

Université de Montréal

**Le rôle des symptômes d'hyperactivité-
impulsivité dans la performance à une tâche de
pointage manuel : quel rôle pour l'inattention?**

par

Patrick Noué

Département de physiologie

Faculté de médecine

Mémoire présenté à la Faculté de médecine
en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences
en sciences neurologiques

Avril 2012

© Patrick Noué, 2012

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

Le rôle des symptômes d'hyperactivité-impulsivité dans la performance à une tâche
de pointage manuel : quel rôle pour l'inattention?

Présenté par :
Patrick Noué

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

John F. Kalaska, Ph. D., président-rapporteur
Philippe Robaey, MD, Ph. D., directeur de recherche
Jean-Pierre Gossard, Ph. D., membre du jury

Résumé

Une évaluation du nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité et d'inattention a été faite sur 277 jumeaux au moyen d'une entrevue semi-structurée administrée aux parents, basée sur une échelle validée et communément admise, et une tâche de pointage a été demandée à chacun d'eux. La tâche de pointage a été effectuée avec chaque main successivement vers une cible dont la position à 135° ou à 45° était déterminée aléatoirement. Les tracés ont été classés en trois catégories selon le type de la première correction volontaire qu'ils présentaient sur leurs profils cinématiques : absence de correction, correction de position, correction dynamique.

Ce projet veut caractériser la relation entre le taux de chaque type de correction et le nombre de symptômes de TDAH chez une population d'enfants ne répondant majoritairement pas à un diagnostic clinique de TDAH.

Il a été montré que la présence de corrections de position était fréquemment corrélée à la présence de symptômes d'hyperactivité-impulsivité, mais pas, ou rarement, de symptômes d'inattention. D'autre part, il a été aussi remarqué que le taux de correction augmentait significativement lorsque le mouvement de pointage était effectué de la main gauche, sans égard à la dominance manuelle du sujet.

Le premier résultat n'était pas attendu, étant donné la littérature relativement épaisse montrant un lien entre l'inattention et les problèmes de coordination motrice. Le second résultat, par contre, laisse entendre que la différenciation fonctionnelle hémisphérique d'un point de vue de contrôle attentionnel, ou de la motricité de la main gauche, serait affectée par le TDAH.

Mots-clés : TDAH, inattention, hyperactivité-impulsivité, contrôle moteur, planification, pointage, inhibition motrice, environnement

Abstract

Symptoms linked to ADHD were assessed on 277 twins according to the commonly recognized dimensions formed by hyperactivity-impulsivity and inattention. A semi-structured interview administered to parents was used for the assessment. Subjects were asked to perform a pointing task. Left and right hands were tested in turn, and to reach a target placed either at 135° or 45°. Order of appearance was randomly determined. All traces were categorized according to the first voluntary correction as shown in their kinematic profiles : no correction, position correction, and dynamic correction.

This project proposes to characterize the link between each correction type frequency and hyperactivity-impulsivity and inattention symptoms. The population studied was mostly subclinical and did not reach ADHD diagnosis criteria.

Position corrections were shown to be correlated quite reliably to hyperactivity-impulsivity symptoms, but not to inattention symptoms. Deficits were most reliably linked with left hand use.

The first result was unexpected considering abundant literature confirming the link between inattention and fine motor deficits, but the second one is more in line with a less exploited hypothesis stating that hemispherical functional differentiation related to control of the hand, or control of attention is affected by ADHD.

Keywords : ADHD, inattention, hyperactivity-impulsivity, motor control, planification, reaching, motor inhibition, environment

Table des matières

Table des matières.....	ii
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux.....	vi
Liste des abréviations.....	vii
Introduction.....	1
Chapitre 2 – Matériel et méthode.....	27
2.1 Sujets.....	27
2.2 Mesures psychométriques.....	27
2.3 Mesures motrices.....	28
2.3.1 Appareillage expérimental.....	28
2.3.2 Procédure.....	29
2.3.3 Échantillonnage et format des données.....	30
2.3.4 Détection et classification des corrections.....	31
2.4 Analyse des données.....	36
2.4.1 Corrélations entre fréquence relative des types de correction et dimensions du TDAH.....	36
2.4.2 Position spatiale des premières corrections.....	38
Chapitre 3 – Résultats.....	40
3.1 Représentativité de la population.....	40
3.1.1 Variables psychométriques.....	40
3.1.2 Latéralisation.....	40
3.1.3 Modèle d'enregistrements cinématiques.....	40
3.2 Lien général existant entre le taux de correction et les dimensions du TDAH....	44
3.2.1 Corrélations existant entre l'incidence d'une correction et le nombre de symptômes du TDAH.....	44
3.2.2 Position des premières corrections volontaires.....	46
3.3 Effet de la main utilisée sur les corrélations entre taux de correction observés et nombre de symptômes relevés dans chaque dimension.....	51
3.4 Effet de la latéralisation sur les corrélations entre taux de correction observée et nombre de symptômes relevés dans chaque dimension.....	55
3.5 Effet de la position de la cible sur les corrélations taux de correction observée et nombre de symptômes relevés dans chaque dimension.....	59
3.6 Effet conjoint de la latéralisation et de la position de la cible sur les corrélations taux de correction observée et nombre de symptômes relevés dans chaque dimension.....	62
3.7 Influence de la main utilisée et position de la cible sur les corrélations taux de correction observée et nombre de symptômes relevés dans chaque dimension du TDAH.....	66

3.8 Influence de la latéralisation conjointement avec la main utilisée sur les corrélations taux de correction observée et nombre de symptômes relevés dans chaque dimension du TDAH.....	70
3.9 Influence de la latéralisation pour un seul côté de présentation de la cible sur les corrélations taux de correction observée et nombre de symptômes de chaque dimension du TDAH.....	73
Chapitre 4 – Discussion.....	82
Conclusion.....	95
Bibliographie.....	99

Liste des figures

- Figure 1 : disposition de l'appareillage expérimental. Vue de côté. Le déplacement du manipulandum (3) se fait parallèlement à l'écran (1) et au miroir (2), dans la direction opposée au sujet.....32
- Figure 2 : Illustration d'un profil cinématique ne présentant aucune correction consciente.....33
- Figure 3 : Illustration d'un profil cinématique présentant une correction de position. Le curseur de correction est placé sur l'inversion de signe de la vitesse relative.....34
- Figure 4 : Exemple d'un profil cinématique démontrant une correction dynamique. Le curseur de correction indique que la seconde inversion de signe de l'accélération marque le début de la correction, et se poursuit jusqu'à la troisième inversion de signe.....35
- Figure 5 : Fréquence relative du nombre de symptômes des deux dimensions du TDAH. A : dimension d'hyperactivité-impulsivité ; B : dimension d'inattention. C : fréquence relative des scores de latéralisation.....43
- Figure 6 : Deux exemples de mouvements typiques vers une cible à gauche et à droite (cercle blanc). L'origine du mouvement est représentée par le carré rouge. Le tracé est continu. Une portion du tracé a été effacée pour plus de clarté.....43
- Figure 7 : Arborescence des différentes corrélations testées.....44
- Figure 8 : Coordonnées de l'ensemble des premières corrections de mouvements de pointage, par rapport au côté de présentation de la cible. Cette dernière est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide. Pour faciliter la lecture, les corrections des deux mains sont représentées séparément ; A : main gauche ; B : main droite.....48
- Figure 9 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage, par rapport au côté de présentation de la cible. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide. La distance parcourue selon l'axe horizontal est indiquée en valeur absolue. A : main gauche ; B : main droite.....49
- Figure 10 : Coordonnées des premières corrections dynamiques de mouvements de pointage, pour des cibles à gauche et à droite. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide. A : main gauche ; B : main droite50
- Figure 11 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage par la main gauche, pour des cibles à gauche et à droite. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide. A : Par rapport au nombre de symptômes de TDAH ; B : Par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité.....53
- Figure 12 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage par la main droite, pour des cibles à gauche et à droite. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide. A : Par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité ; B : Par rapport au nombre de symptômes d'inattention.....54

- Figure 13 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage, pour des cibles situées à gauche et à droite, par rapport au nombre de symptômes de TDAH (A), d'hyperactivité-impulsivité (B), chez les gauchers. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide. La distance parcourue sur l'axe horizontal est indiquée en valeur absolue. Les corrections des droitiers ne sont pas représentées.....57
- Figure 14 : Coordonnées absolues des premières corrections de position de mouvements de pointage, pour des cibles situées à gauche et à droite, par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité, chez les droitiers. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide.....58
- Figure 15 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage, par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions est montrée par le cercle vide. La distance parcourue selon l'axe horizontal est indiquée en valeur absolue. A : Pour une cible à gauche, B : pour une cible à droite.....61
- Figure 16 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage, par rapport au nombre de symptômes de TDAH. La cible est à gauche, et représentée par le carré vide, la moyenne des positions est montrée par le cercle vide. A : Pour les gauchers ; B : pour les droitiers.....65
- Figure 17 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage, par rapport au nombre de symptômes de TDAH. La cible est à gauche, et représentée par le carré vide, la moyenne des positions est montrée par le cercle vide. A : Pour les mains gauches ; B : pour les mains droites.....69
- Figure 18 : Coordonnées absolues des premières corrections de position de mouvements de pointage par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité, selon les tracés effectués de la main gauche. Les deux cibles sont prises en compte. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne absolue des positions est montrée par le cercle vide. La distance parcourue selon l'axe horizontal est indiquée en valeur absolue, A : Pour les gauchers ; B : pour les droitiers.....72
- Figure 19 : Coordonnées absolues des premières corrections de position de mouvements de pointage, selon les tracés effectués par les droitiers, vers une cible à gauche. A : de la main gauche, par rapport au nombre total de symptômes de TDAH ; B : de la main droite, par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité.....80
- Figure 20 : Coordonnées absolues des premières corrections de position de mouvements de pointage par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité, selon les tracés effectués par les gauchers vers une cible à droite. A : avec la main gauche ; B : avec la main droite.....81
- Figure 21 : Mean extent errors of five subjects (J.G., M.F.G., O.P., M.F., M.G.) as a function of target distance and direction. Data from an experiment in which subjects made movements to five targets in each of two directions. Error bars show standard errors of the means (Tiré de Gordon et al., 1994).....85

Liste des tableaux

Tableau 1 : Corrélations entre l'incidence de chaque type de correction relevée sur l'ensemble des essais et nombre de symptômes de chacune des deux dimensions du TDAH. En italique sont indiqués les regroupements de deux sous-catégories..	45
Tableau 2 : L'ensemble des taux de correction relevés a été mis en relation avec le nombre de symptômes liés au TDAH. Les cibles sont à gauche et à droite. Les mains utilisées sont distinguées.....	52
Tableau 3 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des deux mains a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont à gauche et à droite. Les latéralisations sont distinguées.....	56
Tableau 4 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des deux mains a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont distinguées.....	60
Tableau 5 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des deux mains a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. La cible est toujours présentée à gauche de la base. La latéralisation est distinguée.....	63
Tableau 6 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des deux mains a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. La cible est toujours présentée à droite de la base. Les latéralisations sont distinguées.	64
Tableau 7 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains gauche a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Gauchers et droitiers sont pris ensemble. Les cibles sont distinguées.....	67
Tableau 8 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains droites a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Gauchers et droitiers sont pris ensemble. Les cibles sont distinguées.....	68
Tableau 9 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains gauches a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont prises ensemble. Les latéralisations sont distinguées.....	71
Tableau 10 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains gauches a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont à gauche. Les latéralisations sont distinguées.....	75
Tableau 11 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains droites a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont à gauche. Les latéralisations sont distinguées.	76
Tableau 12 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains droites a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont à droite. Les latéralisations sont distinguées.....	77
Tableau 13 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains gauches a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont à droite. Les latéralisations sont distinguées.....	78
Tableau 14 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains droites ont été mises en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont prises ensemble. Les latéralisations sont distinguées.....	79

Liste des abréviations

dia. : Diamètre

DSM-IV: Diagnostic and statistical manual of mental disorders , 4th ed.

ICD-10 : International Classification of Diseases, 10th ed.

long. : longueur

MG : Main gauche

MD : Main droite

TDAH : Trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité

TDAH-HI: TDAH de sous-type hyperactif / impulsif

TDAH-I : TDAH de sous-type inattentif

TDAH-C : TDAH de type combiné

Tests utilisés dans les études citées :

MABC : Motor Assessment Battery for Children

EDM : Escala de Desarrollo Motora

PANESS : Physical And Neurological Examination for Subtle Signs

PPB : Purdue Pegboard Test

Remerciements

Avant d'entamer le mémoire comme tel, je tiens à remercier, sans ordre particulier, ceux sans qui il n'aurait pu voir le jour.

Luc Proteau, Ph. D., pour m'avoir accueilli dans son laboratoire d'analyse motrice début 2008 et fourni pour la première fois les ressources informatiques nécessaires au démarrage du projet. Du même souffle, je remercie Isabelle Mackrous, M.Sc et Julien Brière, M.Sc pour leurs explications simples sur les méthodes d'enregistrement du mouvement de pointage manuel.

Pauline Barette qui s'est arrangée pour me dépanner, ainsi qu'Alain Moreau, Ph. D., qui accepta, en tant que directeur du département de recherche de l'Hôpital Ste-Justine, de fournir une aide financière ponctuelle pour la complétion de ce mémoire, devant l'extrême précarité de ma situation financière tout au long de ce projet.

Mélanie X., toi que je n'ai pas connu, toi qui fus l'étincelle de cette recherche, toi qui me donnas la marche à suivre pour ne pas se perdre dans les méandres et frustrations scripturaux inhérents à toute « primipare » de la recherche scientifique.

H. A., pour la relecture et l'intransigeance académique.

Ainsi que ceux dont la présence, bien que distante, n'en fut pas moins salutaire :

F. M., M.Sc., dont le mémoire extrêmement bien construit fut d'une grande inspiration ;

Maria Kabbani, M.Sc., dont la persévérance sur sa propre thèse fut un modèle à suivre ;

Abdellatif Nemri, Ph. D., et Narcis Ghisovan, Ph. D., pour leur intérêt contagieux pour les sciences neurologiques.

Ceux dont les compositions ont sous-tendu ces nuits blanches de réflexion :

Bassic, Infected Mushroom, Greg Baumont, Rebekka Higgs, Tangerine Dream, Johnny Monsoon.

Introduction

Ce travail cherche à étudier la relation entre la performance motrice à une tâche d'atteinte simple, et les résultats obtenus à des entrevues d'évaluation symptomatiques, et à chercher les relations éventuelles entre les différents paramètres concernant le trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité (TDAH). Une comparaison avec d'autres types de tâches motrices pourrait alors être effectuée. Également, un lien avec d'autres techniques pourrait être évoqué, notamment de la classification, voisine, du trouble hyperkinétique, ainsi que des visions psychanalytiques encore en vigueur dans certains pays d'Europe, et surtout utilisées dans les évaluations cliniques, plutôt qu'expérimentales.

Historique du TDAH

Première reconnaissance médicale des symptômes du TDAH

Le TDAH est la dénomination actuelle d'un ensemble diffus de symptômes, touchant à la fois l'état psychologique et comportemental du sujet, reconnu assez récemment autour des années 80, et dont le statut de maladie n'est pas encore clairement établi, toujours sujet à débat (Weinberg *et al.*, 1997 ; Remschmidt, 2005 ; Moffitt & Melchior, 2007). Pour compliquer la recherche de ses sources, il est à noter que l'appellation du syndrome varie suivant les écoles de pensée et les époques. Contrairement aux maladies physiques « classiques » dont l'origine est bien établie telle la tuberculose ou la maladie de Parkinson, le TDAH, comme tous les troubles psychomoteurs, ne prend pas indiscutablement origine de source physiologique connue, d'autant qu'il n'a pas d'impacts négatifs évidents sur la santé physique de l'individu atteint (Accardo, 2008). Néanmoins, des liens aient pu être trouvés dans des recherches récentes, notamment de retrait du patient des activités sportives en raison de son incapacité à porter attention aux consignes, ce qui est particulièrement critique dans un sport d'équipe (Verret, 2010). Tout diagnostic comporte une part de subjectivité, et la celle qui est liée au diagnostic de TDAH est maîtrisée au moyens de critères opérationnels, liés à l'influence des symptômes sur le comportement de l'enfant, et dont l'application est aussi influencée par l'expérience et les compétences du clinicien. Pour ces raisons, et jusqu'à ce que l'origine physiologique du trouble soit avérée, il est donc plus honnête de parler de syndrome que de maladie, ce qui motive la revue historique des différents signes liés à ce trouble. C'est dans ce contexte que ce bref historique ne s'attardera pas sur les traitements pharmacologiques, mais dont

la présence reste motivée par l'intention de montrer à quel point les symptômes ont pu, et sont encore, être entrevus incomplètement.

L'une des autres raisons pour lesquelles il parut si long d'identifier et donc d'étudier le TDAH en tant que syndrome est qu'il était, et qu'il semble toujours difficile d'ailleurs, de faire la distinction entre des périodes transitoires de comportement turbulent et une véritable affection durable, d'une part, et d'autre part, que les enfants apprennent à contrôler les manifestations dérangeantes, socialement inacceptables en vieillissant, ou qu'elles disparaissent d'elles-mêmes, ce qui rend d'autant compliqué le diagnostic à l'âge adulte. Les différentes écoles de pensée concernant ce trouble illustrent également la difficulté de le reconnaître, et sont révélatrices de l'aspect subjectif important du diagnostic du TDAH.

Les divers symptômes que l'on attribue aujourd'hui à ce trouble ont été sporadiquement et indépendamment remarqués dans des écrits plus anciens, sous des dénominations comme « the fidgets », « mental restlessness », ou « defective moral control », remarquablement similaire d'ailleurs à l'« instabilité mentale », « débilité motrice », « instabilité psychomotrice », qui reflètent le critère le plus important considéré dans le passé. Il est important de noter que ces descriptions historiques de patients ont été rétrospectivement attribuées à la présence de TDAH, par des scientifiques du XX^e siècle, cités dans Barkley (2006) et Klykylo & Kay (2005).

Le Dr Alexander Crichton (1798, *in* Palmer & Finger, 2001) aurait le premier décrit l'incapacité des sujets à soutenir leur attention, en particulier leur grande distractivité (Palmer & Finger, 2001), notamment dans ce court extrait (d'autres sont disponibles dans l'article cité) :

« (...) People walking up and down the room, a slight noise in the same, the moving a table, the shutting a door suddenly, a slight excess of heat or of cold, too much light, too little light, all destroy constant attention in such patients, inasmuch as it is easily excited by every impression. The barking of dogs, an ill-tuned organ, or the scolding of women, are sufficient to distract patients of this description to such a degree, as almost approached to the nature of delirium. »

De son côté, le Dr John Haslam (1809) aurait été l'un des premiers, comme Arnold (1806) à décrire l'agitation des patients que l'on aurait aujourd'hui déclarés atteints de TDAH à prédominance hyperactive-impulsive, en citant le cas d'une fillette, que l'on sait actuellement relativement peu fréquente sur le spectre du TDAH. À noter

que, de façon erronée, cet auteur l'attribuait à une séquelle durable de la variole, étant donné qu'il était impossible à cette époque de faire le distinguo entre une séquelle des nombreuses maladies plus fréquentes à cette époque et un trouble plus subtil.

« A female child, three years and a quarter (...) born sane and from undiseased parents (...)The mother (...) related that her child, until the age of two and a half year, was perfectly well, of ordinary vivacity, and of promising talents; when she was inoculated for the small pox (...) From the termination of the small-pox from the above date, the child continued in an insane state. (...) Whatever she wished to perform, she effected with promptitude and facility. She appeared anxious to possess every thing she saw, and cried if she experienced any disappointment; and on these occasions, she would bite, or express her anger by kicking or striking, Her appetite was voracious (...) To rake out the fire with her fingers was a favorite amusement, nor she was deterred »

Toutefois, on retient plus souvent le nom du médecin allemand Heinrich Hoffmann, qui écrivit peu avant 1845 *Der Struwwelpeter*, un recueil de contes inspiré par l'observation de ses patients à l'asile de Francfort. En particulier, le conte *Die Geschichte vom Zappel-Philipp* y décrit un jeune garçon incapable de rester assis pendant le repas, malgré les incitations de ses parents en ce sens, étant si agité qu'il renverse la table portant le dîner. Bien qu'il s'agisse là de la description d'un cas particulièrement critique probablement exacerbée par l'intention moralisatrice de l'auteur, elle n'en reste pas moins représentative de l'agitation physique présente dans certains cas de TDAH (Thome & Jacobs, 2004 ; Gozal, 2005), d'autant plus remarquable sachant que le romantisme contemporain favorisait une vision plutôt idyllique de l'enfance. Quelques autres allusions à des symptômes semblables à ceux du TDAH ont été relevées au tournant du XIX^e siècle, et rapportées par Fitzgerald *et al.* (2007), ainsi que chez des enfants présentant une arriération mentale légère (Mazet *et al.*, 1996).

