement à une valeur de référence. Mais les tendances qui se dégagent des résultats avec plusieurs grandeurs significatives semblent ouvrir des pistes intéressantes et faire naître une hypothèse qu'il sera intéressant de confirmer ou d'infirmer dans des études ultérieures.

1.2. Evaluations secondaires

1.2.1. Caractéristiques anthropométriques

Le fait que les résultats du test soient négatifs signifie donc qu'il y a peu de chance que ces variables interfèrent avec nos résultats. Concernant le niveau d'activité physique, la plupart des enfants ne pratiquait que le sport de l'école une fois par semaine, à l'exception d'un enfant du groupe témoin (escalade) et de 2 enfants du groupe expérimental (danse et patinage/équitation).

1.2.2. Effet fatigue

L'analyse qui a été réalisée ne montre pas d'effet fatigue entre le premier et le 9^e enregistrement de posturographie que ce soit au bilan initial ou au bilan final et ceci pour nos



deux groupes. Les résultats entre les différents essais n'ont donc pas été influencés par une possible fatigue des sujets.

1.2.3. Coût de DT

Le coût de DT a été calculé pour chaque émotion afin de savoir si la DT impactait moins les paramètres posturographiques après le protocole de rééducation, ce qui est un indice supplémentaire pour indiquer une meilleure automatisation de l'équilibre en DT. Puisqu'il s'agit d'une étude pilote, nous n'avons pas retrouvé de papiers ayant déjà utilisés cette variable dans la littérature scientifique, ce qui rend difficile la comparaison. Si les résultats fournis pour notre analyse principale concordent, ceux de cette analyse secondaire semblent plus complexes à interpréter. Cependant, on voit d'après les **figures 12A, 12B et 13B** que pour les paramètres surface, vitesse moyenne et VFY, la plupart des valeurs pré ou post-test se retrouvent dans le négatif ce qui signifie que la DT a toujours un effet plus perturbateur que la simple tâche sur ces paramètres et cela indépendamment du groupe. Cette observation va dans le sens de la littérature scientifique qui rapporte que l'exploration visuelle des émotions chez les participants atteints de TSA accapare beaucoup des ressources attentionnelles disponibles et nuit donc à leur capacité de contrôler leur posture (147,148). Le LFS sera discuté à part un peu plus loin.

Pour commencer, la comparaison intergroupe du coût de DT ne révèle aucune différence entre le groupe expérimental et le groupe témoin ce qui signifie que l'un n'a pas significativement évolué par rapport à l'autre (**annexe VII**). Cependant, à l'inverse de ce que nous attendions, pour le paramètre surface le groupe expérimental semble plus impacter par la DT après le protocole puisque son coût de DT est plus négatif pour toutes les conditions comparativement au pré-test. Autrement dit, le groupe expérimental améliore son contrôle pour ce paramètre (analyse principale), mais le ratio entre la condition DT par rapport à la performance d'équilibre simple semble moins diminuer voire même augmenter. Ceci signifie que malgré l'amélioration de l'équilibre, le coût de DT ne serait pas réduit proportionnellement pour la surface à l'issue du protocole (moins de pourcentage d'amélioration en DT qu'en simple tâche, voir **figure 12A**). Les interprétations de ce paramètre restent à tempérer puisqu'aucune valeur significative n'émerge ni de l'analyse principale ni de cette analyse secondaire. Pour les paramètres vitesse et VFY, une seule valeur significative est retrouvée pour l'amélioration du coût de DT de la vitesse moyenne du groupe expérimental dans la condition de « peur ». Néanmoins, il se dégage une amélioration en post-test par rapport au pré-test du coût de DT dans toutes les différentes conditions et cette augmentation de performance semble toucher les deux groupes. Cela signifierait alors que, pour les deux groupes, la DT affecte moins les paramètres vitesse moyenne et VFY en post-test. Il apparaît donc difficile de conclure sur un effet unique du protocole, bien que celui-ci semblerait tout de même majorer la diminution du



coût de DT. La progression observée indépendamment des groupes pourrait entre autres s'expliquer par un effet d'apprentissage : en effet, dans un souci de reproductibilité les visages présentés en pré et post-test étaient les mêmes. Comme il s'agit des émotions de bases donc peu ambiguës et qu'il y en a peu, on peut imaginer que les sujets se rappelaient les visages ce qui leur demandait moins de concentration pour les reconnaître et donc moins de ressources cognitives. Les ressources disponibles étant alors moins diminuées pour le contrôle postural, les deux groupes pourraient mieux réaliser les performances de DT au post-test qu'au pré-test comme ce que nous indique les résultats pour ces deux paramètres.

Ensuite, à l'issue de notre interprétation dans l'analyse principale, le paramètre LFS subirait le fonctionnement inverse des autres paramètres : pour rappel, son augmentation dans notre étude signifierait une amélioration du contrôle postural. Donc la lecture de son coût de DT (**figure 13A**) serait comme suit : puisque le pourcentage du post-test est supérieur à celui du pré-test et positif, alors cela veut dire qu'il a une valeur plus faible au final que la valeur de la condition YO et que le LFS en simple tâche évolue plus que celui en DT. Autrement dit, pour les conditions « joie » et « neutre », le LFS a une évolution significativement plus faible entre le pré-test et le post-test par rapport à l'évolution du LFS de la condition YO, ce qui fait que le graphique ne montre pas une progression mais bien un plus grand coût de DT pour le paramètre LFS, comme on l'a énoncé pour le paramètre de surface. Bien que non significative, le groupe contrôle présente une évolution également plus faible. Phénomène intéressant, ces deux conditions font partie des 3 pour lequel le LFS n'a pas significativement progressé dans la comparaison pré-test/post-test. Est-ce que ces conditions seraient plus perturbatrices et de ce fait nécessiteraient une amélioration plus importante du contrôle posturale pour être impactées ? Cela pourrait être cohérent avec l'étude de Goulème et al. (2017) qui indique que l'image de joie affecte significativement (indépendamment des groupes et entre les groupes TSA et témoin) les paramètres surface, longueur et vitesse moyenne par rapport aux autres conditions (148).

1.3. Faisabilité et retombées cliniques

Une étude sur 104 enfants montre que la différence d'exploration des visages n'est pas présente dès la petite enfance mais tend à se développer en fonction d'interactions atypiques avec l'environnement social. Ceci est appuyé par des découvertes récentes qui suggèrent des particularités de la réponse cérébrale du nourrisson, qui pourraient engendrer ces interactions différentes et conduire à ce phénotype (181). De plus, une autre étude suggère que les caractéristiques phénotypiques des TSA peuvent disparaître avec les symptômes diagnostiques, autrement dit que l'amélioration du phénotype observé est possible, que ce n'est pas immuable (166). Avec ses observations, si de futures études viennent à confirmer



ou développer nos hypothèses, les retombées cliniques peuvent être importantes. En effet, cette prise en soins clinique des troubles de l'équilibre fait pleinement partie du champ de compétences des masso-kinésithérapeutes. Dans un contexte paradoxal en France où les interventions précoces sont fortement recommandées et où les délais d'attente ne cessent de se rallonger, les enfants avec autisme sur liste d'attente qui ne bénéficieraient pas de prise en soins pourraient finalement trouver une grande utilité à réaliser des séances de masso-kinésithérapie, à la fois pour l'amélioration de leur contrôle postural mais aussi de leurs symptômes autistiques.

Au niveau du protocole de rééducation en lui-même, une étude de 2013 conseillait aux thérapeutes « d'éviter les conditions de DT lorsque l'on cherche à améliorer le contrôle postural chez ces enfants » (134). Sans remettre en cause cette étude, ces recommandations pourraient être abordées d'un autre angle avec un point de vue clinique. En fin de rééducation masso-kinésithérapique (épaule, cheville, genou...), les exercices de contrôle moteur sont de plus en plus utilisés afin de restaurer une synergie et une synchronie des muscles concernés par le traumatisme, et ceux-ci correspondent en des situations de DT, de détournement d'attention. Récemment, Moseley et Pulvermüller (2018) ont proposé un modèle neurobiologique de l'intégration action-perception dans les TSA qui va dans les sens de nos hypothèses. Les modifications structurelles du cerveau entraîneraient toute une gamme de déficits subtils de contrôle moteur (y compris l'instabilité posturale) qui peuvent finalement contrarier le développement cognitif et social en diminuant les occasions d'explorer et d'interagir avec l'environnement (182). Une revue de littérature sur le sujet entre la cognition sociale et le contrôle moteur est aussi sortie en 2018. Elle confirme qu'à présent il n'y a toujours pas de consensus sur les anomalies dans le domaine socio-cognitif quant au fait qu'elles soient la cause ou la conséquence des anomalies motrices. Cependant, les anomalies du mouvement pourraient être présentes avant et donc contribuer au développement atypique des fonctions socio-cognitives. Mais aucune étude n'a encore étudié le développement des 2 paramètres chez les mêmes individus, et comme les études qui existent n'étudient qu'un paramètre et n'ont pas la même sévérité d'autisme dans leurs populations, il est difficile de les comparer entre elles. Les auteurs conseillent donc de réaliser des études interventionnelles pour établir ce lien de causalité ou non (183). Tout ceci nous montre qu'il peut y avoir un intérêt à réaliser une rééducation avec des exercices de contrôle moteur en DT, et d'autres études abordent aussi l'importance de travailler l'entrée proprioceptive isolément, c'est-à-dire les yeux fermés, pour améliorer l'automatisme du contrôle postural sans qu'il y ait une compensation par les afférences visuelles (13,135).

Pour terminer cette sous-partie, certaines impressions cliniques nécessitent d'être abordées. D'abord, le fait que les enfants aient dû trouver de quelle émotion il s'agit faisait



qu'ils apparaissaient comme plus engagés lors de la réalisation de la DT que lors de la tâche posturale seule. Cela peut être important à prendre en compte notamment si d'autres études se focalisent sur des populations plus jeunes. Une sorte de règle ou de jeu pourrait être instauré pour atténuer ce côté protocolaire lassant. Ensuite, l'image « neutre » était souvent plus perturbatrice, comme incomprise, ce qui se traduisait par des mouvements « d'anxiété » comme avec des mouvements des doigts. Le visage « triste » était le plus ambigu et source d'erreurs pour presque tous les sujets. Si on compare cela aux analyses, ce sont les 2 conditions sur les 5 en DT qui ne montrent pas d'amélioration statistiquement significative sur aucun des paramètres. Ceci tend à démontrer une possible corrélation entre l'observation clinique et l'état interne de l'enfant avec TSA ou du moins sa difficulté face à une situation. Au niveau de la faisabilité du protocole, il semble important de prendre en compte l'âge des sujets en plus de leur capacité intellectuelle. En effet, pour les 3 sujets les plus jeunes (5 et 7 ans) de notre étude, le protocole de rééducation a été plus compliqué à mettre en place et a nécessité plus d'adaptation. Le travail devait alors quasi-obligatoirement être détourné par le jeu pour être effectué. A noter aussi que la fin des séances sur la console de jeux vidéo Wii facilite la concentration des enfants sur ces séances éprouvantes physiquement et mentalement.

1.4. Limites de l'étude

Ce paragraphe vise à aborder les points pouvant être améliorés afin d'infirmer ou de confirmer du mieux possible les tendances qui émergent de cette étude pilote.

1.4.1. Biais de sélection

Tout d'abord, abordons un possible biais de sélection : les capacités des sujets. Par manque de moyens nous n'avons pas pu effectuer un test de QI à tous les participants donc celui-ci ne faisait pas partie des critères d'inclusion. Nous ne pensons pas que cela constitue un biais en soi, puisque ne pas faire de sous-groupe permettrait d'étudier l'impact de la rééducation sur l'ensemble du spectre et donc nous serions plus proche de la réalité du terrain. Cependant si tel est l'objectif, cela nécessite un très grand échantillon afin de compenser les hétérogénéités individuelles. La limite de notre étude serait donc plutôt liée au faible échantillon dont nous disposons qui serait insuffisant pour mettre en évidence l'effet attendu. Si l'objectif est au contraire d'étudier les progrès en fonction du QI pour adapter les interventions à chaque groupe, alors Travers et al. (2018) soulignent un fait intéressant : il semble que le QI permettrait de déterminer qui aura le plus de difficultés d'équilibre (184). Plus il est faible, moins les individus TSA réussissent une tâche posturale que ce soit sur une surface fixe ou instable. Leur hypothèse est que le QI peut refléter des facteurs cognitifs plus larges qui font que les enfants sont plus susceptibles d'éprouver une charge cognitive plus



importante lors des tâches d'équilibre, en diminuant le contrôle de la réponse neuromusculaire (185). En résumé, plus le QI est bas, plus les désordres cognitifs sont importants ce qui fait que maintenir une simple tâche d'équilibre demande plus de ressources cognitives par rapport au stock disponible. Moins de ressources pouvant être allouées au contrôle de la réponse musculaire, les oscillations posturales deviennent plus importantes. Ici il peut être intéressant de comparer la stabilité posturale de plusieurs groupes d'enfants TSA appariés par tranche de QI, en pré et post protocole de rééducation pour savoir dans quelles mesures ils évoluent. Notre étude apparaît donc intéressante à réaliser dans les 2 cas, en fonction du but recherché. En effet, on trouve souvent l'un et son contraire dans les recherches sur l'autisme. Nous pensons qu'il serait bon de coupler ces 2 types d'études si l'on veut vraiment comprendre son fonctionnement et pourquoi l'on trouve tant de contradictions.

1.4.2. Limite de l'examen posturographique

Il y a des contraintes au niveau du bilan posturographique en lui-même. Se tenir debout sans bouger pendant plusieurs séquences de 30 secondes n'est pas quelque chose d'anodin pour un enfant et cela est encore plus vrai pour un jeune enfant avec autisme, ce qui peut interférer avec les résultats des paramètres stabilométriques. Une solution possible serait d'effectuer plusieurs bilans initiaux et plusieurs bilans finaux afin de réaliser une moyenne, que les valeurs aberrantes liées à autre chose qu'un manque d'équilibre puissent être atténuées. On pourrait également obtenir un examen plus reproductible en se mettant dans les conditions des normes 13 qui conditionnent l'enregistrement (186).

1.4.3. Effet d'apprentissage

Comme évoqué précédemment, le fait de présenter les mêmes visages lors des bilans peut introduire un biais d'apprentissage. Du moins il ne s'agit plus pour les enfants d'une situation nouvelle comme vécue initialement au premier bilan. Cela pourrait expliquer la progression du groupe contrôle pour certain paramètre bien qu'elle ne soit pas significative. Cet effet pourrait être atténué si l'on allonge la durée du protocole de rééducation mais pour la comparaison intragroupe pré-test/post-test c'est compliqué de changer de stimulus. Cependant, pour la comparaison intergroupe on peut envisager d'utiliser des stimuli émotionnels différents pour chaque bilan : les deux groupes seront alors dans une situation nouvelle à chaque test.

1.4.4. Durée de l'intervention

C'est pour nous le point majeur à modifier de notre expérience dans de futures études sur le sujet. Le seul papier que nous avons retrouvé évaluant un protocole de rééducation de l'équilibre en DT émotionnelle était celui de Cheldavi et al. (2014) (155) et comptait 18 séances de rééducation à raison de 3 par semaine. Malgré certains de nos résultats significatifs, nous



pensons que notre étude aurait plus de puissance statistique et un effet plus important si elle était menée sur une période plus longue, d'au moins 6 semaines à 3 séances par semaine ou 8 semaines à 2 séances par semaine.

1.5. Perspectives

Cette étude ouvre une vaste gamme de perspectives de recherche qui permettraient d'améliorer notre compréhension de ce syndrome. Voici quelques pistes.

En effet, si l'on retrouve moins d'impact sur le contrôle postural à l'issue du protocole comme certaines valeurs significatives tendent à le montrer, c'est que l'équilibre est mieux géré, mieux automatisé. Ce que nous proposons pour la suite, c'est d'étudier l'influence de cette amélioration de l'équilibre sur la performance de la DT pour savoir dans quelle mesure les enfants ont présenté ou non une réduction des symptômes de base. Bien qu'il soit admis qu'une DT cognitive sollicite beaucoup de ressources cognitives ce qui résulte en un accroissement des oscillations posturales, on ne sait pas si la réciproque est vraie, c'est-à-dire si le fait de mieux automatiser la tâche d'équilibre améliore les résultats de la seconde tâche. Huxhold et al. (144) ont été les premiers à étudier l'impact de la posture (assis-debout) sur la cognition, en proposant un modèle d'interaction non-linéaire en forme de U. Plus récemment, une étude de 2018 a enregistré à la fois la qualité des mouvements des yeux et le contrôle postural pour divers pathologies neurodéveloppementales. A notre connaissance c'est la seule étude à ce jour à avoir évalué les effets de l'équilibre sur une tâche oculomotrice dans une population de personnes autistes. Ils montrent que certains paramètres oculomoteurs sont modifiés avec l'augmentation de la difficulté de la condition posturale (assis-debout), et que les enfants doivent donc partager leur attention entre les deux tâches distinctes, en consacrant plus d'attention à la plus difficile (187). Dans notre contexte, une première approche qualitative peut être de faire la moyenne par groupe des émotions qui ont été reconnues ou non afin d'effectuer une comparaison de la progression. Mais l'évaluation de cette DT émotionnelle peut surtout être quantifiée par l'analyse du visage dont les paramètres peuvent être relevés par eye-tracking. Cependant, les données de fixation des yeux peuvent être difficiles à capter, cela nécessite donc un grand échantillon de départ c'est pourquoi nous n'avons pas pu l'inclure dans notre protocole (188). L'intérêt clinique de cette perspective est de mise si elle montre qu'un tel protocole permet à l'enfant de se concentrer davantage. En effet, Jones et Klin (2008) ont suggéré qu'un enfant qui ne se concentre pas sur des stimuli socialement pertinents peut voir un monde dans lequel les événements physiques sont plus importants que les indices sociaux. Cela pourrait altérer son développement dans la mesure où "l'esprit de l'enfant se spécialiserait sur les contingences physiques plutôt que sur les êtres sociaux. Par conséquent, il semblerait que, plus tard dans



la vie, le cerveau et le comportement feront également preuve d'une spécialisation tout aussi atypique" (189).

Également, il serait intéressant de voir s'il y a un effet de l'émotion sur les paramètres indépendamment du groupe : est-ce qu'une émotion entraîne significativement une différence par rapport à une autre ? Est-ce qu'il y en a une pour laquelle l'équilibre progresse plus par rapport à une autre ? Ceci a déjà été testé mais les résultats divergent notamment si des vidéos ou si des photos sont utilisées (30,148). En effet, les vidéos ne semblent pas trouver d'effet de l'émotion. Une explication possible serait que lors de la visualisation de photos statiques, celles-ci peuvent être plus ou moins ambiguës et difficiles à interpréter entre elles alors qu'un stimulus dynamique fourni un contexte plus écologique avec plus de détails (188) et de ce fait pourrait réaliser un effet tampon sur les différences de valence. Il semble donc également avantageux d'utiliser pour les études à venir des stimuli vidéo qui incluent l'ensemble de la personne et ses postures corporelles.

Il serait bénéfique, en plus de tester le protocole sur des groupes de QI différents, de le faire sur des âges avant et après 7 ans en comparaison puisque cet âge apparaît comme une période de maturation donc la fin de la période sensible pour le contrôle postural (29,30).

Memari et al. (2014) (143) ont établi une liste de recommandations pour les futures études sur le contrôle postural des personnes avec autisme dont nous pensons qu'il serait bénéfique de tenir compte si les possibilités le permettent.



2. Conclusion

L'hypothèse de notre étude était qu'à travers les expériences sensori-motrices d'équilibre, nous pourrions favoriser la maturation du réseau cérébral impliqué dans celui-ci et donc améliorer le contrôle postural des enfants. Cette intervention visait à agir sur la plasticité cérébrale, comme les autres interventions mises en place à l'heure actuelle. On peut faire une analogie avec la rééducation de la paralysie cérébrale : il s'agit de sortir l'enfant de son schème habituel pour lui faire explorer de nouvelles conditions sensorimotrices qui vont agir par plasticité cérébrale sur l'organisation cyto-architecturale du chemin neuronal du contrôle postural.

Le groupe expérimental montre en effet des progrès significatifs après le protocole notamment pour les paramètres LFS et VFY insinuant que des interventions motrices peuvent être mises au point pour les aider à améliorer leur contrôle de l'équilibre. De futures recherches de plus grandes envergures pour corroborer ces résultats sont néanmoins nécessaires afin de ne pas tirer de conclusions hâtives, et permettront de savoir si cela aide aussi ces enfants à réduire leurs déficits cognitifs et à stimuler leur capacité à combiner efficacement et avec succès de multiples tâches de la vie quotidienne.



Références bibliographiques

1. Patikas D. Gait and Balance. In: Matson JL, Matson ML, éditeurs. Comorbid Conditions in Individuals with Intellectual Disabilities. Cham: Springer International Publishing; 2015. p. 317-49.
2. Lim YH, Partridge K, Girdler S, Morris SL. Standing Postural Control in Individuals with Autism Spectrum Disorder: Systematic Review and Meta-analysis. *J Autism Dev Disord.* 15 mai 2017;
3. Papagiannopoulou EA, Chitty KM, Hermens DF, Hickie IB, Lagopoulos J. A systematic review and meta-analysis of eye-tracking studies in children with autism spectrum disorders. *Soc Neurosci.* 2 juill 2014;1-23.
4. Deruelle C, Rondan C, Gepner B, Tardif C. Spatial Frequency and Face Processing in Children with Autism and Asperger Syndrome. *J Autism Dev Disord.* avr 2004;34(2):199-210.
5. Kahneman D. Attention and effort. Prentice Hall. Vol. 1063. Englewood Hall, NJ; 1973.
6. Pérennou D. Physiologie et physiopathologie du contrôle postural. *Lett Médecine Phys Réadapt.* sept 2012;28(3):120-32.
7. Roll J-P, Roll R. From eye to foot: a proprioceptive chain involved in postural control. *Posture Gait.* 1988;155-64.
8. Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM: Principles of neuroscience. 4th edition. New York: McGraw-Hill; 2000.
9. Kennedy PM, Cresswell AG, Chua R, Inglis JT. Vestibulospinal influences on lower limb motoneurons. *Can J Physiol Pharmacol.* juill 2004;82(8-9):675-81.
10. Romberg M. Lehrbuch der nervenkrankheiten des menschen. Berlin: Duncker; 1846.
11. Nashner L, Berthoz A. Visual contribution to rapid motor responses during postural control. *Brain Res.* 1978;150(2):403-7.
12. Lee D., Lishman J. Visual proprioceptive control of stance. *J Hum Mov Stud.* 1975;
13. Dupuy EG, Decker LM. Influence des stratégies sensorielles sur la régulation de l'équilibre postural chez l'adulte sain. *Neurophysiol Clin.* déc 2018;48(6):318.
14. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing.* 1 sept 2006;35(Supplement 2):ii7-ii11.
15. Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol.* 2002;88(3):1097-118.
16. Shahani M, éditeur. The Motor system: neurophysiology and muscle mechanisms: proceedings of a satellite symposium to the XXVIth International Congress of Physiology, held in India, 1974. Amsterdam ; New York: Elsevier Scientific Pub. Co; 1976. 387 p.
17. Gould DJ, Brueckner-Collins JK, Beauthier J-P, Lefevre P. Neuroanatomie. 5e édition. Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur; 2017.