Première description scientifique des symptômes du TDAH

La première description des symptômes actuellement attribués au TDAH et rapportée dans un journal scientifique revu par les pairs, du moins renommé, date de 1902, lorsque le Dr George Frederick Still décrivit minutieusement le comportement de 20 jeunes enfants, principalement des garçons, présentant des problèmes d'inattention, notamment en classe, d'hyperactivité ressemblant fortement au comportement de Philipp, et démontrant peu d'inhibition des comportements

indésirables dans le contexte considéré, en dépit d'une intelligence normale (Still, 1902 ; Taylor, 1986). Il mentionne notamment :

« By lawlessness, I (...) mean a reckless regard for command and authority in spite of such training and discipline (...).

A girl, aged seven years, (...) could also write the letters of the alphabet fairly distinctly. (...) Not the least striking of the qualities shown by this child was her lack of reserve. (...) She was also described as very self-willed, and although she was obedient to a certain extent it appeared to be almost entirely the obedience of fear, for she was frequently punished for disobedience and had to be reminded repeatedly of the instrument of punishment to obtain obedience. (...)

(...) I would point out that a notable feature in many of these cases of moral defect without general impairment of intellect is a quite abnormal incapacity for sustained attention. (...) Another boy, aged six years, with marked moral defect was unable to keep his attention even to a game for more than a very short time, and, as might be expected, the failure of attention was very noticeable at school, with the result that in some cases the child was backward in school attainments, although in manner and ordinary conversation he appears as bright and intelligent as any child could be. »

Les successeurs de Still précisèrent des symptômes et en ajoutèrent d'autres, tels la défiance de l'autorité, des déficits cognitifs, l'insomnie, etc., en fait, tout ce qui ne correspondait pas à la notion d'un enfant « bien élevé » selon les normes de l'époque victorienne qui venait de s'achever, et ce, toujours chez de jeunes enfants (Barkley, 2006 ; Fitzgerald *et al.*, 2007). D'une part, il est à noter que ces derniers symptômes ne seraient plus aujourd'hui inclus dans la définition du TDAH, mais dans celle de troubles comorbides associés, fréquents chez les patients. D'autre part, en l'absence de moyens d'évaluation plus stricts, les enfants ayant fait l'objet d'une observation consignée dans la documentation médicale et considérée comme « historique » démontraient des symptômes de TDAH plus marqués, extrêmes, que ceux habituellement reconnus. Il est possible que cette dernière raison soit la cause de la perception exceptionnelle du trouble hyperkinétique, tel que communément admis au Royaume-Uni.

Causes et facteurs de risque supposés

Pendant que l'étude d'une quantité de signes variables et parfois mal définis compliquait la définition précise du trouble au fil des ans, diverses théories sur son origine furent élaborées, hélas aussi floues et variées que le recensement et les descriptions de symptômes (Mazet *et al.*, 1996). Outre John Haslam, qui associât les problèmes d'impulsivité à une séquelle de la variole, Still fut le premier à tenter de classer les symptômes de ses patients, non pas en fonction de leur variété comme chez ceux d'aujourd'hui, mais de leur origine supposée, par exemple : ceux présentant des lésions cérébrales, ceux ayant des maladies aiguës pouvant causer de telles lésions, engendrant des comportements qui avaient des impacts sur leur fonctionnement social et académique, mais surtout, des modifications de la physiologie cellulaire (« [...] low [...] vitality of nerve-cells [...] »), des séquelles de « fièvres ». Parmi les causes supposées, on retrouve l'anoxie légère ainsi que des problèmes à la naissance ayant pu causer un « minimal brain damage ». Il est vrai que la plupart des premiers patients démontrant des problèmes sérieux de comportement et d'hyperactivité présentaient aussi d'autres atteintes cérébrales, ressemblant fortement à des patients et modèles animaux ayant subi des lésions de même nature (Barkley, 2006 ; Accardo, 2008), tel le cas célèbre de Phineas Gage, où il semblait raisonnable d'avancer que des symptômes comme un comportement impulsif, indiscipliné associé à de l'hyperactivité soient tous dus à un traumatisme cérébral physique.

Peu après la fin de la Première Guerre mondiale, une épidémie d'encéphalite léthargique laissa beaucoup d'enfants survivants avec des séquelles ressemblant très fortement aux symptômes du TDAH, comme des réactions excessives ou ne pas prêter attention à leur entourage, dues à ce que les médecins pensaient être un « minimal brain dysfunction », sans toutefois pouvoir constater systématiquement l'évidence de lésions cérébrales comme telles (Taylor, 1986 ; Barkley, 2006). D'autres médecins, allemands, ont décrit la « hyperkinetische Erkrankung » (littéralement, maladie hyperkinétique), qu'ils pensaient causée par des défauts dans le tronc cérébral, un trauma, notamment. Les degrés de TDAH les moins envahissants étaient réputés le résultat d'un mauvais milieu familial – trop peu ou excessivement permissif –, d'une faible intelligence (Taylor, 1986 ; Barkley, 2006), idée qui persista longtemps dans la perspective européenne autour du développement de la définition de TDAH, qui voyait plutôt l'hyperactivité comme un symptôme lié à un trouble de la

personnalité, et relevant donc de la psychanalyse, plutôt que de la médecine. C'est encore le cas aujourd'hui, alors que la psychanalyse est un moyen thérapeutique usuel (Mazet & Houzel, 1993 ; Mazet *et al.*, 1996).

Durant les décennies suivantes, les médecins associèrent les signes relevés à des origines variées – d'ailleurs toujours explorées –, dont des infections antérieures (Barkley, 2006), une intoxication au plomb (Eubig *et al.*, 2010 ; Nicolescu *et al.*, 2010) – dont les nombreuses séquelles neurologiques ne sont pas encore entièrement comprises –, et l'épilepsie (Austin *et al.*, 2001 ; Dunn *et al.*, 2003 ; Kaufmann *et al.*, 2009 ; Pérez-Villena *et al.*, 2011). Dans la même lignée, une étude à ce jour inédite – pour des raisons d'éthique, il n'est plus permis de nos jours de provoquer volontairement des crises épileptiques sous influence d'un médicament interdit de prescription depuis 25 ans – tentât de prouver, avec un certain succès, que les enfants hyperactifs auraient en fait un seuil d'excitation sensorielle plus faible que leurs pairs, possiblement dans la région thalamique ou corticale (Laufer *et al.*, 1957). Selon ce modèle, les enfants atteints de TDAH seraient bombardés d'informations sensorielles qu'ils ne parviendraient pas à filtrer correctement. Un postulat remarquablement similaire naquit quinze ans plus tard sous la houlette de Virginia I. Douglas (Douglas, 1972).

Épisodiquement, diverses hypothèses de source environnementales refirent surface, qu'il s'agisse d'additifs alimentaires, d'excès de sucre (dont la diète Feingold est un exemple connu), de rehaussement des attentes sociétales vis-à-vis de l'enfant. Hypothèse non étudiée à ce jour, elle implique l'observation d'un durcissement éventuel des réactions et exigences parentales vis-à-vis de leur enfant désobéissant, autant que de l'héritabilité avérée du TDAH. Également, même lorsque la tradition psychiatrique est similaire – même manuel de référence, figures marquantes de l'histoire médicale et psychanalytique du pays, développement de la reconnaissance du TDAH – les différences culturelles pourraient avoir un impact sur le diagnostic du TDAH où, par exemple, les sociétés plus « conformistes » devraient connaître une incidence de TDAH plus élevée que les sociétés « non conformistes », où les comportements gênants dans les unes seraient davantage acceptés dans les autres (Barkley, 2006), où les parents des jeunes patients seraient moins enclins à amener leurs enfants chez un clinicien pour un « comportement dérangeant » (Mazet & Houzel, 1993).

Aujourd'hui, il est bien établi que les seules lésions organiques ne sont pas les uniques causes du TDAH, pas plus que des pratiques éducatives ou alimentaires déficientes, représentant plutôt une infime minorité de cas, ou, à tout le moins, des facteurs de risque. Au moins une étude, de Yan & Thomas (2002), mentionne la possibilité d'une légère atteinte cérébelleuse. Pourtant, les causes exactes ne sont toujours pas connues avec précision, et sujettes à débat. Alors que les recherches de la dernière décennie tendent à montrer une prédisposition génétique au développement du TDAH, des études basées sur l'étude de la fratrie et du cas particulier des jumeaux tentent de départager les influences génétiques attendues des influences externes supposées, dont une revue relativement complète est présentée par Biederman & Faraone (2005).

À des fins de classification opérationnelle, les cliniciens préférèrent donc laisser de côté l'évanescence étiologie pour se concentrer exclusivement sur l'évaluation du syndrome selon les symptômes apparents. La première école de pensée, en lien avec ce qui était la tendance à l'époque, associât les signes visibles à un défaut de l'esprit, au pronostic favorable, en Europe principalement (Taylor, 1986), tandis que, du côté anglo-saxon, une vision comportementale, d'origine physiologique, au pronostic sombre, prédominait. Encore aujourd'hui, il est possible que cet héritage joue un rôle dans la différence de prévalence du TDAH remarquée entre l'Europe et l'Amérique du Nord, de par des outils diagnostics et des articles de référence différents (Taylor, 1986 ; Biederman & Faraone, 2005 ; Moffitt & Melchior, 2007 ; Albaret, 2008). Même, en conservant la même référence diagnostique, une interprétation plus ou moins stricte d'un même manuel mènera à une prévalence différente, parfois (Guardiola *et al.*, 2000 ; Paule *et al.*, 2000 ; Accardo, 2008).

Perspective psychanalytique

À la fin de l'ère victorienne et de ses idéaux de droiture morale, les descriptions de Still passèrent au crible de la psychanalyse et de théories hygiénistes et eugénistes toutes neuves (Comstock, 2011). Albaret (2008) et Mazet *et al.* (1996) rappellent notamment les travaux de Heuyer (1914), Wallon (1925), mais surtout, de Abramson (1940). Il faut noter également que la plupart des psychiatres français et européens pratiquant à ce jour ont suivi une formation psychanalytique, en plus de leur formation psychiatrique. Mazet & Houzel (1993) citent « les troubles de l'organisation de la personnalité », entre autres, tandis qu'une étude récente est basée sur « [...] la

necesidad de investigar el dibujo del niño como un reflejo de su mundo interior » (Vaquerizo-Madrid *et al.*, 2004). Reflet de cette influence, le diagnostic nord-américain de TDAH chevauche le diagnostic européen de désordre de conduite, lui, traité en psychothérapie dans la plupart des cas (Mazet & Houzel, 1993 ; Barkley, 2006). Durant les années 80, l'évolution de cette vision vit la poursuite de la recherche portant sur les causes psychosociales du syndrome, dont diverses théories sont évoquées dans Mazet *et al.* (1996), et exposées dans Barkley (2006), et ayant donné naissance, entre autres, au syndrome DAMP (*Deficits in Attention, Motor control and Perception*) décrit par Gillberg (1978), qui reste peut-être la description la plus intégrative des symptômes liés au TDAH, bien que son auteur le plus connu recommande de limiter. À tout le moins, ces multiples indicateurs doivent attirer l'attention sur le contexte psychique dans lequel évolue l'enfant, et poser le diagnostic en tenant compte de ce contexte (Mazet & Houzel, 1993).

Cependant, les descriptions ainsi orientées ne se prêtent guère à l'expérimentation, et ceci est l'une des raisons pour lesquelles elles ne sont pas abordées en détail, d'une part ; d'autre part, cette vision n'a pas reçu de large diffusion consacrée par un manuel officiel, *a contrario* de la perspective comportementale.

Perspective comportementale

Les premiers travaux visant à systématiser la description du TDAH débutèrent sous la houlette d'Alfred A. Strauss dans les années 40 (*in* Taylor, 1986), qui regroupât des signes et symptômes psychologiques, et, pour la première fois, utilisât les résultats scolaires des enfants atteints comme révélateurs du syndrome, qu'il estima être d'origine obstétrique. Clements (1966), Chess (1960) (*in* Barkley, 2006) rassemblèrent un grand nombre de symptômes, pour aboutir après tri à ceux présentés dans les ouvrages de référence principaux (Barkley, 2006). Afin de rendre ces critères aussi opérationnels que possible, une multitude de questionnaires et d'entrevues furent conçus, visant les parents et enseignants, et laissant aux experts cliniciens le soin de poser le diagnostic (Conners, 1969, *in* Barkley, 2006). Cependant, la liste de symptômes devint si longue qu'il en devenait de plus en plus difficile d'attribuer un symptôme exclusivement à la condition étudiée. À cette période, une scission s'opéra entre les tenants du *minimal brain dysfunction*, incluant une très large gamme de symptômes, mais où l'hyperactivité n'était pas nécessaire au diagnostic, et

ceux ayant placé l'hyperactivité (ou hyperkinésie) au centre du tableau clinique. Par conséquent, les enfants ayant un historique plus clair de lésions cérébrales et présentant de l'hyperactivité sont naturellement plus rares que ceux ne présentant que le second critère (Barkley, 2006).

Au cours des années 70, le concept de « minimal brain dysfunction » mourait à petit feu malgré les efforts d'un de ses derniers défenseurs, qui ne parvint pas à lier de façon satisfaisante les théories expliquant les dysfonctions avec la large gamme de symptômes observés (études de Wender, rapportées *in* Barkley, 2006). Au début de la même période, davantage d'attention fut accordée aux manifestations de l'inattention, qui n'était jusqu'ici qu'un critère fréquent, mais pris pour acquis dans la description du TDAH, ou syndrome hyperkinétique de l'enfance (DSM-II, DSM-III, 1968 ; 1987), notamment grâce aux travaux de Virginia Douglas. Elle démontra entre autres que l'inattention était toujours présente, en dépit de l'importante variabilité de symptômes gravitant autour de l'hyperactivité chez les sujets qu'elle étudiait, et ce, autant chez les enfants du même âge que chez les adultes ayant rapporté de tels symptômes dans leur jeunesse (Barkley, 2006 ; Douglas, 1972). Jusqu'ici, le symptôme principal du syndrome était une agitation constante, gênant, entre autres, la coordination motrice, mais n'était pas précisément défini. On y incluait aussi généralement une tendance à ne pas obéir aux ordres des figures d'autorités, qu'elles soient parentales ou externes, comme les enseignants, et, couplé aux fréquents problèmes d'attention, bien souvent ces enfants avaient des problèmes d'apprentissage et d'intégration. Cependant, il ne s'agirait pas d'obstruction systématique, mais bien d'oubli de la part des sujets, signalant l'existence de l'impulsivité.

Partant de cette observation, pléthore de méthodes d'évaluation des symptômes se fièrent à l'observation des parents et des enseignants. Cependant, les interactions négatives des figures d'autorité avec les enfants seraient plutôt la conséquence, non la cause, des comportements déviants (Barkley, 2006).

Diagnostic du TDAH selon le DSM-IV-TR et le ICD-10

Le regroupement et l'affinage des symptômes à mesure que les recherches progressaient furent mis à jour il y a plus de dix ans dans la dernière version du DSM-IV-TR (American Psychiatric Association, 2000), où trois sous-groupes diagnostics furent définis : le TDAH de type HI (majoritairement hyperactif-impulsif), I (majoritairement inattentif), et C (combiné), basés sur trois dimensions : hyperactivité,

impulsivité, inattention, où les deux dernières sont souvent confondues. L'aspect subjectif du diagnostic entretient le débat entourant le contexte d'évaluation des symptômes, cependant, ceux-ci restent relativement acceptés. La description complète selon les manuels de référence est présentée en Annexes 1 et 2.

Dans le cas de l'inattention, elle se manifeste par une tendance à ne pas terminer les tâches et activités en cours, ne pas porter attention aux détails ni à l'interlocuteur, ne pas terminer les tâches en cours, ou évite celles qui demandent un effort mental soutenu, être facilement distrait par les stimuli externes. L'impulsivité fait référence à la tendance qu'a le sujet à se lancer dans une nouvelle activité sans évaluer adéquatement les conséquences (Barkley, 2006), répondre aux questions posées sans attendre leur complétion. L'hyperactivité serait relative à une situation où le calme est attendu, ou lorsque la motricité doit être maîtrisée (ICD-10) (Organisation mondiale de la santé. & Pull, 2002) ; le DSM-IV-TR (American Psychiatric Association, 2000) mentionne aussi en exemples typiques le fait de se tortiller, parler excessivement, etc. On retrouve notamment :

« Overactivity implies excessive restlessness, especially in situations requiring relative calm. It may, depending upon the situation, involve the child running and jumping around, getting up from a seat when he or she was supposed to remain seated, excessive talkativeness and noisiness, or fidgeting and wriggling. The standard for judgement should be that the activity is excessive in the context of what is expected in the situation and by comparison with other children of the same age and IQ. »

Il faut noter que ces troubles moteurs restent définis vaguement, ne faisant référence à aucune fonction motrice en particulier (par exemple « maladresse motrice »), ce qui, avec le facteur culturel, est une limite claire au développement de tests plus précis et de tentatives de normalisation, bien que certaines tentatives en ce sens aient eu lieu. C'est à ce titre que le projet actuel cherchera à identifier des signes plus objectifs, étant donné le flou persistant autour des signes moteurs présents dans les cas de TDAH.

Il faut aussi remarquer que le DSM-IV utilise les mêmes critères pour la recherche que pour le diagnostic, alors que la version adoptée par l'Organisation mondiale de la santé est différente pour le diagnostic (Annexe 1) et la recherche (Annexe 2). Cette dernière version est d'ailleurs très proche des critères retenus par le DSM-IV, ce qui prouve le flottement toujours d'actualité des symptômes à évaluer.

Dans les trois manuels majeurs, autant en clinique qu'en recherche, les troubles moteurs sont reconnus faire partie du TDAH, particulièrement de type hyperactif-impulsif (ADHD-HI) et combiné (ADHD-C), sans exclure totalement le type inattentif (ADHD-PI), comme les travaux de Virginia Douglas l'ont prouvé. Cependant, d'importantes limites à ces critères sont posées (Kooij *et al.*, 2010 ; Rösler *et al.*, 2010 ; Bell, 2011), ce qui se reflète dans l'absence de test direct du diagnostic, hormis l'existence concurrente d'un nombre défini de symptômes (Accardo, 2008). En fin de compte, le diagnostic clinique repose en grande partie sur le jugement du praticien ou du chercheur, autant selon le manuel de l'OMS que de l'APA. D'autres facteurs peuvent aussi influencer ce diagnostic, comme le statut socioéconomique des parents (El-Mallakh, 2006 ; Wichstrøm *et al.*, 2011). Divers tests pour évaluer les symptômes ont été utilisés, sans pour autant impliquer de spécificité par rapport au syndrome (Accardo, 2008 ; Fitzgerald *et al.*, 2007).

Il est clair que, même à l'heure actuelle, la description du TDAH reste largement empirique, et dépend de si l'on s'adresse à un clinicien, dont l'objectif est de soigner le patient de sa condition, à un chercheur, dont l'objectif est plutôt de connaître tous les symptômes qui sont reliés à l'affection étudiée et d'en trouver la source. Bien qu'on ne comprenne pas réellement la source du syndrome, cela n'empêche pas l'établissement de méthodes d'évaluation variées pour poser le diagnostic, bien que l'exercice reste empirique. Par ailleurs, l'évolution discrète, peu claire du TDAH à l'âge adulte le fait facilement confondre avec d'autres syndromes, dont la dépression bipolaire (ICD-10 ; El-Mallakh, 2006). Paradoxalement, la référence la plus inclusive décrivant ce trouble, le DSM-IV-TR, peut également compliquer son diagnostic lorsque l'âge des symptômes typiques est passé. Tous ces paramètres expliqueraient la différence de prévalence relevée suivant les régions, alors qu'il n'y a pas de raison de penser que l'incidence du TDAH soit différente d'une population à l'autre, encore moins à l'intérieur d'un même pays. Le maintien de ce flou, entre autres autour des signes moteurs, amène donc naturellement, dans le contexte de ce projet, à la revue de littérature portant sur l'association du TDAH avec d'autres troubles.