18. Martin JP. The basal ganglia and posture. Lippincott; 1967.
19. Carpenter MG, Bloem BR. Postural control in Parkinson patients: A proprioceptive problem? *Exp Neurol.* janv 2011;227(1):26-30.
20. Konczak J, Corcos DM, Horak F, Poizner H, Shapiro M, Tuite P, et al. Proprioception and Motor Control in Parkinson's Disease. *J Mot Behav.* 6 nov 2009;41(6):543-52.
21. Viallet F, Massion J, Massarino R, Khalil R. Coordination between posture and movement in a bimanual load lifting task: putative role of a medial frontal region including the supplementary motor area. *Exp Brain Res.* 1992;88(3).
22. Pérennou DA, Leblond C, Amblard B, Micallef JP, Rouget E, Pélissier J. The polymodal sensory cortex is crucial for controlling lateral postural stability: evidence from stroke patients. *Brain Res Bull.* oct 2000;53(3):359-65.
23. Bair W-N, Kiemel T, Jeka JJ, Clark JE. Development of multisensory reweighting for posture control in children. *Exp Brain Res.* 25 oct 2007;183(4):435-46.
24. Rinaldi NM, Polastri PF, Barela JA. Age-related changes in postural control sensory reweighting. *Neurosci Lett.* déc 2009;467(3):225-9.
25. Mallau S, Vaugoyeau M, Assaiante C. Postural Strategies and Sensory Integration: No Turning Point between Childhood and Adolescence. *Brembs B, éditeur. PLoS ONE.* 29 sept 2010;5(9):e13078.
26. Bioulac B, Burbaud P, Cazalets J-R, Gross C. Fonctions motrices. *EMC - Kinésithérapie.* déc 2005;1(4):183-233.
27. Woollacott MH, Shumway-Cook A. Changes in Posture Control Across the Life Span—A Systems Approach. *Phys Ther.* 1 déc 1990;70(12):799-807.
28. Olivier I, Cuisinier R, Vaugoyeau M, Nougier V, Assaiante C. Dual-task study of cognitive and postural interference in 7-year-olds and adults. *Neuroreport* 2007;18:817–21. doi:10.1097/WNR.0b013e3280e129e1.
29. Riach C, Starkes J. Stability limits of quiet standing postural control in children and adults. *Gait Posture.* juin 1993;1(2):105-11.
30. Brandão A de F, Palluel E, Olivier I, Nougier V. Effects of emotional videos on postural control in children. *Gait Posture.* mars 2016;45:175-80.
31. Horslen BC, Carpenter MG. Arousal, valence and their relative effects on postural control. *Exp Brain Res.* nov 2011;215(1):27-34.
32. Assaiante C. Action and representation of action during childhood and adolescence: A functional approach. *Neurophysiol Clin Neurophysiol.* janv 2012;42(1-2):43-51.
33. Assaiante C, Amblard B. An ontogenetic model for the sensorimotor organization of balance control in humans. *Hum Mov Sci.* juin 1995;14(1):13-43.
34. Cumberworth VL, Patel NN, Rogers W, Kenyon GS. The maturation of balance in children. *J Laryngol Otol.* mai 2007;121(05).



35. Balter SG., Stokroos RJ, Akkermans E, Kingma H. Habituation to galvanic vestibular stimulation for analysis of postural control abilities in gymnasts. *Neurosci Lett.* août 2004;366(1):71-5.
36. Barela JA, Jeka JJ, Clark JE. Postural control in children: Coupling to dynamic somatosensory information. *Exp Brain Res.* juin 2003;150(4):434-42.
37. Woollacott M, Debû B, Mowatt M. Neuromuscular Control of Posture in the Infant and Child: Is Vision Dominant? *J Mot Behav.* juin 1987;19(2):167-86.
38. Palluel E, Ceyte H, Olivier I, Nougier V. Anticipatory postural adjustments associated with a forward leg raising in children: Effects of age, segmental acceleration and sensory context. *Clin Neurophysiol.* nov 2008;119(11):2546-54.
39. Bruce V, Young A. Understanding face recognition. *Br J Psychol.* août 1986;77(3):305-27.
40. Scherer KR. Psychological models of emotion. *Neuropsychol Emot.* 2000;137(3):137-62.
41. Ekman P. An argument for basic emotions. *Cogn Emot.* 1992;6(3-4):169-200.
42. Ekman P, Friesen WV. A new pan-cultural facial expression of emotion. *Motiv Emot.* 1986;10(2):159-68.
43. Hillman CH, Rosengren KS, Smith DP. Emotion and motivated behavior: postural adjustments to affective picture viewing. *Biol Psychol.* mars 2004;66(1):51-62.
44. Codispoti M, Surcinelli P, Baldaro B. Watching emotional movies: Affective reactions and gender differences. *Int J Psychophysiol.* août 2008;69(2):90-5.
45. Bradley MM, Sabatinelli D, Lang PJ, Fitzsimmons JR, King W, Desai P. Activation of the visual cortex in motivated attention. *Behav Neurosci.* 2003;117(2):369-80.
46. Vuilleumier P, Pourtois G. Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: Evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia.* 2007;45(1):174-94.
47. Papez JW. A proposed mechanism of emotion. *Arch Neurol Psychiatry.* 1937;38(4):725-43.
48. Maclean PD. Psychosomatic Disease and the « Visceral Brain »: Recent Developments Bearing on the Papez Theory of Emotion. *Psychosom Med.* 1949;11(6):338-53.
49. Bernard Rimé, « L'émergence des émotions dans les sciences psychologiques », L'Atelier du Centre de recherches historiques [En ligne], 16 | 2016, mis en ligne le 23 mai 2016, consulté le 25 mai 2017. URL : <http://acrh.revues.org/7293> ; DOI : 10.4000/acrh.7293.
50. Ledoux JE, Muller J. Emotional memory and psychopathology. *Philosophical Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 1997;352(1362):1719-26.
51. Lotstra F. Le cerveau émotionnel ou la neuroanatomie des émotions. *Cah Crit Thérapie Fam Prat Réseaux.* 2002;29(2):73.



52. Chaplin TM, Aldao A. Gender differences in emotion expression in children: A meta-analytic review. *Psychol Bull.* 2013;139(4):735-65.
53. Gorno-Tempini ML, Pradelli S, Serafini M, Pagnoni G, Baraldi P, Porro C, et al. Explicit and Incidental Facial Expression Processing: An fMRI Study. *NeuroImage.* août 2001;14(2):465-73.
54. Jacobs DH, Shuren J, Heilman KM. Impaired perception of facial identity and facial affect in Huntington's disease. *Neurology.* 1 juin 1995;45(6):1217-8.
55. Berthoz S, Le Glec'h G, Blair JR, Martinot J-L. Bases neuro-fonctionnelles des émotions: exploration en imagerie. *PSN.* janv 2003;1(1):20-9.
56. De Heering A. L'émergence, le développement et la plasticité du système de reconnaissance des visages: la thèse holistique. 2009.
57. Scherf KS, Behrmann M, Humphreys K, Luna B. Visual category-selectivity for faces, places and objects emerges along different developmental trajectories. *Dev Sci.* juill 2007;10(4):F15-30.
58. Golarai G, Ghahremani DG, Whitfield-gabrieli S et al. Differential development of high-level visual cortex correlates with category-specific recognition memory. *Nat Neurosci.* 2007;10(4):512.
59. Ridgeway D, Waters E, Kuczaj SA. Acquisition of emotion-descriptive language: Receptive and productive vocabulary norms for ages 18 months to 6 years. *Dev Psychol.* 1985;21(5):901-8.
60. Vicari S, Reilly JS, Pasqualetti P, Vizzotto A, Caltagirone C. Recognition of facial expressions of emotions in school-age children: the intersection of perceptual and semantic categories. *Acta Paediatr.* juill 2000;89(7):836-45.
61. Leppanen JM, Hietanen JK. Emotion recognition and social adjustment in school-aged girls and boys. *Scand J Psychol.* déc 2001;42(5):429-35.
62. Lenti C, Lenti-Boero D, Giacobbe A. Decoding of Emotional Expressions in Children and Adolescents. *Percept Mot Skills.* déc 1999;89(3):808-14.
63. Amestoy A. La perception des visages dans la population typique et les Troubles du Spectre Autistiques (TSA). Bordeaux; 2013.
64. Lumbroso V. Planète autisme. 2013.
65. Masson M. Rééducation des processus attentionnels: approche sur simulateur de conduite: application au traumatisme crânien et au vieillissement normal. [Lyon]: Université Claude Bernard - Lyon I; 2011.
66. Corbetta M, Shulman GL. CONTROL OF GOAL-DIRECTED AND STIMULUS-DRIVEN ATTENTION IN THE BRAIN. *Nat Rev Neurosci.* 1 mars 2002;3(3):215-29.
67. Smith E-L, Poirier N. Les particularités attentionnelles des adolescents ayant un trouble du spectre de l'autisme fréquentant l'école secondaire. *L'Express.* 2018;35-6.
68. L'attention [Internet]. Disponible sur: <http://www.scientificbraintrainingpro.fr/fonctions-cognitives/attention>



69. Boujon C. L'Inhibition. Au carrefour des neurosciences et des sciences de la cognition. In: Neurosciences cognitives. Solal. 2002.
70. Camus J-F. L'attention et ses modèles. Psychol Fr. 2003;48(1):5-18.
71. Panerai S, Tasca D, Ferri R, Genitori D'Arrigo V, Elia M. Executive Functions and Adaptive Behaviour in Autism Spectrum Disorders with and without Intellectual Disability. Psychiatry J. 2014;2014:1-11.
72. Attention et situations de double tâches [Internet]. Disponible sur: http://www.ipubli.inserm.fr/bitstream/handle/10608/220/Chapitre_2.html#ref-Chap2-bib17
73. Norman DA, Shallice T. Attention to Action. In: Davidson RJ, Schwartz GE, Shapiro D, éditeurs. Consciousness and Self-Regulation. Boston, MA: Springer US; 1986. p. 1-18.
74. Abernethy B. Dual-task methodology and motor skills research: some applications and methodological constraints. J Hum Mov Stud. 1988;14(3):101-32.
75. Pashler H. Dual-task interference in simple tasks: data and theory. Psychol Bull. sept 1994;116(2):220-44.
76. Wollesen B, Voelcker-Rehage C, Regenbrecht T, Mattes K. Influence of a visual-verbal Stroop test on standing and walking performance of older adults. Neuroscience. mars 2016;318:166-77.
77. Sullivan L. Selective Attention and Secondary Message Analysis: A Reconsideration of Broadbent's Filter Model of Selective Attention. Q J Exp Psychol. mai 1976;28(2):167-78.
78. Lacour M, Bernard-Demanze L, Dumitrescu M. Posture control, aging, and attention resources: Models and posture-analysis methods. Neurophysiol Clin Neurophysiol. déc 2008;38(6):411-21.
79. Spelke E, Hirst W, Neisser U. Skills of divided attention. Cognition. janv 1976;4(3):215-30.
80. Shaffer LH. Multiple attention in continuous verbal tasks. Atten Perform V. 1975;157-67.
81. Kujawa A, Klein DN, Hajcak G. Electrocortical reactivity to emotional images and faces in middle childhood to early adolescence. Dev Cogn Neurosci 2012;2:458-67. doi:10.1016/j.dcn.2012.03.005.
82. Perakakis PE, Idrissi S, Vila J, Ivanov PC. Dynamical patterns of human postural responses to emotional stimuli. Psychophysiology 2012;49:1225-9. doi:10.1111/j.1469-8986.2012.01392.x.
83. Stins JF, Beek PJ. Effects of affective picture viewing on postural control. BMC Neurosci. 2007;8(1):83.
84. Azevedo TM, Volchan E, Imbiriba LA, Rodrigues EC, Oliveira JM, Oliveira LF, et al. A freezing-like posture to pictures of mutilation. Psychophysiology. mai 2005;42(3):255-60.



85. Facchinetti LD, Imbiriba LA, Azevedo TM, Vargas CD, Volchan E. Postural modulation induced by pictures depicting prosocial or dangerous contexts. *Neurosci Lett.* déc 2006;410(1):52-6.
86. Davis JR, Campbell AD, Adkin AL, Carpenter MG. The relationship between fear of falling and human postural control. *Gait Posture.* févr 2009;29(2):275-9.
87. Fawver B, Beatty GF, Naugle KM, Hass CJ, Janelle CM. Emotional State Impacts Center of Pressure Displacement before Forward Gait Initiation. *J Appl Biomech.* févr 2015;31(1):35-40.
88. DEFINITION [Internet]. [cité 25 mai 2017]. Disponible sur: <http://www.vaincrelautisme.org/content/definition>
89. Soyez-Papiernik É. Neuropédiatrie et ostéopathie du nouveau-né et du jeune enfant. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2014.
90. Rane P, Cochran D, Hodge SM. Connectivity in autism : a review of MRI connectivity studies. *HarvRevPsychiatry.* 2015;
91. D'Albis M-A, Guevara P, Guevara M, Laidi C, Boisgontier J, Sarrazin S, et al. Local structural connectivity is associated with social cognition in autism spectrum disorder. *Brain.* 1 déc 2018;141(12):3472-81.
92. Cheng W, Rolls ET, Gu H, Zhang J, Feng J. Autism: reduced connectivity between cortical areas involved in face expression, theory of mind, and the sense of self. *Brain.* mai 2015;138(5):1382-93.
93. Baron-Cohen S, Campbell R, Karmiloff-Smith A, Grant J, Walker J. Are children with autism blind to the mentalistic significance of the eyes? *Br J Dev Psychol.* nov 1995;13(4):379-98.
94. Pierce K. The brain response to personally familiar faces in autism: findings of fusiform activity and beyond. *Brain.* 10 nov 2004;127(12):2703-16.
95. Dawson G, Munson J, Estes A, Osterling J, McPartland J, Toth K, et al. Neurocognitive Function and Joint Attention Ability in Young Children with Autism Spectrum Disorder Versus Developmental Delay. *Child Dev.* mars 2002;73(2):345-58.
96. Luna B, Minshew NJ, Garver KE, Lazar NA, Thulborn KR, Eddy WF, et al. Neocortical system abnormalities in autism: An fMRI study of spatial working memory. *Neurology.* 24 sept 2002;59(6):834-40.
97. Frith U. *Autism : Explaining the enigma.* Blackwell Publishing. 2003.
98. Frith U, Happé F. Autism: beyond « theory of mind ». *Cognition.* avr 1994;50(1-3):115-32.
99. Mottron L, Dawson M, Soulières I, Hubert B, Burack J. Enhanced Perceptual Functioning in Autism: An Update, and Eight Principles of Autistic Perception. *J Autism Dev Disord.* janv 2006;36(1):27-43.
100. Perlman SB, Hudac CM, Pegors T, Minshew NJ, Pelphrey KA. Experimental manipulation of face-evoked activity in the fusiform gyrus of individuals with autism. *Soc Neurosci.* 17 févr 2011;6(1):22-30.



101. Koldewyn K, Jiang YV, Weigelt S, Kanwisher N. Global/Local Processing in Autism: Not a Disability, but a Disinclination. *J Autism Dev Disord.* oct 2013;43(10):2329-40.
102. Valeri G, Speranza M. Modèles neuropsychologiques dans l'autisme et les troubles envahissants du développement. *Développements.* 2009;1(1):34.
103. Rajendran G, Mitchell P. Cognitive theories of autism. *Dev Rev.* juin 2007;27(2):224-60.
104. Bindemann M, Burton AM, Hooge ITC, Jenkins R, de Haan EHF. Faces retain attention. *Psychon Bull Rev.* déc 2005;12(6):1048-53.
105. Jones W, Carr K, Klin A. Absence of Preferential Looking to the Eyes of Approaching Adults Predicts Level of Social Disability in 2-Year-Old Toddlers With Autism Spectrum Disorder. *Arch Gen Psychiatry.* 4 août 2008;65(8):946.
106. Pierce K, Carter C, Weinfeld M, Desmond J, Hazin R, Bjork R, et al. Detecting, Studying, and Treating Autism Early: The One-Year Well-Baby Check-Up Approach. *J Pediatr.* sept 2011;159(3):458-465.e6.
107. Riby DM, Hancock PJB. Viewing it differently: Social scene perception in Williams syndrome and Autism. *Neuropsychologia.* sept 2008;46(11):2855-60.
108. Nakano T, Tanaka K, Endo Y, Yamane Y, Yamamoto T, Nakano Y, et al. Atypical gaze patterns in children and adults with autism spectrum disorders dissociated from developmental changes in gaze behaviour. *Proc R Soc B Biol Sci.* 7 oct 2010;277(1696):2935-43.
109. von Hofsten C, Uhlig H, Adell M, Kochukhova O. How children with autism look at events. *Res Autism Spectr Disord.* avr 2009;3(2):556-69.
110. Riby D, Hancock PJB. Looking at movies and cartoons: eye-tracking evidence from Williams syndrome and autism. *J Intellect Disabil Res.* févr 2009;53(2):169-81.
111. Bird G, Press C, Richardson DC. The Role of Alexithymia in Reduced Eye-Fixation in Autism Spectrum Conditions. *J Autism Dev Disord.* nov 2011;41(11):1556-64.
112. Goulème N, Seassau M, Bucci MP. The effect of face exploration on postural control in healthy children. *Gait Posture.* juill 2015;42(2):178-85.
113. Emery NJ. The eyes have it: the neuroethology, function and evolution of social gaze. *Neurosci Biobehav Rev.* août 2000;24(6):581-604.
114. Minschew NJ, Sung K, Jones BL, Furman JM. Underdevelopment of the postural control system in autism. *Neurology.* 14 déc 2004;63(11):2056-61.
115. Falck-Ytter T, Bölte S, Gredebäck G. Eye tracking in early autism research. *J Neurodev Disord.* 2013;5(1):28.
116. Bogdanisha O. Sensory perceptual issues in autism and asperger syndrome: different sensory experiences-different perceptual worlds. Jessica Kingsley Publishers; 2016.
117. Young GS, Merin N, Rogers SJ, Ozonoff S. Gaze behavior and affect at 6 months: predicting clinical outcomes and language development in typically developing infants and infants at risk for autism. *Dev Sci.* sept 2009;12(5):798-814.



118. Mottron L, Ari Burack J. Caractéristiques sensorielles, motrices et attentionnelles des enfants autistes. In: Encyclopédie sur le développement des jeunes enfants. 2012.
119. Hobson RP, Ouston J, Lee A. What's in a face? The case of autism. *Br J Psychol.* nov 1988;79(4):441-53.
120. Carey S, Diamond R. From piecemeal to configurational representation of faces. *Science.* 21 janv 1977;195(4275):312-4.
121. Meaux E, Gillet P, Bonnet-Brilhault F, Barthélémy C, Batty M. Les anomalies du traitement des émotions faciales dans l'autisme : un trouble de la perception globale. *L'Encéphale.* oct 2011;37(5):371-8.
122. Simmons DR, Robertson AE, McKay LS, Toal E, McAleer P, Pollick FE. Vision in autism spectrum disorders. *Vision Res.* nov 2009;49(22):2705-39.
123. Costa S, Soares F, Pereira AP, Santos C, Hiolle A. Building a game scenario to encourage children with autism to recognize and label emotions using a humanoid robot. In *IEEE*; 2014. p. 820-5.
124. Fridenson-Hayo S, Berggren S, Lassalle A, Tal S, Pigat D, Bölte S, et al. Basic and complex emotion recognition in children with autism: cross-cultural findings. *Mol Autism.* 2016;7(1):52.
125. Rutherford MD, Towns AM. Scan Path Differences and Similarities During Emotion Perception in those With and Without Autism Spectrum Disorders. *J Autism Dev Disord.* août 2008;38(7):1371-81.
126. Brien AR. Conversational topic moderates visual attention to faces in autism spectrum disorder. University of Vermont; 2015.
127. Begeer S, Rieffe C, Terwogt MM, Stockmann L. Attention to facial emotion expressions in children with autism. *Autism.* janv 2006;10(1):37-51.
128. Grelotti DJ, Klin AJ, Gauthier I, Skudlarski P, Cohen DJ, Gore JC, et al. fMRI activation of the fusiform gyrus and amygdala to cartoon characters but not to faces in a boy with autism. *Neuropsychologia.* janv 2005;43(3):373-85.
129. Morris JP, Pelphrey KA, McCarthy G. Controlled scanpath variation alters fusiform face activation. *Soc Cogn Affect Neurosci.* mars 2007;2(1):31-8.
130. Dalton KM, Nacewicz BM, Johnstone T, Schaefer HS, Gernsbacher MA, Goldsmith HH, et al. Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism. *Nat Neurosci.* avr 2005;8(4):519-26.
131. Neumann D, Spezio ML, Piven J, Adolphs R. Looking you in the mouth: abnormal gaze in autism resulting from impaired top-down modulation of visual attention. *Soc Cogn Affect Neurosci.* 1 déc 2006;1(3):194-202.
132. Meaux E, Bakhos D, Bonnet-Brilhault F, Gillet P, Lescanne E, Barthélémy C, et al. « Please Draw Me a Face... » Atypical Face Mental Concept in Autism. *Psychology.* 2014;5(11):1392.