Revue de littérature – Études conjointes TDAH et troubles du contrôle moteur

Le large éventail des symptômes relevés, couplé au caractère insaisissable des causes et de facteurs de risque mal définis a orienté les études vers la recherche de troubles physiques et psychophysiologiques associés à la présence des symptômes

actuellement admis du TDAH. Tout particulièrement, les patients atteints de TDAH présentent des troubles moteurs fins et d'ensemble plus ou moins visibles, qui sont hélas souvent confondus avec leurs problèmes psychosociaux. Pour tenter d'y voir plus clair, plusieurs études ont cherché à déterminer si les déficits moteurs observés étaient indépendants des troubles psychosociaux, ou s'il existait un lien de cause à effet, du moins une relation, entre déficits moteurs et troubles psychosociaux, et d'autre part, si les patients avaient des problèmes moteurs spécifiques tels que d'équilibre, de coordination, ainsi que de planification motrice, etc. La présente revue de littérature ne se targue pas de pouvoir répondre à ces questions, encore moins d'être exhaustive, mais présente quelques repères utiles à la compréhension de ce projet.

TDAH et troubles moteurs fins et globaux

Quelques études ont tenté de contrôler l'association entre la présence de TDAH chez des sujets et leur performance motrice, en comparant des sujets sains avec des sujets cliniquement atteints. Il est en effet bien reconnu que les enfants hyperactifs ont tendance à « courir en tout sens », et ne pas facilement obéir lorsqu'on leur demande d'arrêter, ne pas attendre leur tour pour prendre la parole, etc., et ce, depuis les premières descriptions. Bien qu'établis depuis longtemps, ces déficits moteurs restent plutôt définis vaguement. Pour cette raison, il n'a pas été jugé pragmatique de distinguer plus finement les fonctions motrices fines et globales au cours de cette mise en contexte. Dans le cadre de ce projet, les fonctions globales incluent l'équilibre, le saut, ainsi que les autres fonctions innées ; les fonctions motrices fines seront celles orientées vers l'atteinte d'un but, et faisant appel à la précision des mouvements du bras et à la dextérité manuelle. Afin de les évaluer, divers tests ont été conçus, à but diagnostic, thérapeutique, ou de recherche, ce qui ne simplifie guère la comparaison des résultats obtenus ; toutefois, la plupart tentent de couvrir la variété des signes observables, bien que les symptômes puissent ne pas apparaître dans tous les contextes. Entre autres, ces tests évaluent plus ou moins distinctement les compétences motrices fines et globales, de manière qualitative ou quantitative, et selon une validité variable et remise en question ou renforcée au gré des études. On y trouve notamment le PANESS (*Physical and neurological examination for soft signs*) (Version révisée : Denckla, 1985), le MABC (*Movement Assessment Battery for Children*), à but diagnostic (Pitcher *et al.*, 2003 ; Venetsanou *et*

al., 2011), le *Purdue Pegboard Test* (PPB) (Wang *et al.*, 2011), à but de sélection de personnel (Pitcher *et al.*, 2003), le EDM (*Escala de Desarrollo Motor*) (Farré-Riba *et al.*, 2001, in Poeta & Rosa-Neto, 2007) le *Bruininks-Oseretsky test of motor performance* (Bruininks, 1978, in Tseng *et al.*, 2004), y compris des tests « maison », non cités ici pour des raisons de clarté.

Le test PANESS inclut de telles tâches comme regarder à travers un trou, alternativement avec un œil, puis l'autre, toucher son nez, tirer la langue, sauter, etc. Ces sous-tests sont évalués par comptage direct des signes reconnus au cours de la tâche démontrée par l'expérimentateur, ou d'un chronométrage qui donne, sur une brève échelle, la gravité des symptômes étudiés. Le test Bruininks-Oseretsky est similaire (Denckla, 1985). Le PPB évalue la vitesse de placement de petites chevilles identiques dans des trous, de la main gauche, de la main droite, et avec les deux mains. Le test EDM se veut une échelle synthétisant les points forts de plusieurs tests reconnus de contrôle moteur, distinguant la motricité globale, la motricité fine, l'équilibre, l'organisation spatiale, temporelle, et la latéralité, incluant des notions liées à la représentation de soi, tel le schéma corporel et l'organisation spatiale (Mazet & Houzel, 1993). Des quotients moteurs en sont calculés, et représentent la division de l'âge moteur sur l'âge chronologique, multiplié par 100. De ces quotients sont déterminés les niveaux qualitatifs de performance motrice. La latéralité est déterminée à partir de l'utilisation de la main, de l'œil et du pied (Rosa-Neto, 2002, in Poeta & Rosa-Neto, 2007). La réussite de ces tests est évaluée selon la finalité du mouvement, à savoir si le but est atteint ou non, parfois assorti d'une échelle à usage limité. Cependant, ils ne sont pas destinés à évaluer la manière dont les mouvements de bras, mains et doigts sont effectués ; ainsi, la cinématique n'est pas calculée ou utilisée comme une donnée en soi.

Étude des fonctions motrices globales

Il semblerait d'emblée que les troubles moteurs les plus remarquables se situent dans la motricité globale, ce qui ne semble pas surprenant de prime abord. Une étude de Pitcher *et al.* (2003) étudie les habiletés motrices fines et globales, partant de la prémisse que la moitié des enfants atteints de TDAH ont des troubles moteurs. Cette combinaison est connue sous le terme de DAMP (*Deficits in Attention, Motor control and Perception*), et considérant qu'elle est toujours sous-évaluée en tant que syndrome, justifie de cette manière l'approfondissement de l'évaluation

motrice. Les auteurs ont donc voulu faire le lien entre les sous-types de TDAH considérés par le DSM-IV-TR (2000), la performance motrice globale, et les symptômes du TDAH, soutenant que cela sera utile peu importe l'issue du débat sur la validité de ces divisions, sachant que même selon la vision la plus conservatrice, les troubles moteurs sont présents dans une forte proportion de cas cliniques de TDAH, dont il constitue un facteur de risque développemental. Un autre but était d'étudier le lien entre le diagnostic conjoint de TDAH et de DCD (*Developmental coordination disorder*). Selon leurs hypothèses, la présence marquée d'inattention devrait se percevoir sur la motricité fine en raison de la demande d'attention soutenue pour en mener à bien les tâches typiques.

Pour évaluer ces paramètres, les auteurs ont recruté de jeunes garçons dont ils ont évalué les symptômes d'inattention et d'hyperactivité selon une échelle reflétant les critères du DSM-IV-TR (2000), et tendant à expliquer la prévalence plus conservatrice que les auteurs ont obtenue, qui serait inférieure à celle de l'entrevue semi-structurée utilisée par le présent projet. Une vérification des comorbidités a été faite, de même qu'un test d'intelligence. Une première évaluation motrice a été effectuée à l'aide du *Motor Assessment Battery for Children*. Sa fiabilité est considérée bonne étant donné qu'elle requiert l'*input* des enseignants et des parents, et évalue à la fois les compétences motrices fines et globales. Pour ce dernier volet, une tâche d'habileté avec un ballon, une tâche d'équilibre, et une tâche de dextérité manuelle est utilisée. De même, une seconde évaluation motrice fine, le *Purdue Pegboard Test*, a été administrée. Enfin, l'attention a été mesurée séparément à l'aide d'un test conçu pour évaluer l'attention en classe des élèves (test OPTIC).

Dans cet échantillon, ils ont remarqué que les sujets de sous-type hyperactif-impulsif ne présentaient pas un score de troubles moteurs significativement différent de celui des autres sous-types, cependant, leur performance les classe parmi le diagnostic DCD. Poussant les constatations un peu plus loin, la dextérité manuelle est significativement dégradée chez les I et les C par rapport aux contrôles, ce qui ne s'observe pas chez les HI, selon les scores issus du volet de motricité fine du MABC ; ceux du *Purdue Pegboard Test* les corroborent, où les I sont significativement plus affectés dans leur motricité fine. Ce n'est pas sans rappeler les suppositions originales de Douglas dans les années 70, pour qui la majorité des difficultés observées proviendrait en fait de l'inattention. La dominance des I, et des C tout particulièrement,

dans les difficultés observées se retrouve également dans la motricité globale. Si cette étude n'apporte pas beaucoup de nouvelles idées, elle confirme néanmoins des hypothèses et la sensibilité du PPB pour la détection des troubles moteurs fins. À la différence de notre projet toutefois, elle inclut des jeunes légèrement plus âgés (10 ans plutôt que 8), ce qui pourrait avoir une influence sur le développement moteur, qui est d'ailleurs la mesure principale obtenue par le test EDM de l'étude suivante.

Une autre étude, de Poeta & Rosa-Neto (2007), vient combler le vide scolaire évoqué par la précédente étude, et rappelle que le TDAH vient avec plusieurs problèmes liés à la conduite et la socialisation, et comporte une comorbidité importante, notamment de défauts de coordination motrice globale et fine, particulièrement importante dans le contexte scolaire, donc développemental, des enfants. Considérant que la motricité fine et le développement de l'écriture sont intimement liés, que les multiples comorbidités influencent négativement le développement psychologique des enfants, et que la prévalence du trouble semble très incertaine, ils en tirent justification de l'évaluation du développement moteur chez les enfants présentant des symptômes du TDAH.

La symptomatologie a été évaluée selon une échelle adaptée au contexte scolaire (EDAH) (Blázquez-Almería *et al.*, 2005), et l'évaluation motrice globale et fine se fit sur la base de l'échelle EDM. Selon les résultats obtenus par les auteurs, l'âge moteur des enfants atteints de TDAH serait significativement inférieur à leur âge réel, ce qui est plus marqué dans l'organisation spatiale et temporelle des enfants. Cette étude montre d'ailleurs l'intérêt de séparer les compétences motrices, les résultats démontrant des différences de moins en moins grandes à mesure que l'on confond les mesures des compétences motrices fines et globales. Ainsi, l'organisation spatiale est assez basse, suivie de l'équilibre, puis de la motricité fine, puis de la motricité globale, par rapport à l'âge réel des sujets. Par ailleurs, bien qu'initialement quantitative, l'échelle EDM aboutit à une mesure qualitative du développement. Dans le petit échantillon retenu par les auteurs, plus de 80 % des sujets avaient un développement considéré en « bas de la moyenne » à « inférieur ». Bien que petit, leur échantillon s'aligne sur les résultats d'autres auteurs, mais ne parviennent pas à établir de façon certaine la source des déficits. Cependant, il est important de remettre en perspective des résultats basés sur un échantillon restreint, et non évalué par des cliniciens, et selon une échelle contestée, davantage destinée à mesurer le risque de TDAH que de diagnostiquer formellement le trouble.

Ces résultats plutôt mitigés se trouvent confirmés, dans le principe, par au moins une autre équipe. À titre comparatif, les enfants atteints de TDAH peuvent également démontrer la persistance de mouvements excédentaires, dont des mouvements miroir des membres supérieurs et inférieurs lorsqu'ils exécutent une tâche (Mostofsky *et al.*, 2003). En soi, ces mouvements ne sont pas anormaux et déclinent à mesure que le système moteur devient plus mature. Toutefois, la maturation des sujets atteints est présumée plus lente puisque ces mouvements disparaissent plus tardivement (Cole *et al.*, 2008). Selon les auteurs, ces résultats confirmeraient l'hypothèse selon laquelle le TDAH engendrerait une diminution de l'inhibition motrice, tout comme constaté avec d'autres tâches. Sans pouvoir le confirmer, ils avancent l'hypothèse d'anomalies physiologiques impliquant le corps calleux ou le cortex prémoteur.

Étude de la cinématique des trajectoires des fonctions motrices fines

Les études précédentes se sont surtout limitées à décrire le succès, ou la vitesse d'exécution de la tâche motrice globale. Il a souvent été pris pour acquis que la performance lors de tâches motrices fines suivait plus ou moins ce qui était observé dans la motricité globale. Toutefois, rares sont les études s'intéressant à la cinématique du mouvement et la capacité d'intégrer le feed-back visumoteur et proprioceptif permettant d'effectuer les corrections nécessaires en cas d'erreurs dans le mouvement, et ce, dans le but d'en déduire les qualités de planification et d'exécution chez les patients atteints de TDAH. De telles études ont pourtant déjà été faites sur des patients atteints de maladies touchant les fonctions motrices telles que la maladie de Parkinson, l'apraxie (Mutha *et al.*, 2010), ou l'ataxie (Day *et al.*, 1998 ; Sanguineti *et al.*, 2003 ; Himmelbach *et al.*, 2006), ou au contraire, sur des sujets sains (une revue intéressante est présentée dans le mémoire de Liziane Burtet (2007)). À ces fins, l'un des types de mouvement étudiés est un mouvement d'atteinte ou de pointage d'une cible.

Une étude menée par Tseng *et al.* (2004) a tenté d'établir le lien entre les troubles moteurs, l'attention, l'impulsivité et l'hyperactivité des enfants diagnostiqués TDAH. Citant plusieurs articles antérieurs faisant cas de planification ou d'exécution déficiente, de ralentissement de l'exécution de mouvements, ils remarquent aussi la variété des tests moteurs utilisés, rappellent l'hypothèse récurrente de liens entre les compétences motrices et la capacité attentionnelle et concentrationnelle, ainsi que

celle, plus inattendue, de l'évaluation parentale de la mauvaise écriture de leurs enfants. Devant ces précédents pour le moins contradictoires, cette étude a choisi de décrire les relations entre performance motrice et symptômes du TDAH.

La motricité a été évaluée par le *Bruininks-Oseretsky Test of Motor Performance*, dont la composante fine retient les aspects quantitatifs de vitesse de réponse, de contrôle visuomoteur, et de vitesse et dextérité des membres supérieurs. D'autres évaluations de l'activité et de la vigilance ont été faites. Les sujets étaient libres de médication depuis au moins 24 h.

Purement descriptifs, les résultats révèlent une différence significative entre les enfants ayant reçu un diagnostic de TDAH et les sujets contrôle. Parmi les tests moteurs globaux, seul l'équilibre est significativement inférieur chez les sujets atteints de TDAH. Les tests moteurs fins ne révèlent qu'un niveau inférieur du contrôle visuomoteur. Les résultats obtenus aux tests de vigilance sont également l'un des meilleurs prédicteurs de la performance motrice. Fait intéressant, les questionnaires d'activité remplis par les parents et les enseignants des enfants étudiés étaient assez peu corrélés, ce qui tend à prouver que les patients ne présentent pas les mêmes symptômes suivant les contextes, sans compter la subjectivité respective des deux « évaluateurs », qui n'ont évidemment pas les mêmes demandes vis-à-vis des jeunes patients. Cependant, contrairement aux publications auxquelles les auteurs réfèrent, des tests pourraient ne pas révéler de différences notables parce qu'ils ne requièrent pas d'attention prolongée de la part des enfants, d'une part, alors qu'ils rappellent que passer rapidement d'une tâche à l'autre est un moyen d'améliorer la performance des enfants atteints de TDAH puisqu'elle conserve son caractère nouveau et respecte la faible capacité de concentration des sujets. De son côté, l'impulsivité serait liée à une pauvre performance graphomotrice. L'un dans l'autre, la performance au cours de tâches motrices fines est significativement reliée à la fois à l'impulsivité et à l'inattention, et inversement proportionnelle à son niveau, mais pas à l'hyperactivité.

Deux autres études se sont penchées davantage sur les déficits moteurs fins (Schoemaker *et al.*, 2005 ; Flapper *et al.*, 2006), en étudiant les mouvements de manière quantitative. Bien que leur but premier ait été d'évaluer une population mixte présentant à la fois du TDAH et un trouble développemental de coordination (DCD) (une association connue en Suède sous l'acronyme DAMP) sous l'influence d'un traitement pharmacologique, il serait néanmoins possible d'en extraire quelques points intéressants au niveau basal. Le diagnostic de DCD est lui-même basé sur le

MABC, et l'évaluation de la motricité fine est faite par la sous-composante motrice du MABC, qui, comme la présente étude, met l'accent sur la précision et la vitesse sous *feed-back* visuel, et à partir de l'évaluation de l'écriture (test d'écriture BHK) (Smits-Engelsman *et al.*, 2001 ; Flapper *et al.*, 2006).

Sans grande surprise, l'écriture est plus rapide, mais de mauvaise qualité chez les enfants cliniquement atteints par les deux conditions, ce qui est généralisable à la tâche motrice fine plus inclusive du *Flower Trail Drawing Item*, du MABC (Smits-Engelsman *et al.*, 2001 ; Venetsanou *et al.*, 2011), où les tracés effectués par les enfants comportent plus d'erreurs et prend davantage de temps aux enfants atteints de TDAH. Citant une étude voisine, il évoquent l'idée que les enfants cliniquement atteints de DCD effectueraient des mouvements d'atteinte qui seraient moins contrôlés par le *feed-back* visuel, et davantage balistiques, ce qui pourrait expliquer les différences observées. Sur la qualité de l'écriture, ils tempèrent leurs propos en citant les résultats contradictoires provenant de la même équipe. Compte tenu de ces limites, les auteurs remettent en question la pertinence d'utiliser la cinématique dans le but d'évaluer la performance d'une tâche, et spéculent que l'inattention puisse en fait causer le défaut de précision, d'où son amélioration sous médication.

Une étude récente (Wang *et al.*, 2011) a présenté des résultats similaires en utilisant aussi le MABC, test standardisé de performance motrice globale et fine. Ils ont trouvé qu'une grande partie des sujets atteints de TDAH, peu importe le sous-type considéré, est concernée par une faible performance motrice, aussi bien globale que fine. De manière intéressante, l'étude établit un lien clair entre les symptômes comportementaux, visibles par les parents et tuteurs des enfants atteints (comportements internalisés, comme l'inattention et les troubles de personnalité, et externalisés, comme l'hyperactivité), avec un test de fonction motrice standardisé. Bien que décelable sur les tests cliniques, les difficultés motrices ne se reflètent pas autant sur leur fonctionnement au quotidien, ce qui confirme la plus grande sensibilité de ces tests et renforce indirectement leur validité, plutôt que le recours à l'avis des tuteurs.

Toutefois, les auteurs restent prudents, et rappellent la nécessité de mettre ces résultats en perspective avec la sévérité des symptômes moteurs, tout comme le lien entre les différents types de TDAH et la performance motrice. C'est à ces dernières limites que le présent projet tentera d'apporter une réponse.

Une étude de Yan & Thomas (2002) s'est intéressée à des paramètres quantitatifs du mouvement de pointage, dont le temps de réaction et le temps de mouvement. Le sujet devait tenir un stylet avec la paume, et effectuer un, trois ou six tracés de la base vers une cible perpendiculaire à l'axe du corps, en commençant par la base. Ils ont pu constater que les enfants atteints de TDAH démontraient davantage de variabilité et de façon générale, une imprécision plus grande que des sujets non atteints, bien qu'ils réagissent initialement à la même vitesse. Selon les résultats des auteurs, la présence de TDAH influencerait à la baisse la qualité de la planification, et le nombre de corrections dans le mouvement augmenterait ; de plus, les sujets tendent à hésiter plus longtemps avant d'appliquer les corrections. De même, la force utilisée serait mal évaluée (Verret, 2010). Ainsi, le temps de mouvement serait plus long, et irait de pair avec la présence plus fréquente de sous-mouvements visibles sur le profil cinématique, pour une même précision de tâche requise. Ils en déduisirent que la vision joue un plus grand rôle dans les processus cognitifs menant à la planification, qui eux-mêmes n'étaient pas aussi performants, chez les sujets atteints de TDAH.

Leur étude comporte toutefois des limites : elle n'a pris en compte que des garçons, droitiers, et sans distinguer les deux dimensions d'inattention et d'hyperactivité reconnues dans le manuel diagnostique nord-américain et le manuel de recherche européen. De plus, on remarque la grande taille relative de la cible par rapport à l'étendue du mouvement, qui pourrait ne pas permettre une évaluation fine de la motricité, un problème déjà évoqué auparavant (Temprado *et al.*, 1996).