133. Ben-Sasson A, Hen L, Fluss R, Cermak SA, Engel-Yeger B, Gal E. A Meta-Analysis of Sensory Modulation Symptoms in Individuals with Autism Spectrum Disorders. *J Autism Dev Disord.* janv 2009;39(1):1-11.
134. Bucci MP, Doyen C, Contenjean Y, Kaye K. The Effect of Performing a Dual Task on Postural Control in Children with Autism. *ISRN Neurosci.* 2013;2013:1-5.
135. Chen F-C, Tsai C-L. A light fingertip touch reduces postural sway in children with autism spectrum disorders. *Gait Posture.* janv 2016;43:137-40.
136. Fournier KA, Amano S, Radonovich KJ, Bleser TM, Hass CJ. Decreased dynamical complexity during quiet stance in children with Autism Spectrum Disorders. *Gait Posture.* janv 2014;39(1):420-3.
137. Fournier KA, Kimberg CI, Radonovich KJ, Tillman MD, Chow JW, Lewis MH, et al. Decreased static and dynamic postural control in children with autism spectrum disorders. *Gait Posture.* mai 2010;32(1):6-9.
138. Graham SA, Abbott AE, Nair A, Lincoln AJ, Müller R-A, Goble DJ. The Influence of Task Difficulty and Participant Age on Balance Control in ASD. *J Autism Dev Disord.* mai 2015;45(5):1419-27.
139. Memari AH, Ghanouni P, Gharibzadeh S, Eghlidi J, Ziaee V, Moshayedi P. Postural sway patterns in children with autism spectrum disorder compared with typically developing children. *Res Autism Spectr Disord.* févr 2013;7(2):325-32.
140. Morris SL, Foster CJ, Parsons R, Falkmer M, Falkmer T, Rosalie SM. Differences in the use of vision and proprioception for postural control in autism spectrum disorder. *Neuroscience.* oct 2015;307:273-80.
141. Radonovich KJ, Fournier KA, Hass CJ. Relationship between postural control and restricted, repetitive behaviors in autism spectrum disorders. *Front Integr Neurosci.* 2013;7.
142. Price KJ, Shiffrar M, Kerns KA. Movement perception and movement production in Asperger's Syndrome. *Res Autism Spectr Disord.* janv 2012;6(1):391-8.
143. Memari AH, Ghanouni P, Shayestehfar M, Ghaheri B. Postural Control Impairments in Individuals With Autism Spectrum Disorder: A Critical Review of Current Literature. *Asian J Sports Med.* 12 sept 2014;5(3).
144. Huxhold O, Li S-C, Schmiedek F, Lindenberger U. Dual-tasking postural control: Aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Res Bull.* avr 2006;69(3):294-305.
145. Stins JF, Emck C, de Vries EM, Doop S, Beek PJ. Attentional and sensory contributions to postural sway in children with autism spectrum disorder. *Gait Posture.* juill 2015;42(2):199-203.
146. Lim YH, Lee HC, Falkmer T, Allison GT, Tan T, Lee WL, et al. Effect of Optic Flow on Postural Control in Children and Adults with Autism Spectrum Disorder. *Neuroscience.* nov 2018;393:138-49.



147. Ghanouni P, Memari A-H, Gharibzadeh S, Eghlidi J, Moshayedi P. Effect of Social Stimuli on Postural Responses in Individuals with Autism Spectrum Disorder. *J Autism Dev Disord.* mai 2017;47(5):1305-13.
148. Gouleme N, Scheid I, Peyre H, Seassau M, Maruani A, Clarke J, et al. Postural Control and Emotion in Children with Autism Spectrum Disorders. *Transl Neurosci.* 2017;8:158.
149. Doumas M, McKenna R, Murphy B. Postural Control Deficits in Autism Spectrum Disorder: The Role of Sensory Integration. *J Autism Dev Disord.* mars 2016;46(3):853-61.
150. Goh KL, Morris S, Parsons R, Ring A, Tan T. Postural and Cortical Responses Following Visual Occlusion in Adults With and Without ASD. *J Autism Dev Disord.* 22 nov 2017;
151. Memari AH, Ghanouni P, Shayestehfar M, Ziaee V, Moshayedi P. Effects of visual search vs. auditory tasks on postural control in children with autism spectrum disorder. *Gait Posture.* janv 2014;39(1):229-34.
152. Yilmaz I, Yanardag M, Birkan B, Bumin G. Effects of swimming training on physical fitness and water orientation in autism. *Pediatr Int.* oct 2004;46(5):624-6.
153. Bricout V-A, Collègues. Intérêt d'une préparation physique adaptée pour l'apprentissage du ski chez le jeune autiste. *Le bulletin scientifique de l'ARAPI.* 2015;54-61.
154. Kim Y, Todd T, Fujii T, Lim J-C, Vrongistinos K, Jung T. Effects of Taekwondo intervention on balance in children with autism spectrum disorder. *J Exerc Rehabil.* 26 août 2016;12(4):314-9.
155. Cheldavi H, Shakerian S, Boshehri SNS, Zarghami M. The effects of balance training intervention on postural control of children with autism spectrum disorder: Role of sensory information. *Res Autism Spectr Disord.* 2014;8(1):8–14.
156. Pan C-Y, Chu C-H, Tsai C-L, Sung M-C, Huang C-Y, Ma W-Y. The impacts of physical activity intervention on physical and cognitive outcomes in children with autism spectrum disorder. *Autism.* 2017;21(2):190–202.
157. Travers BG, Mason AH, Mrotek LA, Ellertson A, Dean DC, Engel C, et al. Biofeedback-Based, Videogame Balance Training in Autism. *J Autism Dev Disord.* 18 sept 2017;1-13.
158. Wang Z, Hallac RR, Conroy KC, White SP, Kane AA, Collinsworth AL, et al. Postural orientation and equilibrium processes associated with increased postural sway in autism spectrum disorder (ASD). *J Neurodev Disord.* 2016;8:43.
159. Funahashi Y, Karashima C, Hoshiyama M. Compensatory Postural Sway While Seated Posture During Tasks in Children with Autism Spectrum Disorder: Compensatory Postural Sway in Children with ASD. *Occup Ther Int.* déc 2014;21(4):166-75.
160. Quelles sont les méthodes pour aider mon enfant à progresser ? | autisme.fr [Internet]. [cité 25 mai 2017]. Disponible sur: http://www.autisme.fr/?page_id=155
161. Bessou Roque A. Prise en soins des personnes avec autisme en kinésithérapie. 2017.
162. Faugeron J. L'enfant avec autisme : prise en charge kinésithérapique. 2012; Disponible sur: <https://www.kineactu.com/article/5134-l-enfant-avec-autisme-prise-en-charge-kinesitherapique>



163. Le Berre K. Enfants autistes : prise en charge en kinésithérapie. 2015; Disponible sur: <https://www.kineactu.com/article/8288-enfants-autistes-br-prise-en-charge-en-kinesitherapie>
164. Bruchhage MMK, Bucci M-P, Becker EBE. Cerebellar involvement in autism and ADHD. In: Handbook of Clinical Neurology. Elsevier; 2018. p. 61-72.
165. Ecker C, Ginestet C, Feng Y, Johnston P, Lombardo MV, Lai M-C, et al. Brain Surface Anatomy in Adults With Autism: The Relationship Between Surface Area, Cortical Thickness, and Autistic Symptoms. JAMA Psychiatry. 1 janv 2013;70(1):59.
166. Fitch A, Fein DA, Eigsti I-M. Detail and Gestalt Focus in Individuals with Optimal Outcomes from Autism Spectrum Disorders. J Autism Dev Disord. juin 2015;45(6):1887-96.
167. Fong SSM, Guo X, Cheng YTY, Liu KPY, Tsang WWN, Yam TTT, et al. A Novel Balance Training Program for Children With Developmental Coordination Disorder: A Randomized Controlled Trial. Medicine (Baltimore). avr 2016;95(16):e3492.
168. Mckeon PO, Ingersoll CD, Kerrigan DC, Saliba E, Bennett BC, Hertel J. Balance Training Improves Function and Postural Control in Those with Chronic Ankle Instability: Med Sci Sports Exerc. oct 2008;40(10):1810-9.
169. A.F.P. Normes 85. In rue du rendez-vous 75012 Paris: ADAP 20; 1985.
170. Loram ID, Maganaris CN, Lakie M. Paradoxical Muscle Movement during Postural Control: Med Sci Sports Exerc. janv 2009;41(1):198-204.
171. Gagey P-M. L'accélération du CdG / CoG acceleration [Internet]. clinicalstabilometry. [cité 7 mars 2019]. Disponible sur: <https://www.tapataalk.com/groups/clinicalstabilometry/l-acceleration-du-cdg-cog-acceleration-t33.html>
172. Chiari L, Rocchi L, Cappello A. Stabilometric parameters are affected by anthropometry and foot placement. Clin Biomech. nov 2002;17(9-10):666-77.
173. Carroll J. On the path length of postural sway. Agressol Rev Int Physio-Biol Pharmacol Appl Aux Eff Agression. mai 1986;27(5):431-2.
174. Cohen B. Posturographie statique chez les patients vertigineux. Neurophysiol Clin Neurophysiol. nov 2016;46(4-5):251.
175. Bazert C. Influence de l'avancement de la mandibule sur la posture générale. Etude stabilométrique et compléments électromyographiques. Bordeaux 1; 2008.
176. McDowd JM. The Effects of Age and Extended Practice on Divided Attention Performance. J Gerontol. 1 nov 1986;41(6):764-9.
177. Gagey P-M, Bizzo G, Ouaknine M, Weber B. Deux modèles mécaniques de stabilisation posturale : la Tactique du Centre de Gravité et la Tactique du Centre de Pression [Internet]. Disponible sur: <http://ada-posturologie.fr/TactiqueDuPied.htm>
178. Gagey P-M, Gagey B. Influence de la cadence d'échantillonnage sur les paramètres stabilométriques. 2013.



179. Gély, Garcin O. Quels sont les paramètres subjectifs ou objectifs qui sont prédictifs d'une performance sur une course d'endurance telle que l'UTMB ? 2011.
180. Garcin O. Variabilité des paramètres stabilométriques au départ d'une épreuve d'ultra endurance de montagne. 2015.
181. Elsabbagh M, Bedford R, Senju A, Charman T, Pickles A, Johnson MH, et al. What you see is what you get: contextual modulation of face scanning in typical and atypical development. *Soc Cogn Affect Neurosci.* 1 avr 2014;9(4):538-43.
182. Moseley RL, Pulvermüller F. What can autism teach us about the role of sensorimotor systems in higher cognition? New clues from studies on language, action semantics, and abstract emotional concept processing. *Cortex.* mars 2018;100:149-90.
183. Eddy CM, Cook JL. Emotions in action: The relationship between motor function and social cognition across multiple clinical populations. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry.* août 2018;86:229-44.
184. Travers BG, Mason AH, Gruben KG, Dean DC, McLaughlin K. Standing balance on unsteady surfaces in children on the autism spectrum: The effects of IQ. *Res Autism Spectr Disord.* juill 2018;51:9-17.
185. Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture.* août 2002;16(1):1-14.
186. Gagey P-M. Recording conditions - Normes 13. 2016;
187. Bucci MP, Goulème N, Dehouck D, Stordeur C, Acquaviva E, Septier M, et al. Interactions between eye movements and posture in children with neurodevelopmental disorders. *Int J Dev Neurosci.* déc 2018;71:61-7.
188. Nelson NL, Mondloch CJ. Adult's and children's perception of facial expressions is influenced by body postures even for dynamic stimuli. *Vis Cogn.* 3 juill 2017;25(4-6):563-74.
189. Klin A, Jones W. Altered face scanning and impaired recognition of biological motion in a 15-month-old infant with autism. *Dev Sci.* janv 2008;11(1):40-6.



Annexes

Annexe I. Consentement de participation à l'étude expérimentale	92
Annexe II. Protocole de rééducation du contrôle postural	95
Annexe III. Fiche de synthèse pour chaque participant	97
Annexe IV. Tableau de comparaison pré et post-test des paramètres posturographiques pour les deux groupes, dans chaque condition	99
Annexe V. Tableau de comparaison de l'évolution delta des paramètres posturographiques entre les deux groupes, pour chaque condition.....	100
Annexe VI. Graphiques comparant l'évolution Delta des différents paramètres entre les groupes, pour les différentes conditions d'évaluation	101
Annexe VII. Graphiques de comparaison intergroupe des évolutions Delta du coût de DT pour les différents paramètres posturographiques, dans les 5 conditions de DT	102



Annexe I. Consentement de participation à l'étude expérimentale

CONSENTEMENT DE PARTICIPATION A UNE ETUDE SCIENTIFIQUE

« Etude pilote : effet de la rééducation de l'équilibre sur une situation de double-tâche émotionnelle chez l'enfant atteint d'autisme »

Institut Limousin de Formation aux Métiers de la Réadaptation

Adresse : Campus universitaire de Vanteaux, 39H Rue Camille Guérin, 87036

LIMOGES Cedex

Tel : 05.55.43.56.60

➤ **Investigateur principal (chercheur responsable de l'étude) :**

Anaïck Perrochon, Ph.D, Laboratoire HAVAE – EA 6310, Insitut GEIST, Université de Limoges

Coordonnées :

- Téléphone : 0587080886 - 0555457632
- Mail : anaick.perrochon@unilim.fr

➤ **Expérimentateur**

Jabouille François, étudiant en 4^{ème} année de masso-kinésithérapie à l'ILFOMER

Coordonnées :

- Téléphone : 06.58.21.39.77
- Mail : francoisjabouille@laposte.net

NOTE D'INFORMATION AUX PERSONNES

Madame, Monsieur,

Nous vous proposons de participer à une étude dont l'objectif est de connaître l'impact de la rééducation de l'équilibre sur une situation de double tâche chez l'enfant atteint de troubles du spectre autistique (TSA).

Pourquoi cette étude ?

Il y a 3 intérêts principaux de cette étude. Le premier, l'amélioration de l'équilibre, concerne directement la population des enfants atteints de TSA. Le deuxième, c'est permettre d'ouvrir des pistes de recherche et de réflexion sur cette pathologie encore mal comprise.



Enfin, le dernier avantage est celui de contribuer à l'avancement des connaissances sur la prise en soin masso-kinésithérapique des TSA.

Comment va se dérouler cette étude ?

L'étude va se dérouler en trois phases. La première consiste en un test initial d'équilibre en se tenant debout sur une plateforme de posturographie. Plusieurs essais vont être réalisés dans différentes conditions : les yeux ouverts, les yeux fermés et en double-tâche. Ce dernier impliquera que, pendant qu'il maintient son équilibre comme précédemment, votre enfant doit regarder 5 émotions de bases présentées aléatoirement (tristesse, peur, colère, joie, neutre) sans bouger. Entre chaque émotion présentée, un temps de 10 secondes sera accordé afin d'éviter une possible fatigue.

Après cette évaluation, pour un premier groupe, nous proposons 2 sessions de 30 minutes par semaine de travail de l'équilibre pendant 4 semaines, qui correspondront à diverses tâches d'équilibre et de sauts. Chaque séance finira avec des exercices d'équilibre sur Wii Balance Board.

A la fin du programme d'entraînement, un test final sera réalisé dans les mêmes conditions que le test initial.

Pour un deuxième groupe, dit « groupe témoin », il n'y aura que les tests initiaux et finaux sans protocole de rééducation.

Cette étude ne comporte aucun risque prévisible pour la santé.

Quels sont vos droits ?

Votre participation à cette étude est entièrement libre. Vous pouvez ne pas prendre part à cette étude ou si vous souhaitez vous en retirer à quelque moment que ce soit, et quel que soit le motif.

Les données recueillies au cours de cette étude resteront strictement confidentielles, vos nom et adresse ne seront pas divulgués. Compte tenu des nécessités de la recherche et de son analyse ultérieure, les données recueillies qui vous concernent feront l'objet d'un traitement informatisé et anonyme. Les informations qui feront l'objet de ce traitement informatisé seront celles recueillies lors de l'analyse du contrôle postural par la plateforme de posturographie ainsi que les différentes données quantitatives suivantes : âge, sexe, poids, taille et niveau d'activité physique. L'article 40 de la loi du 6 janvier 1978 prévoit votre droit d'accès, d'opposition et de rectification des données enregistrées sur informatique, à tout moment, par l'intermédiaire du responsable de l'étude : Mr Perrochon Anaïck, Université de Limoges, Laboratoire HAVAE - EA 6310, Institut GEIST, Université de Limoges.



Lorsque cette étude sera terminée, si vous le souhaitez, vous serez personnellement informé des résultats des examens et de l'étude par l'investigateur, dès que ceux-ci seront disponibles.

Après avoir lu cette note d'information, n'hésitez pas à poser toutes les questions que vous désirez.

Si vous acceptez de participer à cette étude, il vous suffit, comme le prévoit la loi, de signer le consentement de participation prévu à cet effet, en triple exemplaire. Un exemplaire vous sera remis.

Nous vous remercions de votre collaboration.

ACCORD DE PARTICIPATION

Je soussigné.....

Né le/...../.....

Déclare :

- qu'il m'a été proposé de participer à l'étude sus-nommée,
- que m'a été communiqué : l'objectif, la méthode, et la durée de l'étude, mon droit de refuser de participer ou de retirer mon consentement à tout moment sans encourir aucune responsabilité,
- que le protocole m'a été expliqué en détail,
- que j'ai répondu en toute bonne foi aux questions concernant mon état de santé et ma participation à d'autres études.

Après avoir discuté librement et obtenu réponses à toutes mes questions, j'accepte, en toute connaissance de cause, de participer à l'étude.

Fait à....., le.....

Nom du participant :

Nom de l'expérimentateur :

Signature du participant
(Précédée de la mention « lu et approuvé ») :

Signature de l'expérimentateur :



Annexe II. Protocole de rééducation du contrôle postural

Dans les activités unipodales, le sujet devait tenir en équilibre 3 secondes pour valider le saut, sans mouvements excessifs et sans contact avec l'autre jambe. La progression n'était possible que lorsqu'il réalisait le nombre demandé sans erreurs.

Sujet n° :

Progression séance 1 :

1) Marche normale en double tâche (5min) :

- Faire s'équilibrer une balle de gros diamètre sur une planche
- Faire s'équilibrer une balle de petit diamètre sur une planche
- Ajout d'un calcul mental (addition/multiplication)
- Faire s'équilibrer deux balles de gros diamètre sur une planche
- Faire s'équilibrer deux balles de petit diamètre sur une planche
- Ajout d'un calcul mental (addition/multiplication)

2) Equilibre unipodal (5min) :

- Sur sol YO
- Sur tapis en mousse YO
- Avec jeu de balle (intrinsèque et extrinsèque)
- Sur sol YF
- Sur tapis en mousse YF
- Avec jeu de balle (intrinsèque)

3) Marche sur une ligne (5min) :

- En avant, sur la pointe des pieds
- En avant, sur les talons
- En avant, déroulant du talon jusqu'à la pointe
- En avant puis arrière, sur la pointe des pieds
- En avant puis arrière, sur les talons
- En avant puis arrière, déroulant du talon jusqu'à la pointe

4) 3x15 Sauts sur STEP (5min) :

- Bipodal 15cm de haut
- Unipodal 15cm de haut
- Bipodal 30cm de haut
- Unipodal 30cm de haut
- Bipodal sur STEP + mousse
- Unipodal sur STEP + mousse

5) Jeux d'équilibre sur Wii Balance Board (10min).

Progression Séance 2 :

1) Sauts sur des marqueurs au sol dont la séquence est donnée aléatoirement par le thérapeute.

Séquence 1, pied droit : 5-6-8-4-2-1-7-5 / 2-6-5-9-8-7-5-3 / 7-5-3-2-1-5-9-4 / 4-5-2-8-9-6-2-1

- 5 s par coup ; 3 s par coup ; 1 s par coup.
- Avec 1 coussin de mousse
- Avec 1 coussin de mousse + 1 step



2) Travail de l'équilibre unipodal yeux ouverts (3 répétitions) :

- Bras libres sur sol dur pendant 30 s
- Bras croisés sur la poitrine sur le sol dur pendant 30 s
- Bras croisés sur la poitrine sur le sol dur pendant 60 s
- Bras libre sur coussin de mousse pendant 30 s
- Bras croisés sur la poitrine pendant 30 s sur un coussin de mousse.
- Bras croisés sur la poitrine pendant 60 s sur un coussin de mousse.
- Bras croisés sur la poitrine pendant 90 s sur un coussin de mousse.

3) Sauts à cloche pied d'une position de départ vers une position cible (10 dans chaque direction : X, Y et les 2 diagonales) :

- Saut de 45cm : avec permission d'utiliser les bras pour aider la stabilisation
- Saut de 45cm : main sur hanche pendant la stabilisation après l'atterrissage
- Saut de 68cm : avec permission d'utiliser les bras
- Saut de 68cm : main sur hanche
- Saut de 91cm : permission d'utiliser les bras
- Saut de 91cm : main sur hanche
- Saut de 91cm : depuis une plateforme de 15cm

4) Travail de l'équilibre unipodal yeux fermés (3 répétitions) :

- Bras libres sur sol dur pendant 30 s
- Bras croisés sur la poitrine sur le sol dur pendant 30 s
- Bras croisés sur la poitrine sur le sol dur pendant 60 s
- Bras libre sur coussin de mousse pendant 30 s
- Bras croisés sur la poitrine pendant 30 s sur un coussin de mousse.
- Bras croisés sur la poitrine pendant 60 s sur un coussin de mousse.
- Bras croisés sur la poitrine pendant 90 s sur un coussin de mousse.

5) Sauts sur des marqueurs au sol dont la séquence est donnée aléatoirement par le thérapeute
Séquence 2, pied gauche : 7-8-4-5-6-2-1-7 / 3-5-4-1-5-9-8-5 / 8-5-4-2-6-3-5-7 / 1-5-2-4-8-9-8-7

- 5 s par coup ; 3 s par coup ; 1 s par coup.
- Avec 1 coussin de mousse
- Avec 1 coussin de mousse + 1 step

6) Sauts à cloche pied d'une position de départ vers une position cible puis saut de retour à la position initiale (5 dans chaque direction) :

- Saut de 45cm : avec permission d'utiliser les bras pour aider la stabilisation
- Saut de 45cm : main sur hanche pendant la stabilisation après l'atterrissage
- Saut de 68cm : avec permission d'utiliser les bras
- Saut de 68cm : main sur hanche
- Saut de 91cm : permission d'utiliser les bras
- Saut de 91cm : main sur hanche
- Saut de 91cm : depuis une plateforme de 15cm

7) Jeux d'équilibre sur Wii balance board (10min).



Annexe III. Fiche de synthèse pour chaque participant

Sujet n° :

Critères inclusion/exclusion :

<i>Diagnostic TSA ADI-R/ADOS-2</i>	<i>Pathologie neurologique</i>	<i>Pathologie traumatique ou rhumatologique</i>	<i>Médicaments psychotropes</i>	<i>Particularité sensorielle visuelle</i>	<i>TDA/H ?</i>

Description :

- Latéralité :
- Age :
- Sexe :
- Taille :
- Poids :
- Niveau d'activité physique :
 - Quel type ?
 - Quelle fréquence ?