Une autre étude (Eliasson *et al.*, 2004) compara l'habileté d'un petit échantillon de garçons atteints de TDAH à une tâche d'atteinte de cible. Ils ont aussi distingué les enfants atteints de TDAH présentant des problèmes de coordination motrice des autres. Ils rappellent qu'un tel mouvement est programmé en tenant compte de la force à utiliser, et que, selon certaines théories, le mouvement est corrigé par *feed-back* visuel vers la fin de son exécution. Il ne peut donc pas être ballistique. En occultant le *feed-back*, l'atteinte de la cible est beaucoup plus aléatoire. En utilisant une tablette de numérisation sur laquelle les sujets devaient tenir un stylet et tracer une ligne représentée sur un moniteur, ils ont mesuré en parallèle la performance motrice selon le MABC. Le temps de réponse et les paramètres cinématiques typiques du mouvement ne sont pas significativement différents du groupe contrôle ; toutefois, ces enfants tendent à terminer leur mouvement plus loin que la cible, plus

souvent que ces derniers. Confirmant la notion de continuum des symptômes, la performance du groupe contrôle est significativement différente de celle des sujets TDAH ayant une déficience de coordination motrice et ressemblant à la dénomination DAMP suédoise, mais pas de celle des sujets avec TDAH, mais sans défaut de coordination ; ces derniers n'avaient pas non plus de différence marquante d'avec les premiers. Les données indiquent aussi que la présence de TDAH engendre davantage de variabilité à cette tâche de pointage, ainsi que davantage d'erreurs lors de l'atteinte de la cible, chez un même individu, et comporte également des mouvements plus irréguliers. Ils attribuent cette différence à une altération de la programmation motrice, notamment impliquant le référentiel intrinsèque, ainsi qu'à la correction, déficiente en raison de déficiences de la mémoire de travail. L'étude d'un pointage sans *feed-back* visuel aurait montré que les sujets TDAH s'y fient davantage que les sujets contrôle pour corriger les déficiences de programmation motrice. Les auteurs en arrivent à la conclusion qu'il n'y a pas de lien entre le niveau d'hyperactivité et d'inattention, et les défauts de coordination motrice.

Bien que ne portant pas sur des sujets atteints de TDAH, une étude méthodologiquement similaire a été effectuée pour évaluer l'influence du trouble développemental de coordination (DCD) sur une tâche de pointage, chez des enfants de six ans (Ameratunga *et al.*, 2004). Cette tâche a été effectuée, entre autres, sous contrôle visuel, en comparant la performance des sujets DCD des sujets non DCD. Ils ont pu constater que les sujets ayant un DCD avaient tendance à effectuer des mouvements plus lents, moins rectilignes, et atteignait leur cible moins précisément, autant ipsilatéralement que contralatéralement (par rapport à la latéralisation des sujets). Compte tenu des différentes conditions sous lesquelles les tâches d'atteinte ont été effectuées, ils ont pu constater que la présence seule de la kinesthésie n'était pas suffisante pour assurer une bonne précision, notamment parce qu'elle est plus lente que la combinaison de la vision et de la kinesthésie. Leurs résultats montreraient toutefois une plus mauvaise intégration des informations sensorielles, qu'ils attribuent avant tout à la vision. Selon eux, un plus long mouvement laisserait davantage de risque d'accumuler des erreurs, qui ne pourraient être corrigées efficacement par la suite. Cependant, le lien entre la précision finale d'atteinte de la cible et la forme de la trajectoire n'est pas clair, et ne semble pas lié à la présence d'une quelconque condition.

De ces résultats, les auteurs ont déduit que le contrôle kinesthésique pourrait être déficient chez les enfants atteints de DCD, de même que de contrôle visuel des mouvements. Cependant, la planification du mouvement ne serait pas affectée.

Une autre recherche a cherché à comparer l'apprentissage moteur s'est appliquée à comparer des sujets atteints de TDAH avec des sujets autistes, mis en relation avec un groupe contrôle d'enfants typiques (Izawa *et al.*, 2012). En utilisant un paradigme à base de perturbations induites par un champ de force dans un mouvement de pointage, leurs résultats montrent que l'autiste tend à se fier de manière disproportionnée à la proprioception par rapport à la vision. Ce contrôle essentiellement proprioceptif apparaît lorsque le sujet tente d'apprendre un mouvement nouveau, contrairement aux sujets TDAH et contrôle, qui, dans cette condition, se fient davantage à leur vision pour vérifier l'atteinte de leur but. Les auteurs attribuent cette différence des autistes à un excédent de connexions adjacentes dans le cortex sensorimoteur, simultanément à un sous-développement des connexions sous-corticales, ce dernier étant responsable de la pondération moindre de l'information visuelle dans l'élaboration du modèle d'activation motrice. Comme les auteurs précédents, l'apprentissage moteur comme tel n'est pas perturbé chez les sujets TDAH, mais la variabilité intra-individuelle des temps de mouvement et de temps de réaction est plus grande que chez les enfants contrôle. Ils attribuent cette différence à une augmentation de périodes d'inattention momentanées, laquelle serait assujettie à la poursuite d'une récompense plus immédiate, liée à l'impulsivité. Les autistes, eux, sont davantage touchés par des problèmes d'apraxie idéomotrice.

Reflétant les problèmes moteurs globaux, d'autres études ont relevé des résultats similaires parmi les troubles moteurs fins. Le TDAH serait relié à la présence d'une plus grande imprécision lors de l'exécution d'une tâche de copie complexe, que les sujets atteints ont également effectué plus lentement, par rapport au groupe contrôle, puisqu'ils s'efforçaient d'atteindre les objectifs demandés. Selon les auteurs, le processus de planification lui-même n'est pas touché, pas plus que la coordination, mais les paramètres liés à cette planification le sont, possiblement en raison d'un retard de développement moteur (Schoemaker *et al.*, 2005), ce qui, du reste, est pris en compte dans le test EDM (Poeta *et al.*, 2007 ; Rosa-Neto, 2002). Ces considérations sur des tâches motrices innées, globales, mènent à l'étude des mouvements d'atteinte, sur lesquels portera la problématique.

Contrôle moteur volontaire des sujets sains lors de mouvements de pointage

Planification

Bien que les structures neuronales, corticales et sous-corticales impliquées dans les mouvements d'atteinte du bras soient bien connues, la manière dont elles planifient et exécutent les mouvements d'atteinte reste toujours sujet à débat (Kalaska & Crammond, 1992 ; Gordon, Ghilardi, & Ghez, 1994). Selon certaines hypothèses, il est présumé que ce dernier est planifié en fournissant des coordonnées de départ (de la main) et d'arrivée (la cible), ce qui permet la traduction de ces informations sur la cinématique du mouvement dans le cortex moteur (Burdet, 2007 ; Proteau *et al.*, 2009) en forces et commandes musculaires. De manière plus détaillée, il semblerait selon certaines hypothèses que les coordonnées de la cible subissent une transformation sensorimotrice, d'un référentiel centré sur les yeux vers un référentiel centré sur l'épaule, formant ainsi le premier niveau de planification motrice d'un mouvement d'atteinte du bras. Le niveau intermédiaire est formé par la définition des angles des segments du bras, et des longueurs musculaire nécessaires à l'atteinte de l'objectif. Au plus bas niveau, la synthèse de la planification se fait dans le cortex moteur primaire, et forme ainsi la commande motrice qui sera envoyée par voie corticospinale (Kalaska & Crammond, 1992). Certains avancent que cette commande elle-même est formée d'une suite de sous-mouvements simples approchant la trajectoire nécessaire calculée, déduite par une suite d'essais et d'erreurs mémorisés et adaptés au but, ce qui est étayé par l'étude du développement moteur des enfants (Yan *et al.*, 2000). Il n'est pas impossible que ces deux mécanismes entrent en jeu, à différents moments de l'exécution (Kalaska & Crammond, 1992), formant des modèles qui ont été distingués, et impliquant également le cortex frontal (Imamizu *et al.*, 2004). D'autres ajoutent que la vitesse de chaque sous-mouvement est tributaire de la précision demandée, et que la fluidité du mouvement observé ne dépend que des propriétés biomécaniques des muscles (Burdet & Milner, 1998). Selon cette théorie, chaque mouvement complexe serait constitué de sous-mouvements simples, superposés, de forme identique, mais d'amplitude et de durées différentes. Leur nombre est déterminé par l'atteinte, ou non, de la cible à la fin de chacun d'eux, ce qui implique une constante rétroaction sensorimotrice. Leur ordre est normalement d'un sous-mouvement plus ample, plus long, au départ, alors que les plus petits arrivent plus tard (Milner & Ijaz, 1990 ; Milner, 1992 ; Burdet & Milner, 1998).

La coordination et la précision seraient principalement sous le contrôle du cortex pariétal postérieur (Kalaska & Crammond, 1992 ; Desmurget *et al.*, 1998, 1999), les stratégies motrices sous celui du cortex préfrontal et prémoteur, intégrées par le cortex moteur primaire (forme et trajectoire du mouvement), qui doit effectuer la trajectoire prévue (cinématique) et produisant la dynamique nécessaire des différentes parties du bras.

Correction

Cependant, cette programmation est relativement peu précise, et il est attendu que les « modèles » internes acquis au cours du développement qui en sont à l'origine puissent ne pas prévoir des situations relativement plus complexes, comme lorsque la trajectoire doit éviter un obstacle, par exemple, ou effectuer des corrections volontaires, non liées à des réflexes localisés, qui participent aussi à la correction des erreurs de mouvement. Pour parer à toute éventualité, le modèle communément admis de contrôle moteur, après le calcul des couples et forces articulaires, utilise une voie efférente qui mesure la conformité de la commande motrice calculée au mouvement effectué et prédit les conséquences sensorielles du mouvement et corrige le modèle ainsi généré, avant même que le mouvement n'ait été effectué (Novak *et al.*, 2002 ; Sheth & Shimojo, 2002). La seconde étape de cette correction a lieu simultanément à l'exécution du mouvement par deux voies, proprioception et vision. La première est une correction rapide, mais relativement peu précise, et ne tient compte que du repère intrinsèque, centré sur l'épaule, non du repère extrinsèque, centré sur la cible. Ce second repère est pris en compte par la correction visuelle du mouvement (Lhuisset & Proteau, 2004). Ces deux corrections par *feed-back* sont ensuite intégrées au modèle prédictif du mouvement, de sorte que le temps de réaction apparent en cas d'erreur serait lié à l'influence combinée du modèle prédit et de la rétroaction sensorielle, le premier accélérant de beaucoup la seconde. Ainsi, bien que la vision soit plus lente que la proprioception, il semblerait qu'elle soit aussi utilisée continuellement tout au long du mouvement pour corriger les erreurs de trajectoires, qu'elles soient le fruit de pathologies, ou expérimentalement induites, ne serait-ce que parce qu'elle est bien plus précise que la proprioception, lorsque la trajectoire est placée dans le champ visuel central, et, dans une moindre mesure, dans le champ visuel périphérique (Proteau *et al.*, 2009). Cette spécialisation des zones rétiniennes est toutefois débattue. Ces processus de correction incluent le contrôle de la force et de l'inhibition du mouvement, ainsi qu'un paramètre temporel, l'évaluation

desquels semble être défectueuse chez les sujets atteints de TDAH (Poeta & Rosa-Neto, 2007). La pondération respective des corrections et du modèle prédictif varie normalement au cours du développement de l'enfant, et avec la présence de défauts de développement du système nerveux central, comme le TDAH, ce qui permet, dans ce dernier cas, d'attribuer un âge moteur aux sujets en fonction de leur performance motrice.

La correction ponctuelle n'est pas le seul mécanisme permettant au mouvement d'atteindre sa cible. L'atteinte peut également être améliorée par apprentissage, et les mécanismes impliqués sont similaires. Les modifications incrémentales apportées au calcul de la trajectoire sont ainsi mémorisées et appliquées au calcul *feed-forward* suivant, tant que la perturbation reste prévisible (Green & Kalaska, 2011). Il faut cependant ajouter que, si le concept est assez bien compris, la physiologie exacte reste largement inconnue, bien que le cervelet, le cortex frontaux-strié (Pasini *et al.*, 2012) et le cortex pariétal postérieur soient reconnus impliqués (Day *et al.*, 1998 ; Desmurget *et al.*, 1999 ; Desmurget & Grafton, 2000 ; Biederman & Faraone, 2005).

Le présent projet s'est proposé de hiérarchiser les corrections en deux types. Comme il n'a pas été possible de connaître les bases théoriques de cette hiérarchie, les deux types de corrections de mouvement, dites « de position » et « dynamiques » ont été définies empiriquement dans la section 2.3.4.

Problématique

Le présent projet se veut répondre à quelques-unes des limites identifiées précédemment. D'une part, virtuellement toutes les études citées se sont focalisées sur des sujets répondant aux critères cliniques du TDAH, parfois assorti d'une comparaison avec des données provenant de groupes contrôle, dont le but est de comparer le comportements des sujets cliniquement atteints avec celui des sujets réputés sains. Cependant, une lecture rapide des manuels de référence tant pour le diagnostic que pour la recherche montre clairement que le TDAH est d'abord et avant tout défini comme une liste de symptômes dont la subtilité est laissée, en fin de compte, essentiellement au jugement médical ou expérimental. Ainsi, si ce jugement est nécessairement biaisé, il apparaît comme une faiblesse supplémentaire sérieuse que la plupart des symptômes du TDAH utilisés dans les études précédentes sont

déduits de questionnaires transmis aux seuls parents et instituteurs, ajoutant une couche de subjectivité. D'un autre côté, si la comparaison avec des groupes contrôle contribue à la validité scientifique de ces études, la définition de ces groupes non significatifs cliniquement revêt une grande importance, selon que l'on considère l'absence du *moindre* symptôme de TDAH, ou simplement la *non-atteinte du seuil* clinique. Cette distinction n'est cependant pas l'objet de cette brève revue de littérature, et donc la validité scientifique de cette comparaison ne sera pas abordée.

S'il ne prétend pas éliminer la subjectivité liée à ces deux éléments, le présent projet s'intéresse non pas à l'atteinte d'un seuil arbitraire déterminé par le nombre de symptômes, mais au nombre de symptômes lui-même, qui est déterminé à partir d'une entrevue semi-structurée, menée par des expérimentateurs afin d'uniformiser autant que possible les résultats pour la même raison que Tseng *et al.* (2004), par désir d'éviter la subjectivité de l'évaluation parentale directe (Wender, 2004). Ainsi, ce projet cherche à démontrer s'il existe un lien prédictible entre un nombre de symptômes et un taux de corrections motrices. Enfin, les sujets ne sont pas, à proprement parler, atteints de TDAH ; plutôt que d'un seuil clinique absolu (Yan & Thomas, 2002 ; Accardo, 2008), le projet actuel s'intéresse au continuum du nombre de symptômes, qui ne peut être arbitraire.

D'autre part, plusieurs tâches ne comportaient que des sujets droitiers, ou uniquement des garçons, ou des filles, ou ne tenaient pas compte des différents sous-types du TDAH. Bien que la différence du patron d'expression des différents symptômes soit bien documentée entre garçons et filles – prédominance du type H chez les garçons, du type I chez les filles –, la tâche utilisée dans le présent projet n'a pas pour objectif de distinguer les sexes parce que l'effectif fut jugé insuffisant pour comparer les deux groupes avec une bonne puissance statistique.

La plupart des études précédentes, également, ne se sont pas préoccupées d'étudier la progression du mouvement comme tel, mais plutôt de sa finalité. Au contraire, la tâche utilisée dans le présent projet est étudiée d'un point de vue cinématique, sur plusieurs essais, afin de déterminer le taux de correction du mouvement. De plus, souhaitant aller plus loin que les études précédentes, le projet actuel tentera, au moins, de classer les différents types de correction, ce qui n'a pas encore été tenté. Cependant, la tâche utilisée dans le présent projet n'a pas été conçue dans l'optique de distinguer planification et contrôle sous rétroaction visuelle,

mais pour vérifier la qualité de l'intégration par les sujets des informations sensorielles lorsque la présence de symptômes du TDAH est avérée.

Objectifs

De façon générale, l'objectif de ce mémoire est d'exposer l'existence éventuelle d'un lien entre les dimensions du TDAH et la précision du mouvement de pointage, de manière à apporter plus de précision à la description des troubles moteurs des enfants présentant des symptômes de TDAH (sans être nécessairement diagnostiqués). Plus précisément, l'un des objectifs de ce mémoire est d'exposer le lien entre la présence de symptômes liés au TDAH et le taux de correction du mouvement de traçage de ligne. Latéralisation relative des sujets, main utilisée et position de la cible devront aussi être évaluées. En plus de ces calculs qualitatifs, une illustration quantitative du lien entre nombre de symptômes et position de la première correction volontaire a été faite. Enfin, ce projet cherche à déterminer la pertinence de classer les corrections en types dynamique et de position (*cf.* Matériel et méthodes), tel que définis par le docteur Proteau, étant donné que cette classification n'a pas été définie comme telle, à notre connaissance, dans les références préalables.

Hypothèses

Selon les précédents établis, les différences quantitatives mesurées devraient également se refléter d'un point de vue qualitatif, où l'on estime que, plus un sujet présenterait de symptômes liés à l'inattention, plus il aurait tendance à effectuer de corrections dynamiques, et, à l'inverse, plus il aurait de symptômes d'hyperactivité-impulsivité, plus le taux de ses corrections de position en cours de mouvement de pointage serait élevé.

Du point de vue positionnel, on s'attend à une variation appréciable de la moyenne et de la dispersion des corrections de mouvement de chaque type, qui concorderait, comme ci-dessus, avec l'augmentation du nombre de symptômes de TDAH. Il est à noter que ces hypothèses sont purement exploratoires, et que leur vérification éventuelle permettrait à tout le moins de vérifier la validité empirique de la classification des corrections.

Plan

Le second chapitre de ce mémoire se consacrera à la description méthodologique, en premier lieu à la présentation de la population de sujets, puis des mesures issues des questionnaires utilisés. D'autre part, le modèle opérationnel d'évaluation de la performance motrice lors d'une tâche de pointage sera détaillé. Une attention particulière sera enfin portée à la description et à la justification des techniques statistiques utilisées.

Le troisième chapitre présentera sous une forme synthétique le comptage des symptômes de TDAH obtenu à partir des questionnaires cliniques administrés, d'autre part des tâches motrices effectuées. Enfin, ces données seront croisées statistiquement selon les méthodes exposées précédemment.

Le quatrième chapitre présentera les interprétations et recoupements significatifs qu'il aura été possible de faire avec d'autres études similaires.

Enfin, le cinquième chapitre reviendra sur les questions et hypothèses de recherche, et indiquera si les interprétations formulées permettent d'y répondre, dans le cadre des limites permises par ce type d'études, limites auxquelles on proposera des solutions potentielles.

Chapitre 2 – Matériel et méthode

2.1 Sujets

L'étude a porté sur des jumeaux nés entre le premier avril 1995 et le 31 décembre 1998 et tirés de l'étude longitudinale ÉJNQ, et âgés de 7 à 8 ans au moment de l'évaluation, qui avaient effectué la tâche motrice et vu leurs variables psychométriques évaluées. Seuls les individus qui n'étaient sous traitement médical durant au moins 48 heures, tout spécialement visant à contrôler les symptômes du TDAH, ont été inclus.

Critères d'exclusion

À cette liste de sujets initiale, une exclusion *post-hoc* a été appliquée, liée à la disponibilité des fichiers et variables pertinents. Particulièrement, les sujets ont été exclus lorsque toutes les variables suivantes n'étaient pas disponibles, ou erronées :

- Latéralisation. Les latéralisations à zéro, réputées représenter les ambidextres, ont été éliminées vu qu'il n'était pas possible de les classer gauchers ou droitiers, et que leur effectif était trop faible pour les inclure dans une catégorie propre aux fins d'analyse ;
- Comptage des symptômes d'hyperactivité-impulsivité ou d'inattention ;
- Lorsque le nombre total d'essais enregistré était strictement inférieur à 11.

Pour plusieurs raisons, il a été décidé de ne pas tenir compte de la zygote dans cette étude. Plusieurs paires de jumeaux étaient incomplètes, seuls les essais d'une main, ou seule une partie des essais étaient disponibles pour un sujet de la paire, ce qui aurait rendu périlleuses des comparaisons appariées. L'effectif final s'est établi à 277 sujets, dont 193 sujets du sexe « 2 », et 84 du sexe « 1 » (Il n'a pas été possible de connaître ce que chacun de ces chiffres représentait). Cette donnée, en raison du faible effectif de chacun des sexes, n'a pas été utilisée.