Bilan 1 : date et notifications :

	Surface COP	LFS	VFY	Vitesse moyenne
Familiarisation	-	-	-	-
YO1	-	-	-	-
YF	-	-	-	-
E1 = _____	-	-	-	-
E2 = _____	-	-	-	-
E3 = _____	-	-	-	-
E4 = _____	-	-	-	-
E5 = _____	-	-	-	-
YO2	-	-	-	-

Reconnaissance :

E1	E2	E3	E4	E5 :

Notes :



Rééducation :

- Nombre de séances réalisées :
- Progressivité sur séances 1 :
- Progressivité sur séances 2 :

Bilan 2 : date et notifications :

	Surface COP	LFS	VFY	Vitesse moyenne
Familiarisation	-	-	-	-
YO1	-	-	-	-
YF	-	-	-	-
E1 = _____	-	-	-	-
E2 = _____	-	-	-	-
E3 = _____	-	-	-	-
E4 = _____	-	-	-	-
E5 = _____	-	-	-	-
YO2	-	-	-	-

Reconnaissance :

E1	E2	E3	E4	E5 :

Notes :



Annexe IV. Tableau de comparaison pré et post-test des paramètres posturographiques pour les deux groupes, dans chaque condition

	Groupe contrôle			Groupe expérimental		
	Pré-test	Post-test	P	Pré-test	Post-test	P
Condition YO						
- Surface	205,50 ± 82,84	345,83 ± 360,71	0,237	414,62 ± 571,71	319,55 ± 46,26	0,917
- Vitesse Moy	10,51 ± 2,09	14,11 ± 7,60	0,091	11,94 ± 7,38	15,19 ± 12,45	0,345
- LFS	0,33 ± 0,06	0,39 ± 0,09	0,128	0,31 ± 0,08	0,42 ± 0,17	0,043*
- VFY	35,71 ± 15,89	40,50 ± 16,90	0,499	30,23 ± 12,22	34,26 ± 16,10	0,917
Condition YF						
- Surface	453,21 ± 279,72	391,63 ± 401,14	0,310	816,08 ± 1277,79	445,80 ± 260,79	0,917
- Vitesse Moy	17,96 ± 6,13	19,53 ± 7,80	0,866	18,44 ± 10,21	20,99 ± 8,76	0,463
- LFS	0,45 ± 0,17	0,54 ± 0,14	0,063	0,39 ± 0,13	0,56 ± 0,15	0,075
- VFY	28,54 ± 14,13	39,22 ± 16,86	0,063	32,92 ± 9,41	32,62 ± 7,24	0,600
Condition « triste »						
- Surface	269,69 ± 191,98	344,59 ± 307,69	0,398	628,42 ± 1156,14	206,40 ± 114,17	0,600
- Vitesse Moy	14,99 ± 9,49	13,11 ± 3,98	0,499	14,79 ± 11,33	11,87 ± 3,91	0,463
- LFS	0,44 ± 0,23	0,37 ± 0,05	0,497	0,32 ± 0,10	0,37 ± 0,10	0,463
- VFY	41,80 ± 11,09	42,67 ± 16,50	0,612	40,97 ± 8,73	30,44 ± 15,48	0,173
Condition « joie »						
- Surface	337,26 ± 413,83	311,77 ± 247,03	0,866	292,03 ± 231,47	341,75 ± 218,76	0,345
- Vitesse Moy	13,18 ± 6,12	13,35 ± 6,06	0,866	12,35 ± 2,84	12,76 ± 4,75	0,917
- LFS	0,37 ± 0,08	0,39 ± 0,13	0,612	0,37 ± 0,08	0,37 ± 0,10	0,753
- VFY	44,05 ± 12,11	41,24 ± 15,61	0,612	41,32 ± 13,03	32,71 ± 13,22	0,046*
Condition « colère »						
- Surface	231,03 ± 148,62	351,43 ± 289,20	0,128	977,35 ± 1867,66	253,13 ± 171,67	0,917
- Vitesse Moy	12,32 ± 6,10	13,77 ± 7,01	0,612	12,92 ± 7,04	13,12 ± 3,91	0,345
- LFS	0,38 ± 0,14	0,38 ± 0,11	0,865	0,28 ± 0,13	0,40 ± 0,08	0,027*
- VFY	44,15 ± 8,22	42,46 ± 14,07	0,612	41,11 ± 14,70	38,91 ± 11,54	0,600
Condition « peur »						
- Surface	314,00 ± 275,38	359,54 ± 275,38	0,499	545,52 ± 842,82	251,30 ± 237,52	0,463
- Vitesse Moy	12,99 ± 5,81	13,32 ± 3,44	0,735	13,13 ± 6,38	11,37 ± 3,64	0,463
- LFS	0,37 ± 0,09	0,38 ± 0,04	0,833	0,32 ± 0,09	0,35 ± 0,06	0,753
- VFY	40,65 ± 12,07	42,98 ± 12,96	0,735	43,66 ± 11,26	35,11 ± 7,65	0,046*
Condition « neutre »						
- Surface	308,84 ± 239,97	363,10 ± 351,64	0,612	234,47 ± 190,22	471,38 ± 758,44	0,463
- Vitesse Moy	13,23 ± 5,74	12,00 ± 3,08	0,310	11,91 ± 4,77	12,80 ± 5,42	0,866
- LFS	0,38 ± 0,11	0,35 ± 0,09	0,149	0,37 ± 0,11	0,34 ± 0,07	0,892
- VFY	36,06 ± 17,66	43,15 ± 13,45	0,866	37,97 ± 9,97	30,76 ± 15,23	0,173

* Différence significative : $p < 0,05$

YO = yeux ouverts ; YF = yeux fermés



Annexe V. Tableau de comparaison de l'évolution delta des paramètres posturographiques entre les deux groupes, pour chaque condition

Contrôle vs expérimental

	Δ pré/post Ct	Δ pré/post Xp	P
Condition YO			
- Surface	140,33 ± 320,93	-95,07 ± 734,98	0,366
- Vitesse Moy	3,60 ± 7,01	4,32 ± 12,66	0,945
- LFS	0,05 ± 0,08	0,12 ± 0,10	0,181
- VFY	4,79 ± 12,78	4,03 ± 17,44	0,945
Condition YF			
- Surface	-61,59 ± 448,37	-370,28 ± 1160,56	0,534
- Vitesse Moy	1,56 ± 6,72	2,56 ± 11,42	0,836
- LFS	0,09 ± 0,10	0,17 ± 0,17	0,366
- VFY	10,67 ± 12,33	-0,30 ± 10,46	0,138
Condition « triste »			
- Surface	74,90 ± 219,59	-422,02 ± 1083,33	0,445
- Vitesse Moy	-1,88 ± 6,02	-2,93 ± 8,18	1,000
- LFS	-0,07 ± 0,20	0,06 ± 0,14	0,366
- VFY	0,87 ± 7,36	-10,54 ± 14,05	0,181
Condition « joie »			
- Surface	-25,49 ± 474,73	49,72 ± 151,54	0,731
- Vitesse Moy	0,17 ± 5,73	0,41 ± 4,13	0,945
- LFS	0,02 ± 0,09	-0,007 ± 0,09	0,731
- VFY	-2,81 ± 14,35	-8,61 ± 6,70	0,534
Condition « colère »			
- Surface	120,40 ± 214,78	-724,22 ± 1717,51	0,138
- Vitesse Moy	1,45 ± 8,22	0,20 ± 4,18	0,945
- LFS	0,003 ± 0,17	0,12 ± 0,15	0,234
- VFY	-1,68 ± 6,96	-2,20 ± 16,77	1,000
Condition « peur »			
- Surface	45,54 ± 149,33	-294,22 ± 622,01	0,445
- Vitesse Moy	0,33 ± 3,66	-1,76 ± 3,81	0,181
- LFS	0,01 ± 0,08	0,02 ± 0,10	0,945
- VFY	2,33 ± 11,68	-8,55 ± 9,15	0,101
Condition « neutre »			
- Surface	54,26 ± 303,64	236,92 ± 634,01	0,534
- Vitesse Moy	-1,23 ± 3,24	0,89 ± 2,07	0,234
- LFS	-0,03 ± 0,06	-0,03 ± 0,14	0,366
- VFY	7,09 ± 19,74	-7,21 ± 12,23	0,234

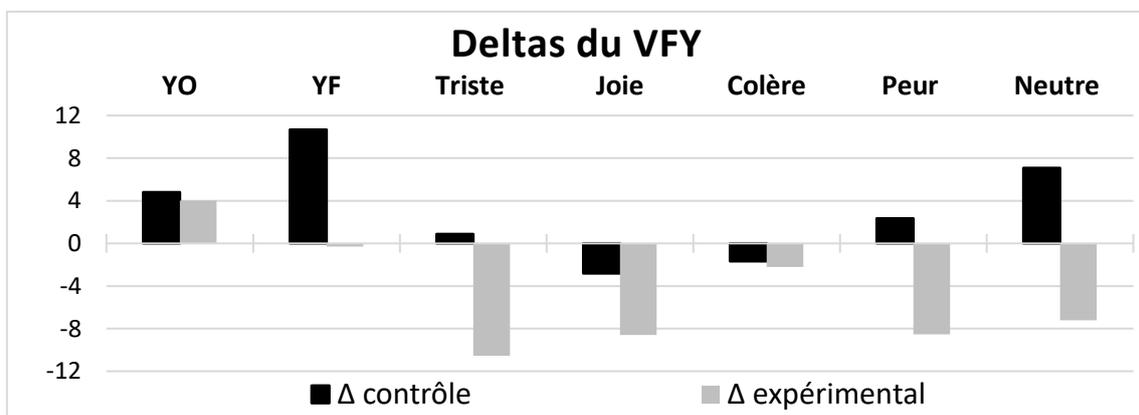
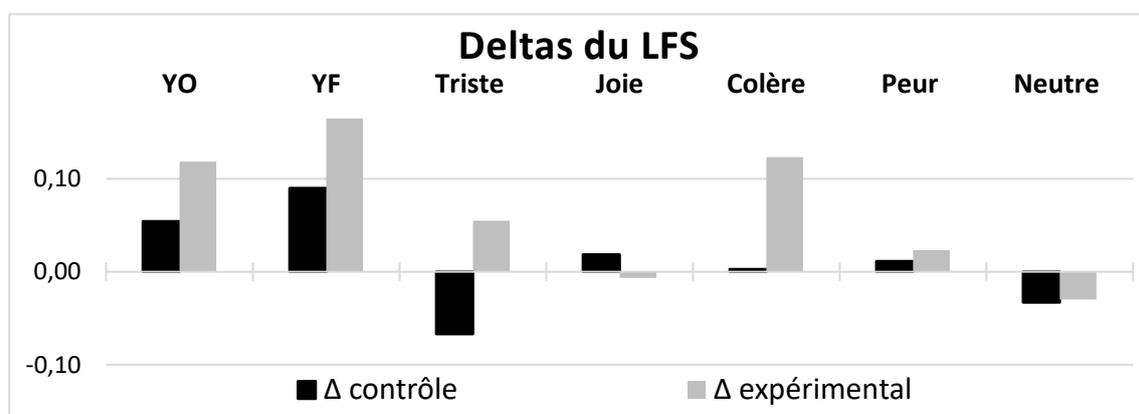
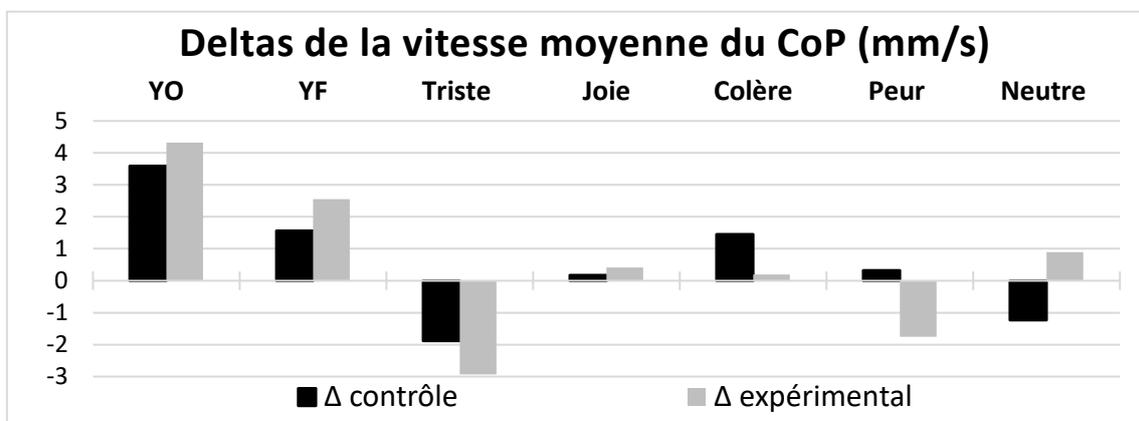
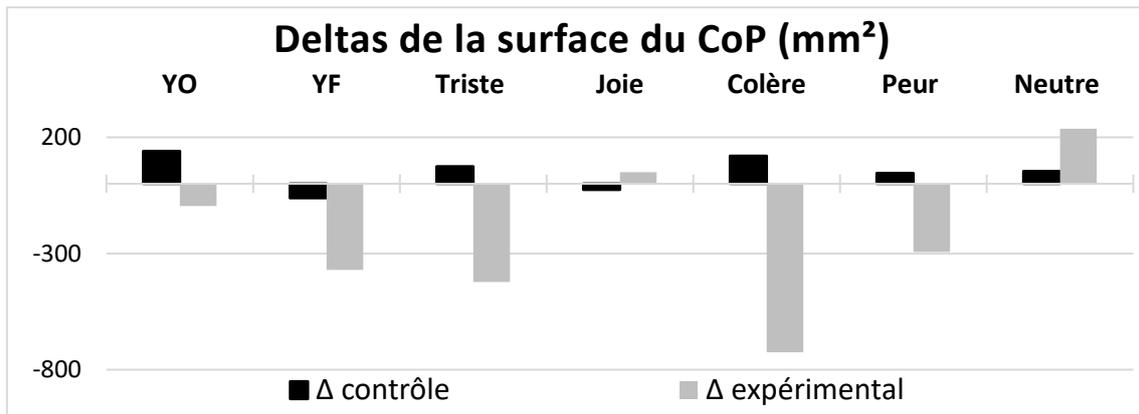
* Différence significative : p<0,05

Δ = delta

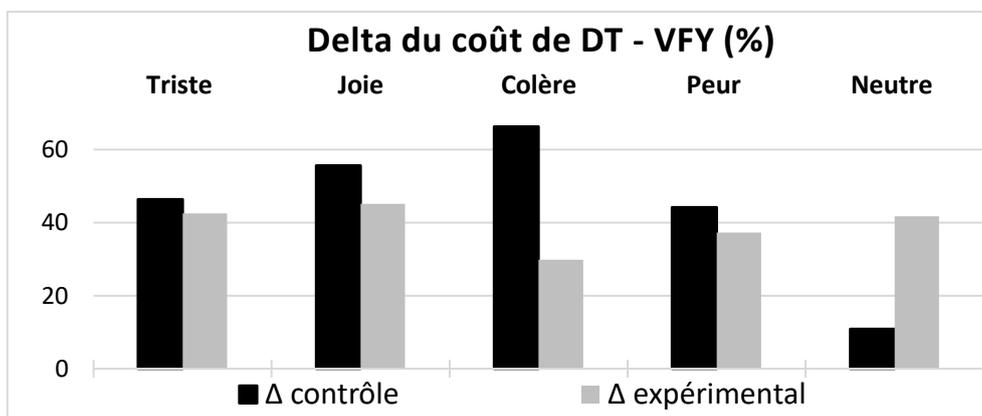
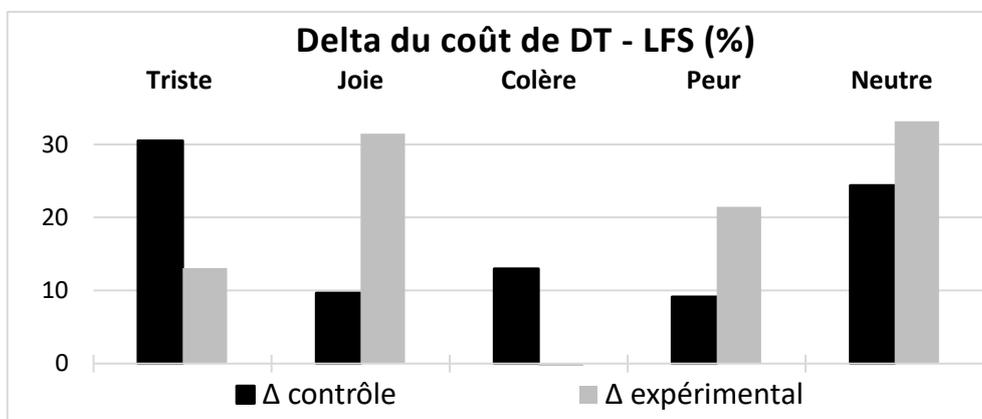
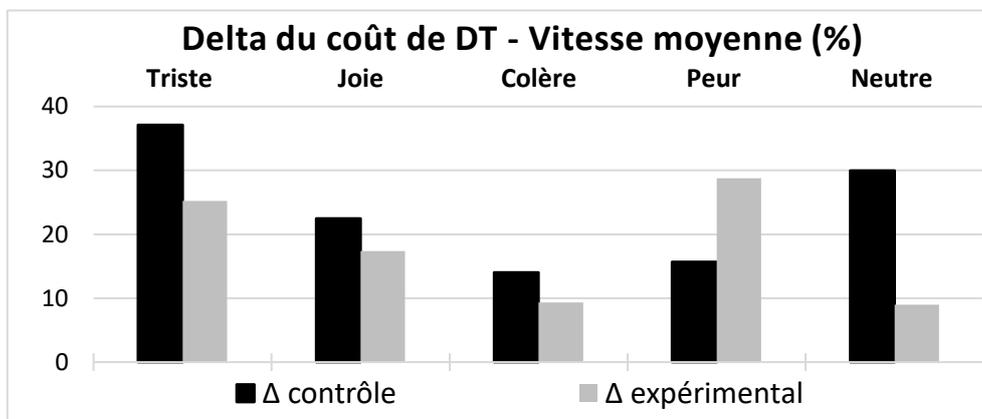
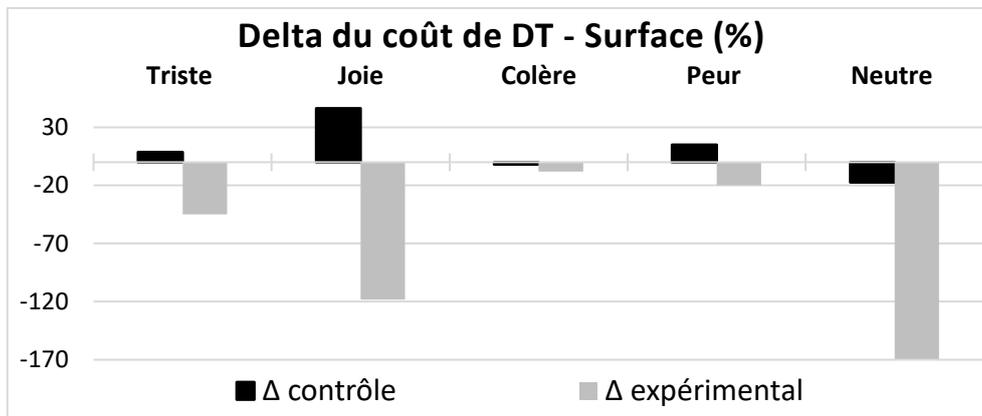
YO = yeux ouverts ; YF = yeux fermés



Annexe VI. Graphiques comparant l'évolution Delta des différents paramètres entre les groupes, pour les différentes conditions d'évaluation



Annexe VII. Graphiques de comparaison intergroupe des évolutions Delta du coût de DT pour les différents paramètres posturographiques, dans les 5 conditions de DT



Etude pilote : effets de la rééducation de l'équilibre sur une situation de double-tâche émotionnelle chez l'enfant atteint d'autisme

Objectif : Le but de cette étude était d'examiner l'effet d'une rééducation de l'équilibre chez les enfants avec autisme et plus particulièrement lors de la présentation de stimuli sociaux.

Méthode : Nous avons suivi 13 enfants diagnostiqués autistes répartis dans deux groupes : 7 pour le groupe témoin (moyenne d'âge : $11,29 \pm 1,11$) et 6 dans le groupe expérimental (moyenne d'âge : $9,83 \pm 3,66$). Chaque groupe a reçu, à intervalle de 6 semaines, 2 bilans posturographiques pour étudier les variations de leur contrôle postural. Seul le groupe expérimental a suivi un protocole de rééducation du contrôle postural de 4 semaines à raison de 2 séances par semaine entre les 2 tests. Différents paramètres étudiant le centre de pression ont été relevés (surface, vitesse moyenne, LFS et VFY) pour plusieurs conditions en simple tâche (yeux ouverts, yeux fermés) et en double tâche lors de la visualisation de visages statiques (triste, colère, joie, peur et neutre).

Résultats : L'analyse par le test T des rangs signés de Wilcoxon montre une progression significative pour les paramètres LFS et VFY du groupe expérimental dans certaines conditions. Cependant, le test U de Mann-Whitney ne montre aucune différence significative intergroupe.

Conclusion : Nos résultats tendent à montrer que les enfants avec autisme pourraient bénéficier favorablement d'une telle intervention pour leur stabilité posturale, cependant de futures études sur une plus grande période d'inclusion sont nécessaires afin de conclure dans quelles mesures.

Mots-clés : autisme, contrôle postural, émotion, masso-kinésithérapie, posturographie

Pilot study: the effects of balance rehabilitation on emotional dual task in children with autism

Purpose: The aim of this study was to investigate the effect of balance rehabilitation in children with autism, and more particularly during the presentation of social stimuli.

Methodology: We followed 13 children diagnosed with autism divided into 2 groups: 7 for the control group (average age: $11,29 \pm 1,11$) and 6 in the experimental group (average age: $9,83 \pm 3,66$). Each group received 2 posturographic assessments at 6-week intervals to study variations in their postural control. Only the experimental group followed a 4-week postural control rehabilitation with 2 sessions per week between the 2 tests. Different parameters studying the center of pressure were measured (surface, mean velocity, LFS and VFY) for several single task (eyes open, eyes closed) and double task conditions when viewing static faces (sad, angry, joy, fear and neutral).

Results: The Wilcoxon signed-rank test shows significant progression for the LFS and VFY parameters of the experimental group under some conditions. However, the Mann-Whitney U-test shows no significant intergroup differences.

Conclusion: Our findings suggest that children with autism could benefit favourably from such intervention for their postural stability, however, future studies over a longer inclusion period are needed to conclude to what extent.

Keywords: autism, postural control, emotion, physiotherapy, posturography