2.2 Mesures psychométriques

L'évaluation du comportement des sujets a été basée sur les critères comportementaux indiqués dans le DSM-IV-TR (2000), référence nord-américaine des

troubles mentaux, à partir desquels a été établi un modèle d'entrevues semi-structurées avec les parents (SIB-PE, « Strength-based interview for Behavior, Parent Edition ») développé et enrichi à partir du PICS (« Parent Interview for Child Symptoms »), administré par un clinicien, et visait à déterminer la prévalence de symptômes considérés liés au TDAH au cours des six mois précédant l'évaluation, comme recommandé par le manuel de référence. La pertinence et la précision des critères utilisés pour obtenir les données ont été contrôlées par le jugement clinique d'experts, et ces entrevues se sont avérées hautement fiables. De plus, chaque jumeau a été évalué par un expérimentateur différent afin de réduire le biais potentiel. Pour cette raison, nous avons estimé qu'il était possible de ne pas tenir compte du lien familial unissant les sujets, sans introduire de biais déraisonnable dans la cueillette des données.

Deux dimensions ont été mesurées à partir de ces entrevues, l'inattention et l'hyperactivité-impulsivité. Chacun des neuf symptômes les caractérisant a été évalué selon une échelle de -3 (faible intensité de symptômes) à +3 (forte intensité de symptômes), leur moyenne donnant le score TDAH. Cependant, il n'a pas été possible de connaître le lien existant entre le score synthétique et le nombre des symptômes, et d'autre part, beaucoup de scores synthétiques étaient indisponibles. Étant donné le nombre déjà restreint de sujets, il est apparu à la fois indésirable de se priver de ceux dont les résultats cinématiques seraient valides, et plus simple d'utiliser plutôt le nombre de symptômes relevés dans chacune des dimensions du TDAH, donc de ne faire appel qu'au premier volet de ce test. De cette manière, cette étude ne porte pas sur la sévérité des symptômes, mais seulement sur leur nombre.

La main dominante des sujets a aussi été mesurée sur une échelle de -100 (complètement gaucher) à +100 (complètement droitier), à l'aide du *Edinburgh Handedness Inventory* (Oldfield, 1971). Pour simplifier l'analyse, cette échelle a été réduite à deux catégories, soit gaucher et droitier.

2.3 Mesures motrices

2.3.1 Appareillage expérimental

L'appareillage expérimental consistait en un stylet (longueur de 3 cm, diamètre de 1 cm) monté sur un bras constitué de deux pièces de 30cm, articulé en deux

points, l'un fixe, l'autre mobile. Sur chacun de ces axes est monté un encodeur optique précis à $0,044^\circ$, permettant de déterminer la position du stylet sur la surface. Un écran orienté vers le bas (50,8 cm de diagonale) voit son image réfléchié par un miroir, de sorte que l'image projetée soit dans la même direction que le mouvement effectué. Le miroir est placé au-dessus du plan du manipulandum, de manière à ce que le sujet ne voie pas directement sa main, mais seulement l'emplacement du stylet, projeté orthogonalement à ce dernier à la surface du miroir. La surface en Plexiglas sur laquelle le support du stylet est lubrifiée avant chaque session d'enregistrement, et réputée sans friction.

Le sujet a été assis près du manipulandum tel qu'illustré (Fig. 1A), le stylet partant d'un point fixe situé dans l'alignement de la tête du sujet (la « base »), et que le sujet devait déplacer vers une cible représentée par la projection d'un point lumineux sur le miroir tout au long du mouvement de pointage (la « cible »). Pour assurer une position initiale constante, un morceau de Plexiglas doté d'une encoche était fixé sur la surface, près du sujet, contre lequel il était possible de caler le stylet. La base et la cible à atteindre étaient respectivement affichées sous forme d'un carré vert et d'un cercle blanc. La position du stylet est représentée à l'écran à l'échelle 1:1 sous forme d'un cercle vert.

2.3.2 Procédure

On a demandé à chacun des sujets de déplacer le stylet de la base vers la cible en le tenant entre le pouce et l'index. Ils devaient atteindre le plus précisément et le plus rapidement possible la cible, en traçant une ligne la plus droite possible. L'acquisition s'arrêtait lorsque le déplacement était plus lent que 2 mm / 200 ms. Un mouvement discontinu rendait l'essai invalide ; seules des corrections discrètes étaient permises. Le temps alloué entre l'apparition de la cible et la fin de l'acquisition était de cinq secondes.

Lorsque le stylet est placé sur la base de départ, un carré vert s'affichait à l'écran à cet endroit, et la cible à atteindre apparaissait aléatoirement sous forme d'un cercle blanc durant toute la durée de l'enregistrement, à un angle de 135° ou de 45° selon la convention trigonométrique. Ces deux orientations sont respectivement dites à « gauche » et à « droite ». L'algorithme utilisé par Bras 5 veille à ce qu'il y ait autant d'apparitions à gauche qu'à droite au cours de chaque session d'enregistrement, de

sorte qu'il n'y ait jamais plus de deux apparitions consécutives du même côté. Au cours du déplacement, la position du stylet est affichée en temps réel, et lorsque le stylet est arrêté, le trajet effectué est affiché (*feed-back* après essai), ainsi que les positions de la base et de la cible.

Le nombre d'essais est fixé à 59. Les dix premiers essais se font avec la main dominante (cf. 3.2.3), et sont destinés à l'entraînement. Les 24 essais suivants se font avec la main gauche pour le premier jumeau de la paire, et la main droite dans le cas du second jumeau. Le 35^e essai et les suivants sont effectués avec l'autre main. Pour la présente analyse, les dix premiers essais ainsi que le 35^e ont été retirés, ce dernier étant considéré comme un essai de transition.

2.3.3 Échantillonnage et format des données

Le déplacement de chaque encodeur optique fut échantillonné à une fréquence de 500Hz, et calcula ainsi la position du stylet sur le plan à chaque instant, affichée en temps réel. Les fichiers générés par le logiciel de programmation de l'affichage et d'enregistrement (*Bras 5*) contiennent les coordonnées spatiales du stylet pour chacun des 59 essais de chaque sujet. Lorsque deux fichiers ou plus portaient le même numéro, ils ont été classés par ordre alphabétique de suffixe, et les essais contenus dans chacun ont été considérés comme consécutifs.

Les données ont été décodées au moyen d'un autre logiciel développé à l'interne (*Analyse 5.36*), afin, dans un premier temps, de calculer et représenter le déplacement du stylet hors ligne, et dans un second temps, de calculer les trois premières dérivées de la distance parcourue (vitesse, accélération, mouvement brusque [*jerk*]). Un filtrage hors ligne a été appliqué aux enregistrements bruts afin que les profils cinématiques représentent adéquatement le mouvement effectué par les enfants, selon les paramètres suivants :

- Fréquence de coupure du filtre passe-bas (type Butterworth) : 7 Hz
- Début du mouvement : 10 mm/s
- Fin du mouvement : 2mm/10ms

2.3.4 Détection et classification des corrections

On dénomme correction un changement de la direction de mouvement que le sujet a effectué pour s'aligner sur la trajectoire optimale lors de la tâche motrice. *Analyse 5.36* divisait dans un premier temps le mouvement en deux axes, l'axe horizontal et l'axe frontal. Selon la documentation du logiciel, sur chaque axe, le logiciel était censé détecter la première correction selon la première occurrence d'une des conditions suivantes, dans l'ordre indiqué :

1. Régression de la distance absolue du stylet vers la base (indiquant que le sujet effectue un mouvement de retour vers la base)
2. Inversion de signe de la vitesse relative du stylet
3. Seconde inversion de l'accélération du stylet (signalant la présence d'un mouvement en « stop-and-go »)
4. Troisième inversion du *jerk* du stylet

Cette recherche est exclusive, hiérarchique et non itérative, de sorte que pour chaque essai, seule la première correction peut être détectée et classée, sur chacun des deux axes.

Pour chaque axe de chaque essai de chaque sujet, la durée des corrections détectées par *Analyse 5.36* a été contrôlée manuellement selon les profils cinématiques, et si celle-ci n'atteignait pas le critère minimal de 120 ms indiquant une correction consciente (rétroaction sensorielle) (Vallbo & Wessberg, 1993), le marqueur de correction fut reporté manuellement au début de la prochaine correction respectant le critère temporel, selon l'ordre hiérarchique utilisé par le logiciel, à l'exception de la troisième inversion du *jerk*, critère jugé trop imprécis par l'équipe de recherche pour diverses raisons.

Les corrections de mouvement détectées ont été classées en trois groupes :

- **absence de correction** : aucune correction respectant le critère de durée n'a été détectée (Figure 2) ;
- **corrections de position** : une correction volontaire a été détectée sur la courbe de distance (critère 1) ou de vitesse (critère 2) (Figure 3) ;

- **corrections dynamiques** : une correction volontaire a été détectée sur la courbe d'accélération (critère 3) (Figure 4).

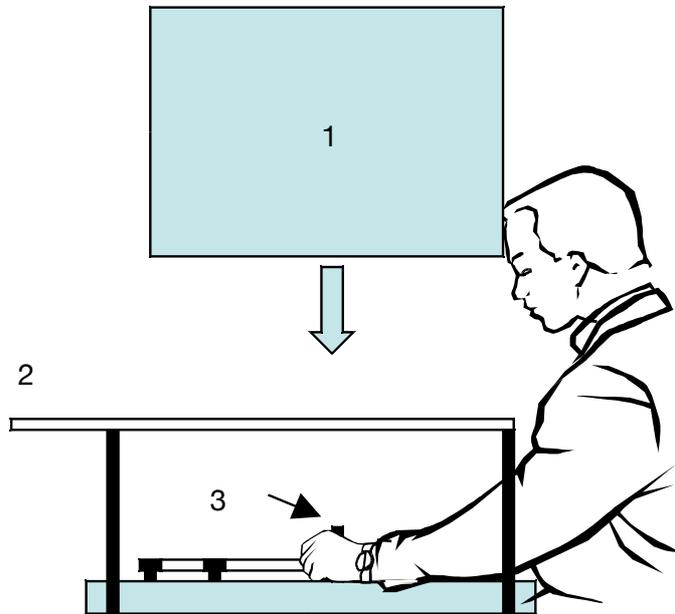


Figure 1 : disposition de l'appareillage expérimental. Vue de côté. Le déplacement du manipulandum (3) se fait parallèlement à l'écran (1) et au miroir (2), dans la direction opposée au sujet.

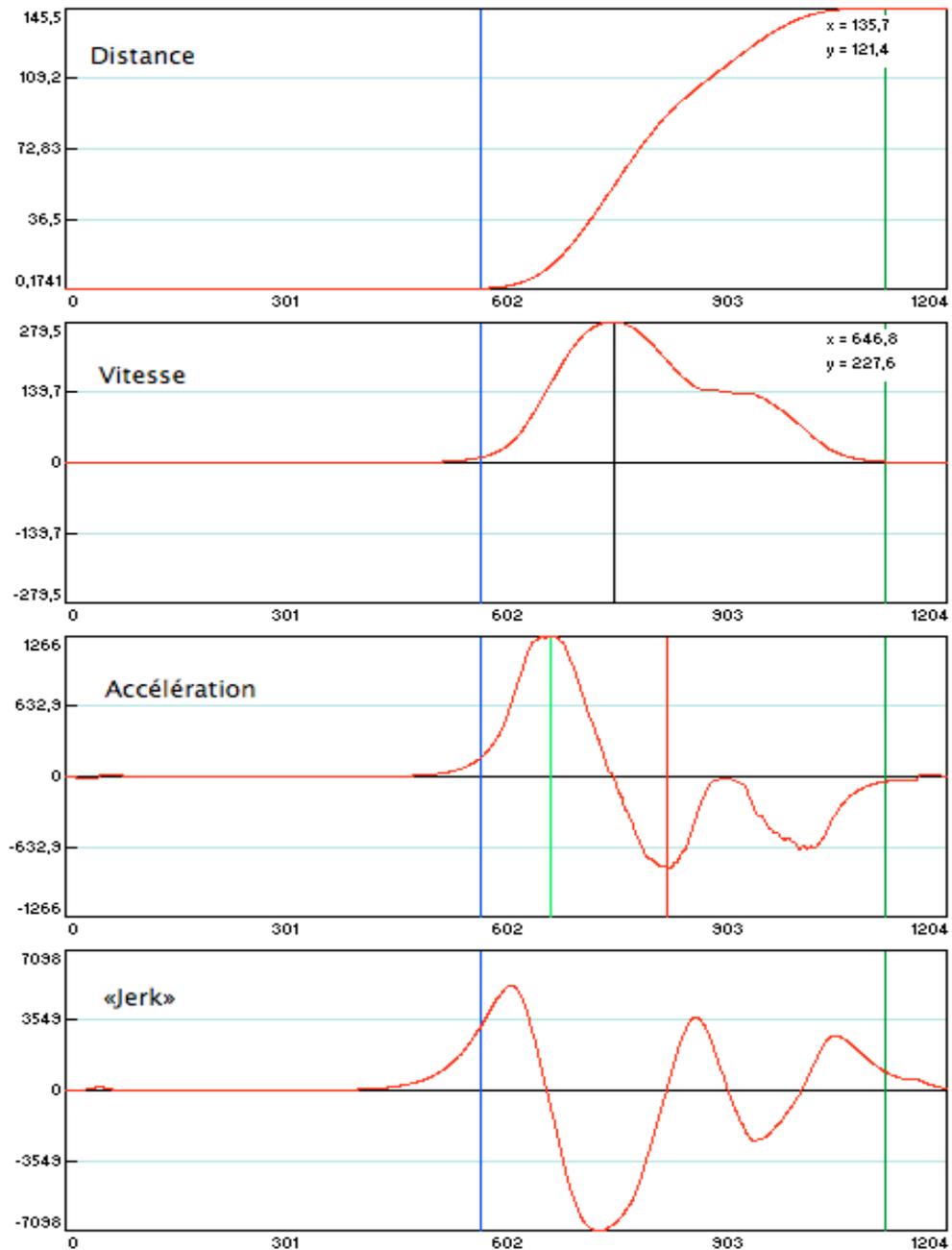


Figure 2 : Illustration d'un profil cinématique ne présentant aucune correction consciente.

Début du mouvement pour les calculs : curseur bleu (premier curseur, chronologiquement) ; accélération maximale : curseur vert (second curseur) ; vitesse maximale : curseur noir (troisième curseur) ; décélération maximale : curseur rouge (quatrième curseur) ; fin du mouvement pour les calculs : curseur vert foncé (cinquième curseur).

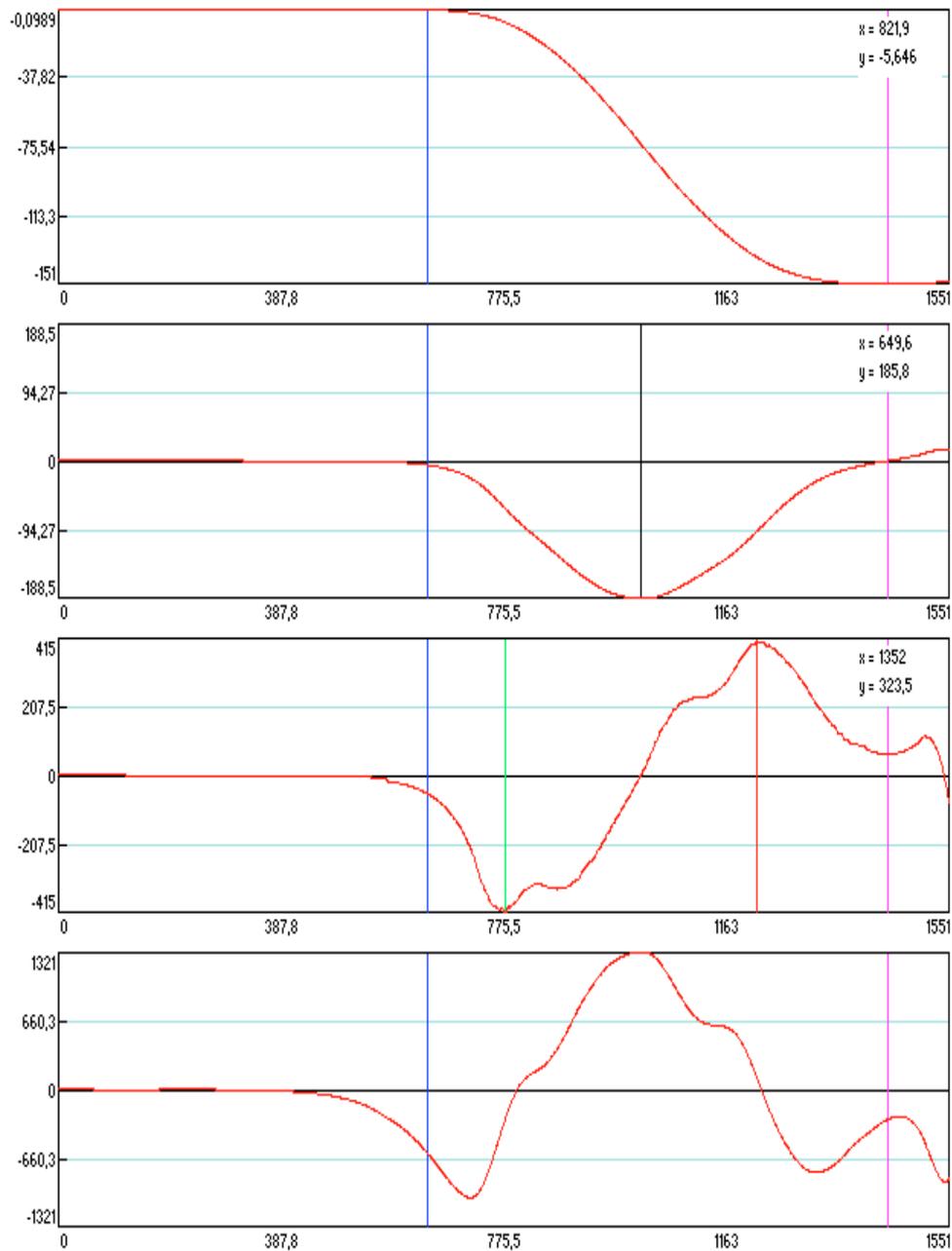


Figure 3 : Illustration d'un profil cinématique présentant une correction de position. Le curseur de correction est placé sur l'inversion de signe de la vitesse relative.

À noter que le profil est inversé par rapport à la figure précédente, car la cible était à gauche.

Curseur bleu (premier curseur, chronologiquement) : début du mouvement pour les calculs

Curseur vert (second curseur) : accélération maximale

Curseur noir (troisième curseur) : vitesse maximale

Curseur rouge (quatrième curseur) : décélération maximale

Curseur mauve (cinquième curseur) : première correction volontaire

Le curseur de fin de mouvement n'est pas visible ici.

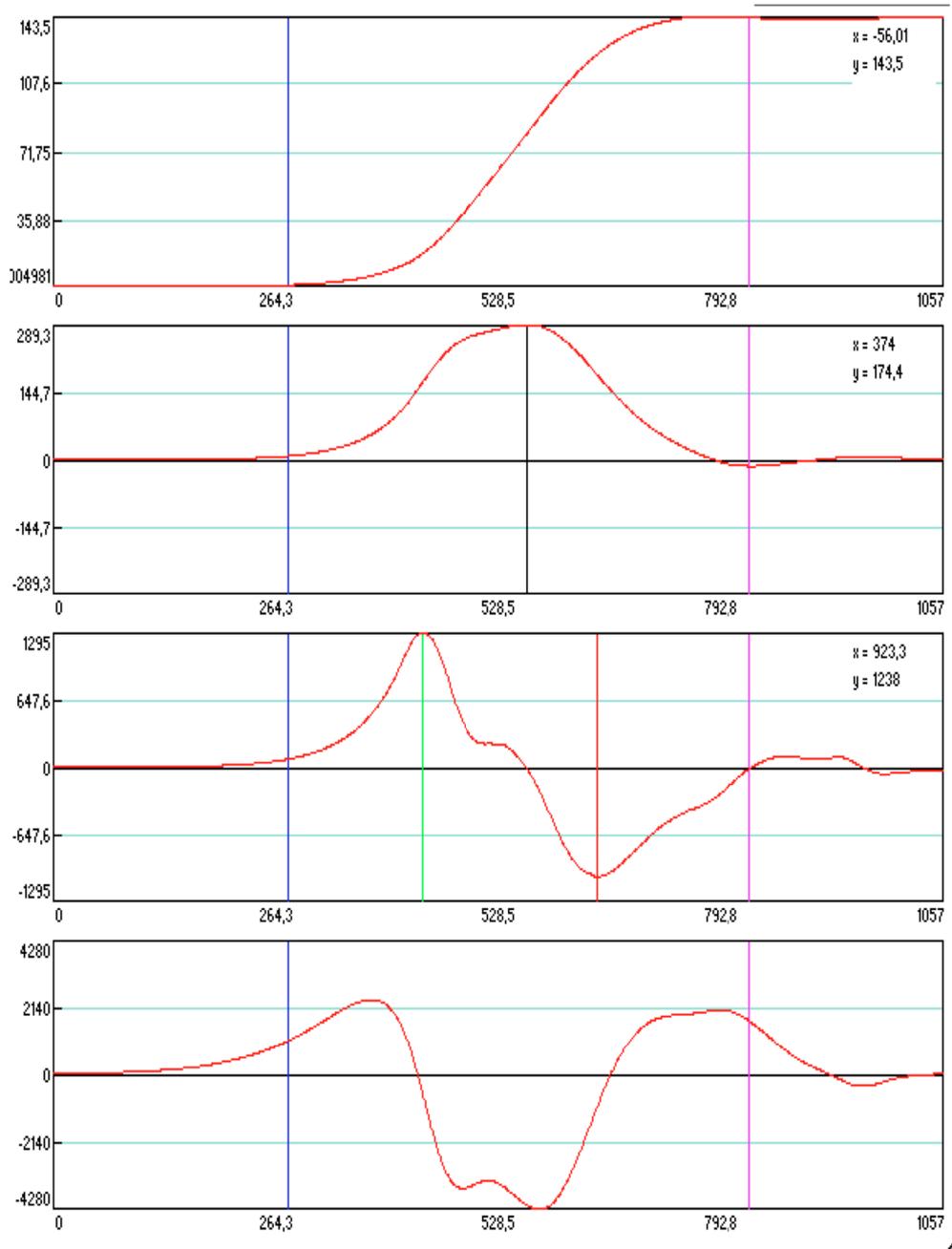


Figure 4 : Exemple d'un profil cinématique démontrant une correction dynamique. Le curseur de correction indique que la seconde inversion de signe de l'accélération marque le début de la correction, et se poursuit jusqu'à la troisième inversion de signe.

Curseur bleu (premier curseur, chronologiquement) : début du mouvement pour les calculs

Curseur vert (second curseur) : accélération maximale

Curseur noir (troisième curseur) : vitesse maximale
Curseur rouge (quatrième curseur) : décélération maximale

Curseur mauve : marque la première correction selon la courbe d'accélération

Curseur vert foncé (Sixième curseur, non visible ici) : fin du mouvement pour les calculs.

2.4 Analyse des données

2.4.1 relations entre fréquence relative des types de correction et dimensions du TDAH

Étant donné l'absence de présomption sur la forme du lien existant entre les types de correction et les mesures psychométriques, il a été décidé d'effectuer une analyse la plus systématique possible de différentes paires de variables, sous différentes conditions, et en diverses combinaisons. En ce sens, lorsqu'un effet était détecté, les différents facteurs entrant en jeu furent testés séparément, d'une part. D'autre part, lorsqu'il y avait des raisons de croire qu'un lien significatif pouvait ne pas apparaître en raison de facteurs confondants, ceux-ci ont été distingués.

Les variables utilisées pour cette partie de l'analyse étaient les suivantes :

Variables motrices :

- Taux d'essais sans correction ;
- Taux d'essais avec corrections ;
- Taux de corrections de position ;
- Taux de corrections dynamiques.

Chaque variable a été triée selon :

- la main utilisée : main gauche, main droite, sans distinction de mains ;
- côté de présentation de la cible : à gauche, à droite, sans distinction de cible.

Le tri en fonction des deux mains a également été appliqué en moyennant le taux d'un type de correction pour la main gauche avec le même type pour la main droite, chez chaque sujet, et cette moyenne a été transformée de la manière indiquée.

Variables psychométriques :

- Nombre de symptômes liés au TDAH ;

- Nombre de symptômes liés à l'hyperactivité-impulsivité (HI) ;
- Nombre de symptômes liés à l'inattention (I).

Transformation des variables

La plupart des tests statistiques courants sont paramétriques, et requièrent que la distribution des valeurs des variables contrôlées suive une courbe normale. Un contrôle préliminaire des variables continues a donc été effectué pour vérifier leur normalité, de façon numérique à l'aide d'un test de normalité de Shapiro-Francia dans un premier temps, puis illustré dans un second temps, d'une part. Le calcul fut réalisée dans le logiciel *Gnumeric 1.10.17*, et la représentation graphique faite dans *Veusz 1.13*. Ce test fut choisi parce qu'il restait efficace même sur les petits échantillons comme ceux obtenus en répartissant l'échantillon en plusieurs catégories, tout en étant fiable sur les échantillons de taille moyenne comme l'ensemble de l'échantillon.

D'autre part, le contrôle des relations devait se faire entre variables continues et variables catégorielles. En premier lieu a été considéré le type de correction d'un essai celui qui arrivait le plus tôt, sans égard à l'axe de décomposition. Les taux de correction obtenus pour chaque essai ont été arbitrairement catégorisés de la manière suivante :

Catégorie 1 : 0 à 20 % de corrections ;

Catégorie 2 : >20 à 40 % de corrections ;

Catégorie 3 : >40 à 60 % de corrections ;

Catégorie 4 : >60 à 80 % de corrections ;

Catégorie 5 : >80 à 100 % de corrections.

Les latéralisations ont été transformées en valeurs binaire : > 0 classé comme droitier, < 0 classé comme gaucher. Une fois transformée, cette variable a servi à filtrer à la fois les variables psychométriques et motrices. Les différentes combinaisons retenues et le mode combinatoire sont détaillés dans la partie suivante.

Le nombre de symptômes lié à chaque dimension du TDAH (HI et I) étant un nombre entier, cette variable fut considérée catégorisée. Le nombre de symptômes

liés au TDAH est normalement constitué par l'addition des dimensions HI et I, et peut donc théoriquement compter 18 symptômes.

Tests statistiques

À des fins descriptives, la fréquence relative du nombre de symptômes des deux dimensions du TDAH a été illustrée graphiquement, de même que la latéralisation. À cette fin, *Veusz 1.13 (Version pour Mac OS X)* a été utilisé.

L'effectif des variables continues d'un sujet à l'autre étant relativement faible, les tests de normalité ne furent pas toujours fiables. Par ailleurs, les types de variables (continu et catégoriel) étant mélangés, les relations ont été vérifiées à l'aide d'un test de χ^2 de Pearson, appliqué au coefficient de corrélation de Pearson. Ce test non paramétrique a été choisi pour plusieurs raisons. D'une part, il est réputé moins sensible aux cas de non-normalité, qui étaient attendus étant donné le faible effectif de chaque catégorie. D'autre part, aucun test d'application aisée n'a été trouvé permettant de comparer des variables continues avec des variables discrètes ou catégorielles ; ce test pouvait donc s'appliquer après transformation des variables en catégories. Enfin, n'ayant que des hypothèses exploratoires, il apparaissait plus judicieux de tester l'indépendance des données que leur lien direct. Pour tous les tests statistiques, le seuil de confiance retenu était à $\alpha = 0,05$. Comme il ne s'agissait pas d'un test d'hypothèse ou de régression, mais de simple relation, il n'a pas été nécessaire d'appliquer de correction de Bonferroni. Le logiciel *PSPP 0.7.8 rev 17 (versions pour Mac OS X et Ubuntu Linux)* fut l'outil de choix pour ce calcul. En raison d'une limitation logicielle, seules les deux premières décimales des valeurs du χ^2 de Pearson et de p étaient affichées. Lorsque la valeur de p affichée était de 0,05, un calcul plus précis a été effectué à l'aide d'une calculatrice *Casio FX850P* à partir des valeurs de χ^2 et du nombre de degrés de liberté v indiqués dans les résultats afin de vérifier le degré de signification, à l'aide d'une fonction intégrée. Le résultat n'a toutefois pas été indiqué par souci d'exactitude, étant donné que ce second calcul était effectué à partir de valeurs arrondies. Lorsque la valeur de p était de 0,00, le second calcul n'a pas été effectué.

2.4.2 Position spatiale des premières corrections

Cette étude étant principalement exploratoire, en second objectif, une représentation graphique de la répartition des premières corrections était souhaitée. Si les relations nous renseignent sur l'existence d'un lien quantitatif, ce second volet fournit des informations complémentaires, qualitatives, notamment de savoir à quel endroit la correction apparaît par rapport à la cible, en moyenne, sa dispersion apparente, et la direction générale de l'impulsion initiale du mouvement. Les combinaisons significatives obtenues précédemment ont donc été représentées à partir des coordonnées des premières corrections. Il faut souligner qu'il n'y a aucun lien direct qui soit prouvé entre les relations précédentes et les représentations des corrections, étant donné l'absence d'analyse numérique, et ne doit être interprété qu'à titre indicatif.

Transformation des variables

Afin de représenter plus efficacement les variations significatives obtenues précédemment, le nombre de symptômes sur chaque dimension a été regroupé arbitrairement en trois catégories ordinales :

- Catégorie 1 : 0 symptôme
- Catégorie 2 : 1 à 3 symptômes (1 à 6 pour le TDAH)
- Catégorie 3 : 4 symptômes et plus (7 et + pour le TDAH)

Il a ainsi été possible de produire trois graphiques par combinaison significative du nombre de symptômes liés aux dimensions du TDAH et du taux de correction de chaque type identifié.

Afin de faciliter la représentation graphique et la comparaison, lorsque deux cibles étaient présentées de côtés différents, les coordonnées des premières corrections vers une cible à gauche ont été converties en coordonnées absolues. Les coordonnées résultantes ont été superposées à celles portant sur une cible à droite. L'ensemble des graphiques de position des premières corrections a été réalisé dans *SciDAVis 0.2.4*.

Chapitre 3 – Résultats

3.1 Représentativité de la population

La plupart des 277 sujets n'avaient pas reçu de diagnostic clinique, et les quelques cas qui l'avaient eu ont été jugés trop peu nombreux pour en tirer des conclusions, et ont été intégrés dans l'analyse sans distinction spécifique. Cependant, leur faible effectif correspond tout de même à la prévalence de TDAH attendue dans une population normale. Par contre, la répartition des sexes n'est pas égale, et la population n'est donc pas représentative de la population générale du même âge.

3.1.1 Variables psychométriques

Sur l'ensemble des sujets, le nombre minimal de symptômes répertoriés dans toutes les dimensions était de zéro. Le nombre maximal de symptômes répertoriés dans la dimension de l'hyperactivité-impulsivité était de 9, et de 8 dans la dimension liée à l'inattention, mais le nombre maximal de symptômes liés à la présence de TDAH était de 14 chez un même individu. On remarque que la majorité des individus ne présentaient aucun symptôme d'hyperactivité-impulsivité, ni d'inattention (Fig. 5).

3.1.2 Latéralisation

La distribution des coefficients de latéralisation est présentée (Fig. 5). L'évaluation de la main dominante donne 17,5 % de gauchers, 82,5 % de droitiers, ce qui correspond à la répartition attendue dans la population normale.

3.1.3 Modèle d'enregistrements cinématiques

La figure 6 illustre deux exemples de trajectoires issues d'Analyse 5.36 qui représentent deux mouvements de pointage typique d'un sujet, selon que la cible se situe à gauche ou à droite. On remarque qu'ils sont très linéaires sur leur plus grande partie, et démontrent une correction terminale très fréquente, après que le sujet aie dépassé la cible. Cela est particulièrement visible sur les graphiques démontrant l'existence d'une correction de position. Parallèlement, la correction terminale n'est pas nécessairement la première correction. Le tracé brut du mouvement n'est pas un indicateur fiable de la présence ou de l'absence de corrections, tout particulièrement de corrections dynamiques. Ces dernières sont en effet mieux détectées sur les tracés

cinématiques de vitesse ou d'accélération. Il n'a donc pas été jugé utile de présenter d'autres tracés.

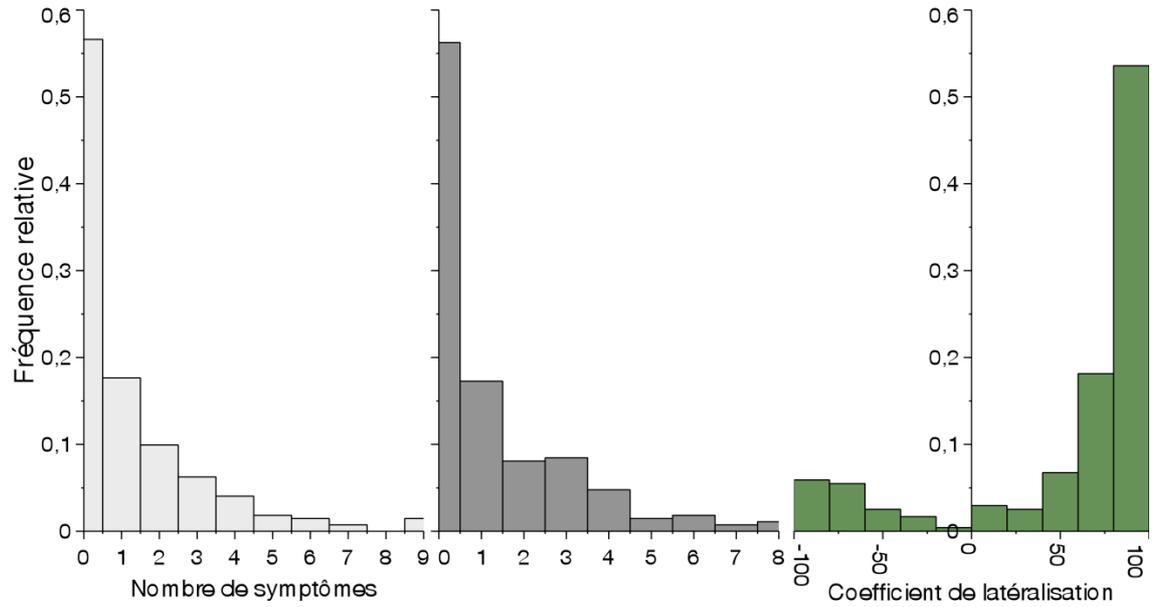


Figure 5 : Fréquence relative du nombre de symptômes des deux dimensions du TDAH. **A** : dimension d'hyperactivité-impulsivité ; **B** : dimension d'inattention. **C** : fréquence relative des scores de latéralisation.

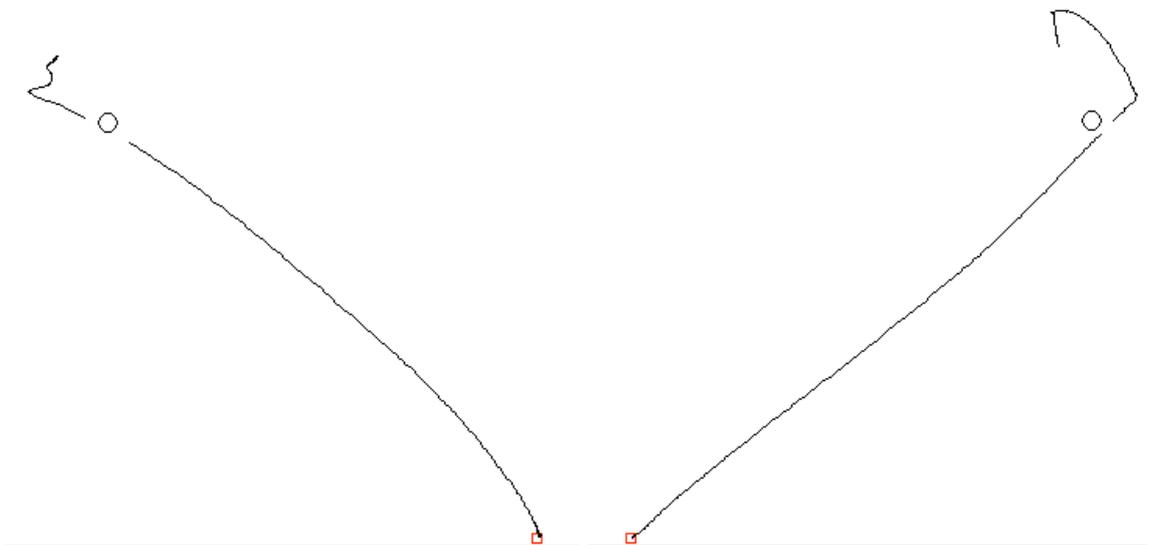


Figure 6 : Deux exemples de mouvements typiques vers une cible à gauche et à droite (cercle blanc). L'origine du mouvement est représentée par le carré rouge. Le tracé est continu. Une portion du tracé a été effacée pour plus de clarté.

3.2 Lien général existant entre le taux de correction et les dimensions du TDAH

3.2.1 Relations existant entre l'incidence d'une correction et le nombre de symptômes du TDAH

Tout d'abord, les relations entre le nombre total de symptômes liés au TDAH et le taux de mouvement corrigés ont été testées (Tableau 1). Il faut d'abord remarquer qu'il n'y a pas de relation entre l'absence de correction de trajectoires et le nombre de symptômes de TDAH détectés ($NoCo \times TDAH$). De même, il n'y avait pas de relation entre l'ensemble des types de correction et le nombre de symptômes du TDAH ($CoGé \times TDAH$), ni entre les corrections dynamiques et le nombre de symptômes ($CoDy \times TDAH$). Cependant, une division plus fine a révélé une relation significative entre les corrections de position et le nombre de symptômes du TDAH (Tableau 1).

En distinguant les symptômes de TDAH selon les deux dimensions, seule une relation significative entre corrections de position et nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité ($CoPo \times HI$) était visible. Les autres tests n'étaient pas significatifs.

Ceci confirme le bien-fondé de notre méthode empirique d'analyse. Afin de clarifier les combinaisons de facteurs testées, un schéma représentant l'ensemble des tests effectués est présenté (Fig. 7).

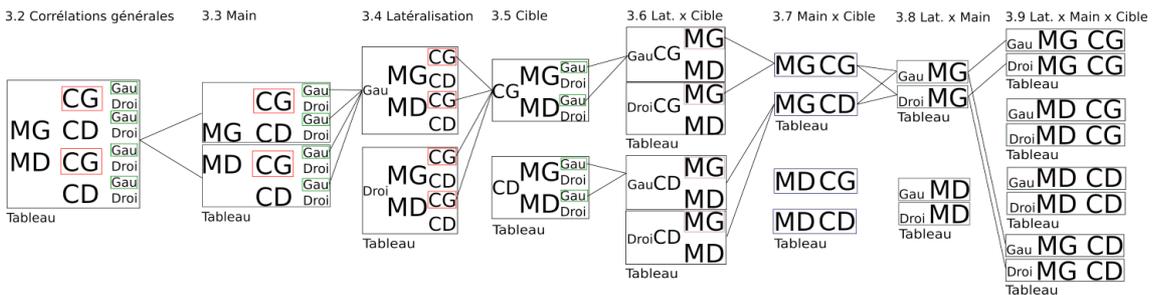


Figure 7 : Arborescence des différentes Associations testées

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (p)	Significatif ?
NoCo x <i>TDAH</i>	54,38	52	0,38	
NoCo x HI	21,61	32	0,92	
NoCo x INATT	27,57	32	0,69	
<i>CoGé</i> x <i>TDAH</i>	54,38	52	0,38	
<i>CoGé</i> x HI	31,20	32	0,51	
<i>CoGé</i> x INATT	27,57	32	0,69	
CoPo x <i>TDAH</i>	62,18	39	0,01	*
CoPo x HI	51,96	24	0,00	*
CoPo x INATT	36,71	24	0,05	
<i>CoDy</i> x <i>TDAH</i>	41,76	52	0,84	
<i>CoDy</i> x HI	23,74	32	0,85	
<i>CoDy</i> x INATT	30,86	32	0,52	

Tableau 1 : relations entre l'incidence de chaque type de correction relevée sur l'ensemble des essais et nombre de symptômes de chacune des deux dimensions du TDAH. En italique sont indiqués les regroupements de deux sous-catégories.

Abréviations : NoCo : absence de correction ; CoGé : toutes les corrections ; CoPo : corrections de position ; CoDy : corrections dynamiques ; TDAH : nombre de symptômes liés au TDAH ; HI : nombre de symptômes liés à l'hyperactivité-impulsivité ; INATT : nombre de symptômes liés à l'inattention.

Le nombre de degrés de liberté varie comme suit : cinq catégories de taux de correction, quatorze catégories de symptômes au maximum. Lorsqu'une catégorie ne contient aucun élément, elle n'est pas incluse dans le calcul. Exemples : CoPo x *TDAH* ; seules les catégories de correction de position de 1 à 4, telles que définies en 2.4.1, sont représentées sur l'ensemble des sujets, le nombre de degrés de liberté est donc de $(4-1) \times (14-1) = 39$. CoPo x HI ; seules les catégories de correction de 1 à 4 sont représentées sur l'ensemble des sujets. La dimension HI comporte un maximum de 9 catégories sur l'ensemble des sujets, le nombre de degrés de liberté est donc de $(4-1) \times (9-1) = 24$.

3.2.2 Position des premières corrections volontaires

Une représentation spatiale des premières corrections a été faite, selon les combinaisons significatives relevées dans les tableaux. Afin de faciliter leur lecture en conservant une échelle raisonnable, la plupart des graphiques ont exclu chacun moins de sept *outliers*, soit des valeurs s'écartant, arbitrairement, de façon très distincte du nuage de points formé par les autres valeurs. Ces derniers ont cependant été pris en compte dans le calcul de la position moyenne des premières corrections.

À première vue, la distribution spatiale des premières corrections est similaire tant pour la main gauche que pour la main droite (Fig. 8), et il ne semble pas y avoir de différence marquante entre les positions moyennes de chaque correction d'une cible à l'autre. Cependant, la dispersion des corrections semble légèrement plus grande et alignée avec la diagonale base-cible lorsque la cible est positionnée à droite, tant pour la main gauche que la main droite. En distinguant les cibles, une dispersion davantage verticale qu'horizontale, arquée, marquée, s'observe lorsque la cible est positionnée à gauche ; elle s'observe surtout lorsque l'on considère les corrections de position (Fig. 9), mais reste décelable lorsqu'on examine les corrections dynamiques (Fig. 10). Il y a de plus peu de dispersion dans l'axe de la diagonale base-cible du côté gauche par rapport à une cible placée à droite. Il est difficile d'y trouver une explication, ainsi que de déterminer précisément comment cette forte concentration de corrections de position a pu affecter le taux total de correction. Si la différence intermaines ne semble pas très forte, le côté de présentation de la cible semble déjà différencier la position de la moyenne, où les corrections apparaissent plus tardivement, plus près de la cible lorsque celle-ci est à gauche, peu importe la main utilisée.

À l'opposé, des différences beaucoup plus marquées apparaissent sitôt que l'on distingue la distribution répondant aux critères d'une correction de position (Fig. 9) de celle répondant aux critères d'une correction dynamique (Fig. 10), de manière similaire au tableau 1. Bien que ce graphique ne montre aucune distinction plus fine, on remarque que la position moyenne des corrections se situe au-delà de la cible pour les corrections de position, et bien avant pour les corrections dynamiques, ce qui vient confirmer le fait que les corrections de position sont majoritairement le fait de mouvements de retour vers la cible effectuée en fin de mouvement, lorsque le sujet se rend compte qu'il l'a dépassée. En corollaire, il est montré que les corrections dynamiques ont majoritairement lieu avant l'atteinte de la cible. La dispersion de

l'ensemble des corrections de position est ainsi largement passé la cible, alors que la répartition des corrections dynamiques est plus homogène le long de la trajectoire base-cible.

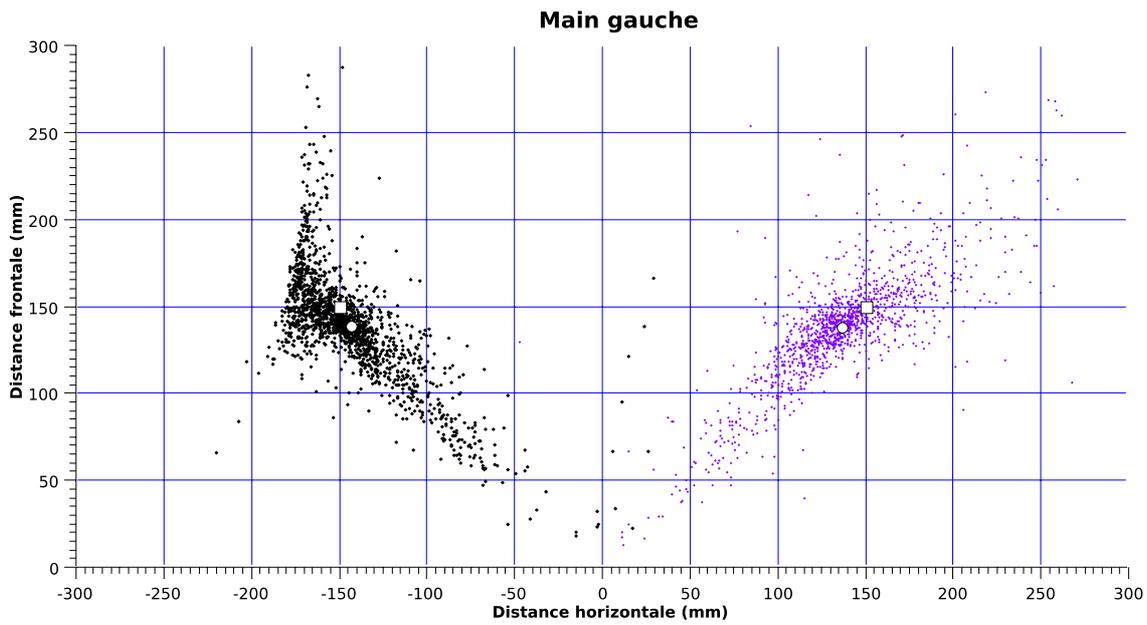
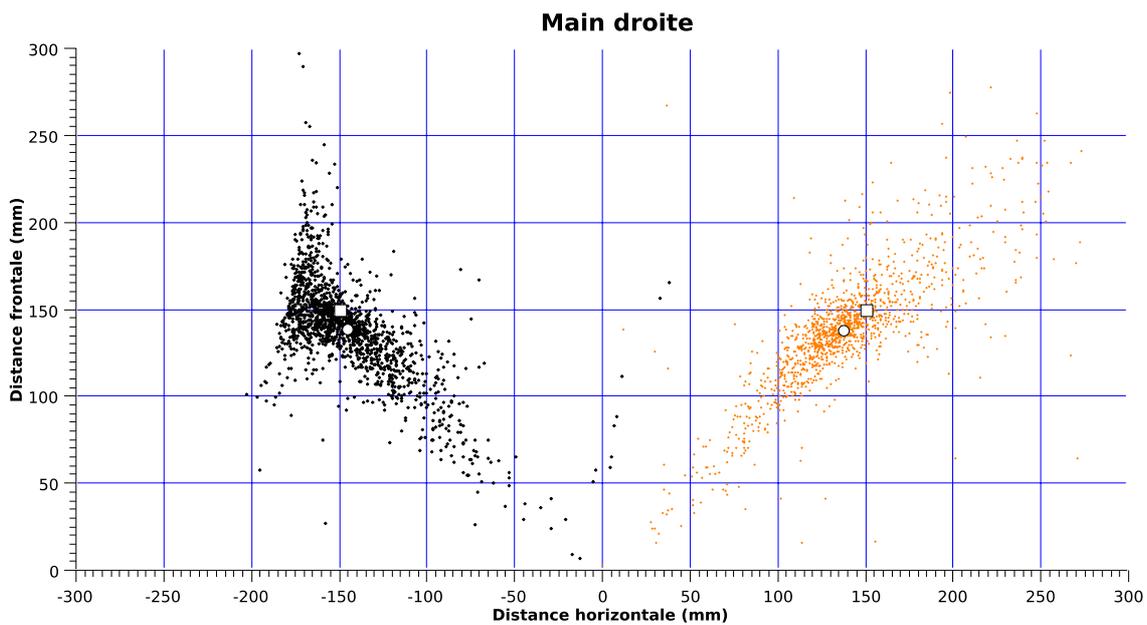
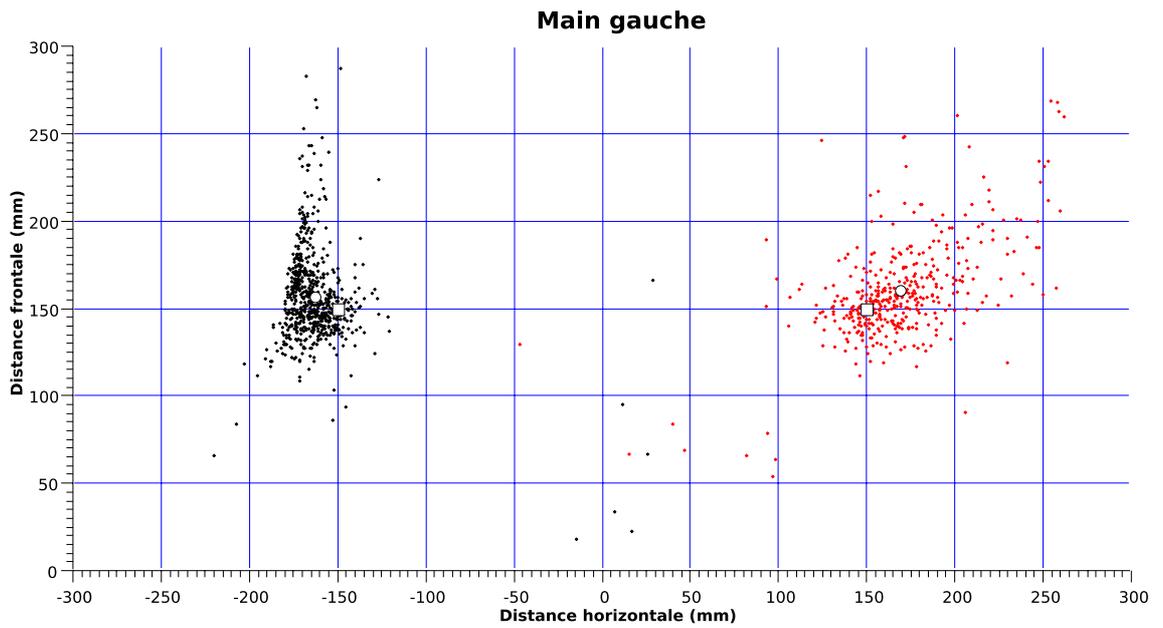
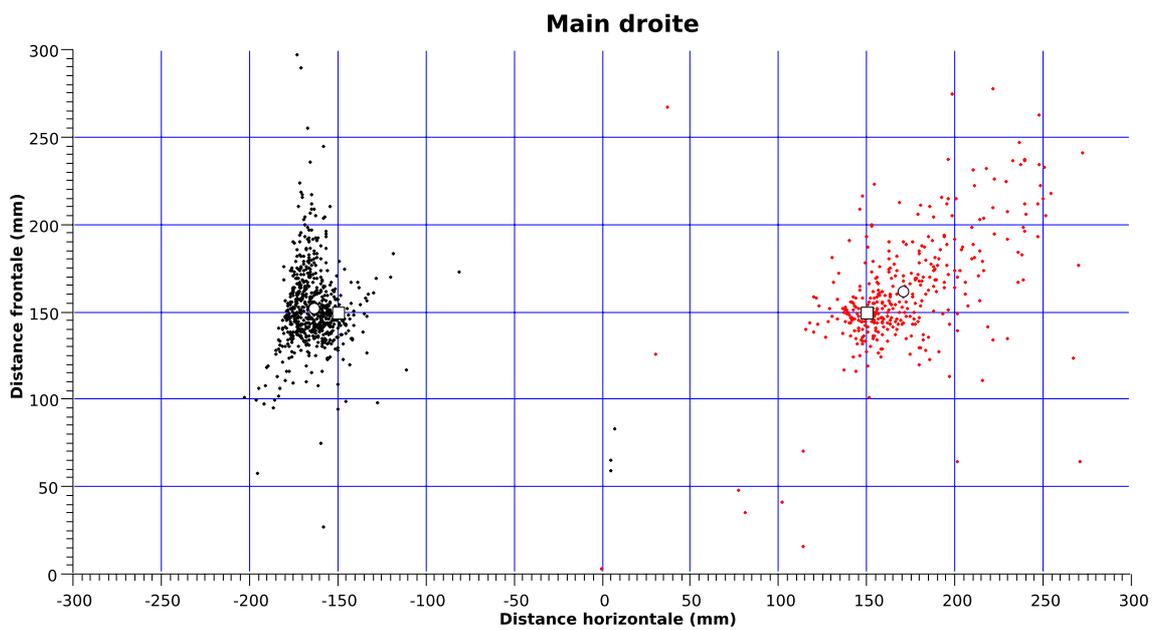
**A****B**

Figure 8 : Coordonnées de l'ensemble des premières corrections de mouvements de pointage, par rapport au côté de présentation de la cible. Cette dernière est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide. Pour faciliter la lecture, les corrections des deux mains sont représentées séparément ; **A** : main gauche ; **B** : main droite

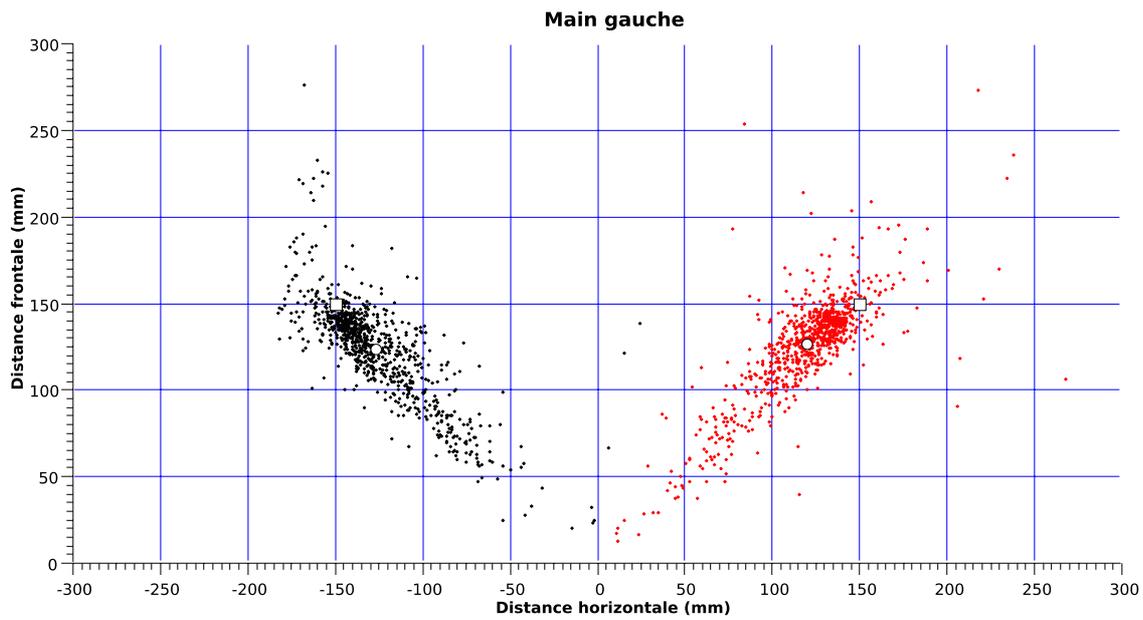


A

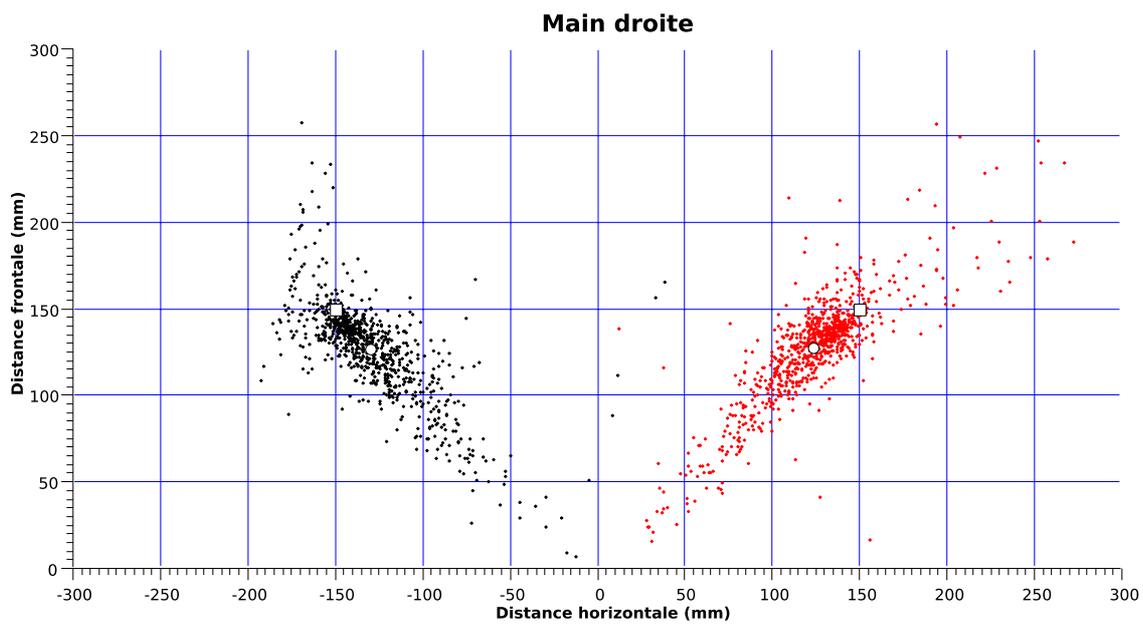


B

Figure 9 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage, par rapport au côté de présentation de la cible. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide. La distance parcourue selon l'axe horizontal est indiquée en valeur absolue. **A** : main gauche ; **B** : main droite



A



B

Figure 10 : Coordonnées des premières corrections dynamiques de mouvements de pointage, pour des cibles à gauche et à droite. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide. **A** : main gauche ; **B** : main droite

3.3 Effet de la main utilisée sur les relations entre taux de correction observés et nombre de symptômes relevés dans chaque dimension

Le premier facteur contrôlé était la main utilisée pour exécuter la tâche (Fig. 7). L'usage de la main gauche révèle un lien très significatif entre le taux de corrections de position et le nombre de symptômes liés au TDAH ; ce lien est par ailleurs uniquement dirigé par la dimension d'hyperactivité-impulsivité. Pour la main droite, ce lien n'existe que pour l'inattention, quoique la relation avec l'inattention soit tout de même forte (Main droite, CoPo x HI, $p = 0,05$) (Tableau 2).

L'effet de la main utilisée est illustré figs. 11 et 12. Pour faciliter la lecture, les coordonnées des corrections vers la cible gauche sont superposées à celles de la cible de droite par conversion en valeurs absolues. Bien que l'effet ne soit pas très fort, on remarque déjà une tendance à des corrections plus tardives, plus loin de la cible à mesure que l'effectif des symptômes de TDAH augmente (Fig. 11), mais seulement pour la main gauche. Pour la main droite, seule la dimension d'inattention semble jouer un rôle. Graphiquement, on remarque toujours cette tendance subtile à l'éloignement de la correction moyenne par rapport à la cible (Fig. 12).

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (p)	Significatif ?	Figure
Main gauche					
NoCo x TDAH	41,35	52	0,86		
NoCo x HI	31,20	32	0,51		
NoCo x INATT	26,55	32	0,74		
CoGé x TDAH	41,35	52	0,86		
CoGé x HI	31,20	32	0,51		
CoGé x INATT	26,55	32	0,74		
CoPo x TDAH	83,64	52	0,00	*	Fig. 11 A
CoPo x HI	68,58	32	0,00	*	Fig. 11 B
CoPo x INATT	31,98	32	0,47		
CoDy x TDAH	44,98	52	0,74		
CoDy x HI	33,91	32	0,38		
CoDy x INATT	28,20	32	0,66		
Main droite					
NoCo x TDAH	49,17	52	0,59		
NoCo x HI	24,25	32	0,84		
NoCo x INATT	27,86	32	0,68		
CoGé x TDAH	58,89	52	0,24		
CoGé x HI	29,91	32	0,57		
CoGé x INATT	32,61	32	0,44		
CoPo x TDAH	58,65	52	0,24		
CoPo x HI	45,82	32	0,05		Fig. 12 A
CoPo x INATT	47,50	32	0,04	*	Fig. 12 B
CoDy x TDAH	44,80	52	0,75		
CoDy x HI	21,32	32	0,92		
CoDy x INATT	16,06	32	0,99		

Tableau 2 : L'ensemble des taux de correction relevés a été mis en relation avec le nombre de symptômes liés au TDAH. Les cibles sont à gauche et à droite. Les mains utilisées sont distinguées.

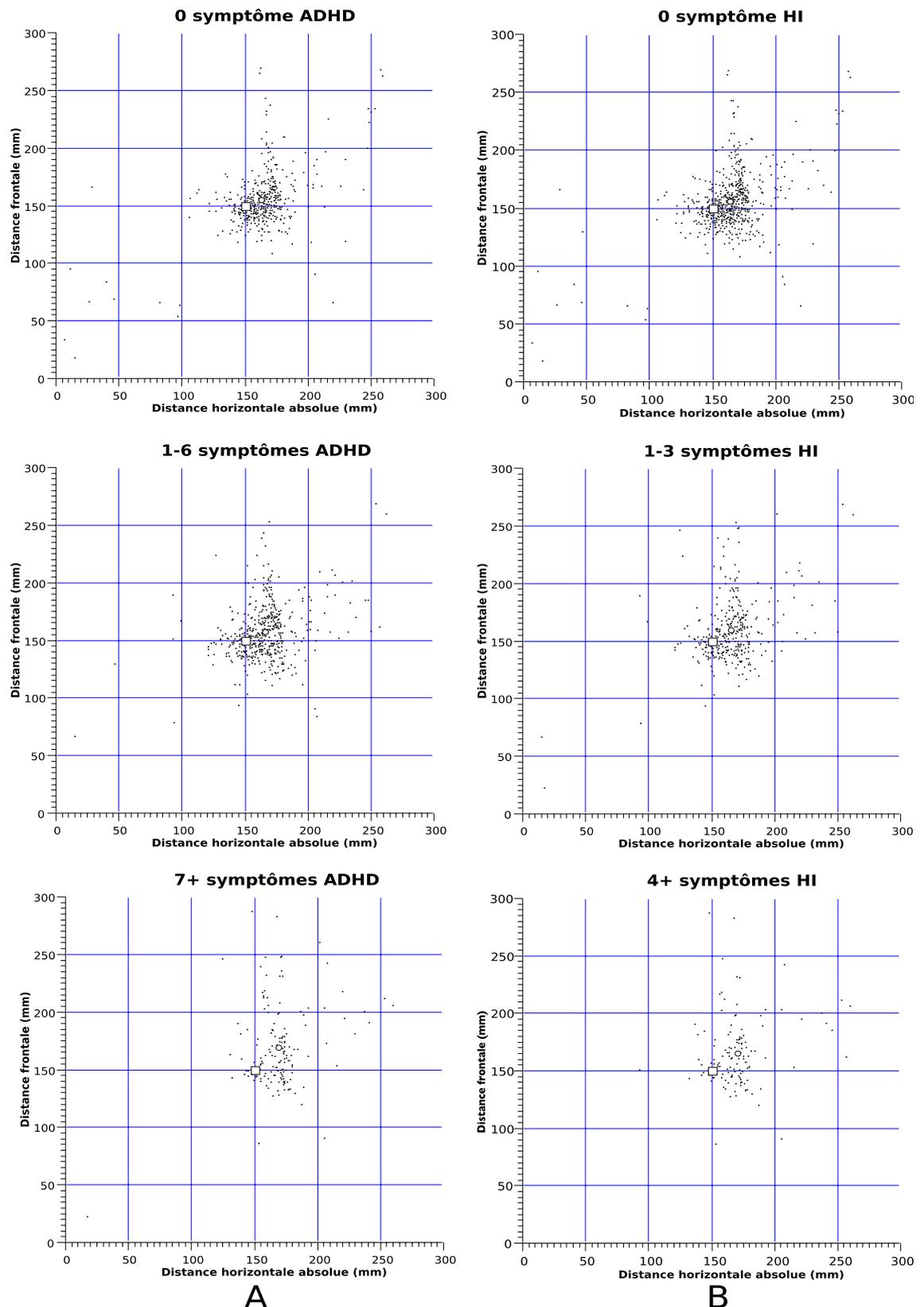


Figure 11 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage par la main gauche, pour des cibles à gauche et à droite. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide. **A** : Par rapport au nombre de symptômes de TDAH ; **B** : Par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité.

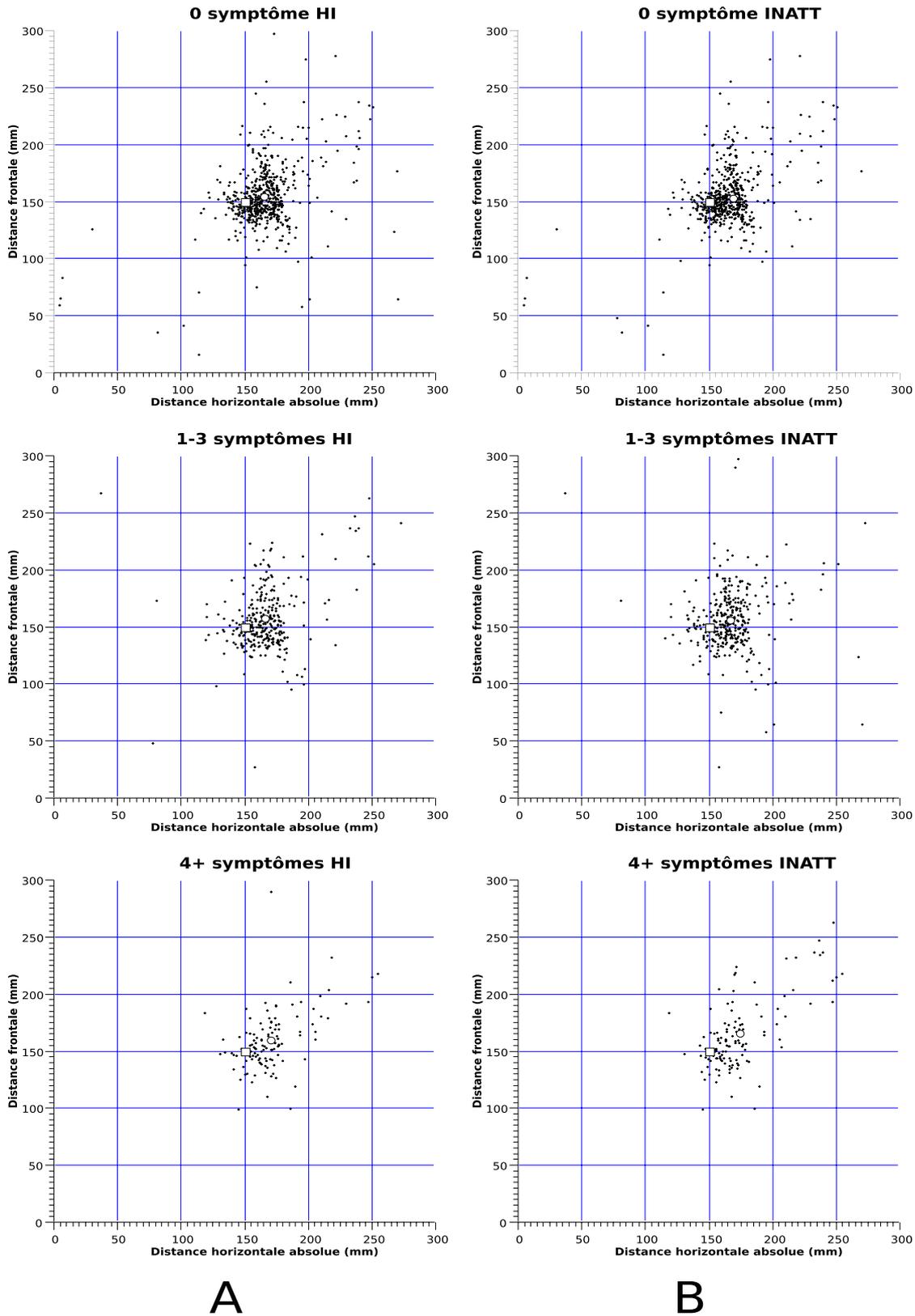


Figure 12 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage par la main droite, pour des cibles à gauche et à droite. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide. **A** : Par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité ; **B** : Par rapport au nombre de symptômes d'inattention

3.4 Effet de la latéralisation sur les relations entre taux de correction observée et nombre de symptômes relevés dans chaque dimension

Ensuite, l'effet de la latéralisation sur la performance motrice a été testé, les autres facteurs étant par ailleurs regroupés (Figure 7, Tableau 3). Dans le test précédent, la combinaison de symptômes du TDAH avec les corrections de position était significative lorsque le sujet utilisait sa main gauche, et semble spécifiquement liée au nombre de symptôme d'hyperactivité-impulsivité. Dans le présent test, un patron semblable apparaît, où les combinaisons CoPo x *TDAH* et CoPo x HI sont significatives uniquement pour les gauchers, quoique les relations pour les droitiers soient proches du seuil de signification (Tableau 3). Comme la combinaison précédente toutefois (Tableau 2, CoPo x INATT), la relation avec l'inattention n'est significative que chez les droitiers (droitiers, CoPo x INATT), et l'écart de signification est ici encore plus grand.

Au point de vue positionnel, on remarque une légère tendance à la dispersion et à l'occurrence plus tardive des corrections au cours du mouvement, lorsque le nombre de symptômes de TDAH augmente (Fig. 13), ce qui corrobore la tendance tout aussi subtile détectée dans les figures 8, 9 et 10. Si l'on tente de différencier gauchers et droitiers, il est raisonnable de croire que la faible différence de moyenne des positions spatiales des corrections de position parmi les gauchers pourrait en fait être réduite par leur faible effectif (Fig. 14). Parmi les droitiers, la moyenne des corrections de position semble ne pas se déplacer beaucoup lorsque le nombre de symptômes de HI augmente (Fig. 14). Si la forme du mouvement est très similaire peu importe le nombre de symptômes et sans égard à l'effectif de chaque classement, on peut remarquer que, de façon générale, les gauchers ont tendance à effectuer leurs corrections plus tard que les droitiers (Fig 14).

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (p)	Significatif ?	Figure
Gauchers					
NoCo x TDAH	29,92	32	0,57		
NoCo x HI	11,38	20	0,94		
NoCo x INATT	16,28	24	0,88		
CoGé x TDAH	29,92	32	0,57		
CoGé x HI	11,38	20	0,94		
CoGé x INATT	16,28	24	0,88		
CoPo x TDAH	48,71	24	0,00	*	Fig. 13 A
CoPo x HI	29,97	15	0,01	*	Fig. 13 B
CoPo x INATT	18,33	18	0,43		
CoDy x TDAH	16,64	32	0,99		
CoDy x HI	8,71	20	0,99		
CoDy x INATT	14,45	24	0,94		
Droitiers					
NoCo x TDAH	46,00	52	0,71		
NoCo x HI	16,72	32	0,99		
NoCo x INATT	25,78	32	0,77		
CoGé x TDAH	46,00	52	0,71		
CoGé x HI	16,72	32	0,99		
CoGé x INATT	25,78	32	0,77		
CoPo x TDAH	51,51	39	0,09		
CoPo x HI	34,48	24	0,08		Fig. 14
CoPo x INATT	39,70	24	0,02	*	
CoDy x TDAH	41,99	52	0,84		
CoDy x HI	20,52	32	0,94		
CoDy x INATT	30,19	32	0,56		

Tableau 3 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des deux mains a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont à gauche et à droite. Les latéralisations sont distinguées.

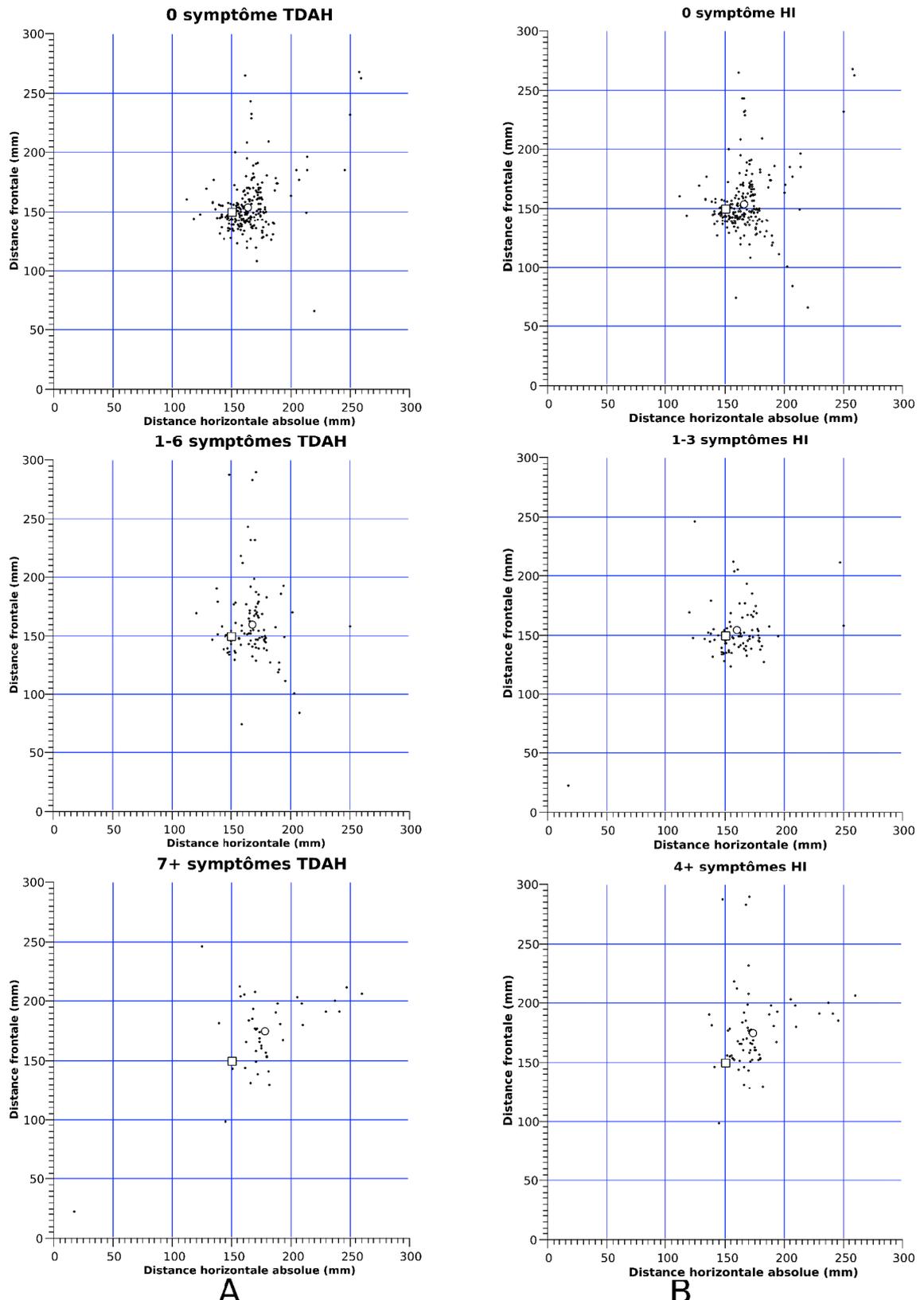


Figure 13 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage, pour des cibles situées à gauche et à droite, par rapport au nombre de symptômes de TDAH (A), d'hyperactivité-impulsivité (B), chez les gauchers. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide. La distance parcourue sur l'axe horizontal est indiquée en valeur absolue. Les corrections des droitiers ne sont pas représentées.

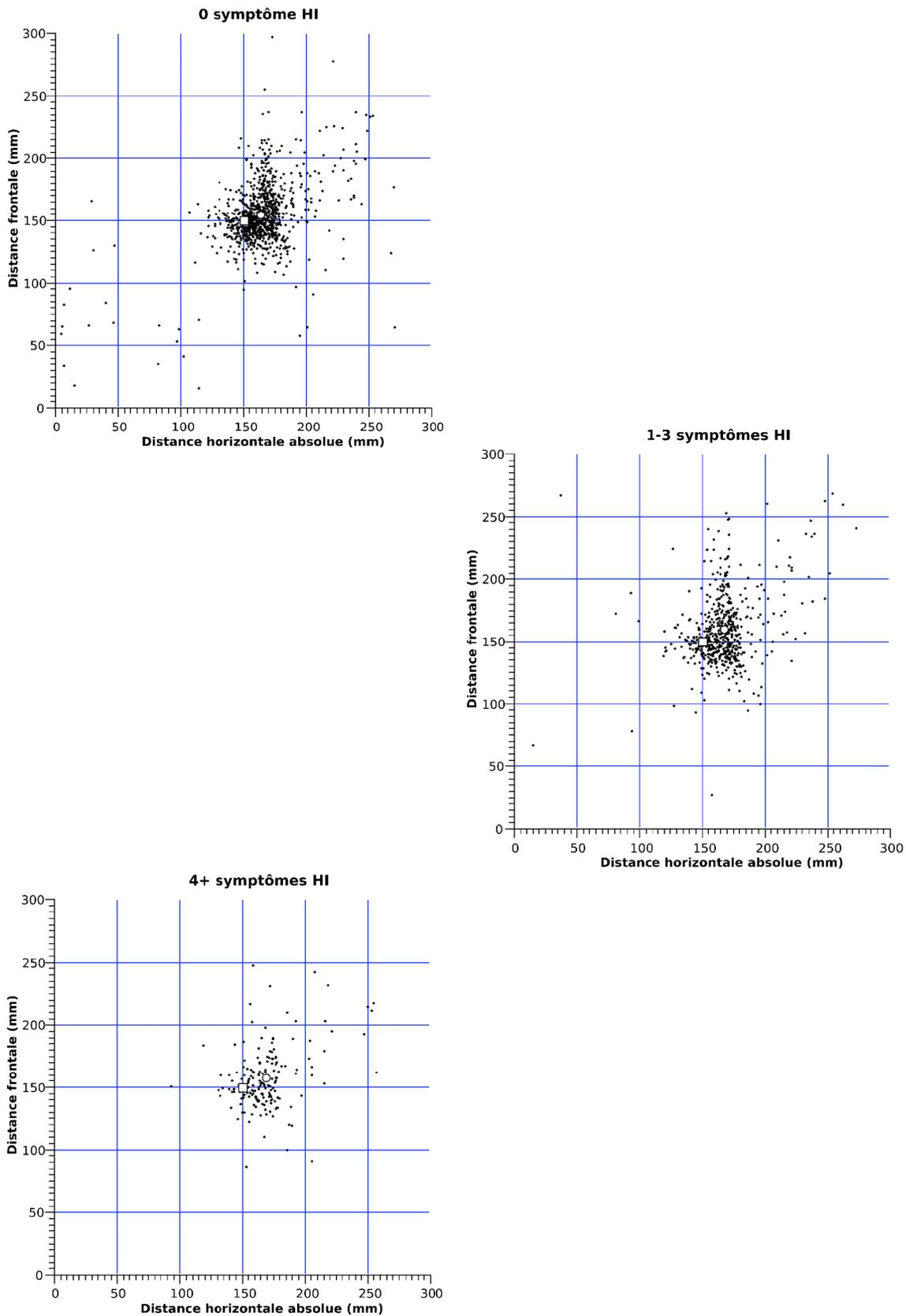


Figure 14 : Coordonnées absolues des premières corrections de position de mouvements de pointage, pour des cibles situées à gauche et à droite, par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité, chez les droitiers. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions par le cercle vide.

3.5 Effet de la position de la cible sur les associations taux de correction observée et nombre de symptômes relevés dans chaque dimension

On a testé ensuite l'effet de la position de la cible, regroupant par ailleurs tous les autres facteurs. Indépendamment, corrections de position est significativement reliée à la présence d'une cible présentée à gauche, et toujours principalement liée à l'hyperactivité-impulsivité, sans effet de l'inattention (Tableau 4). De la même manière, le contraste avec les cibles présentées à droite est très fort, où le lien est absent, peu importe les subdivisions. Cela conduit à penser que la latéralisation seule n'est pas suffisante, pour les droitiers, pour remarquer un effet.

Parmi les représentations spatiales de la figure 15, il est intéressant de noter que, même dans le cas d'une relation significative entre taux de correction et effectif des symptômes selon le Tableau 4, les moyennes de position intracible, la dispersion du nuage de points, ou la direction générale de l'impulsion initiale ne varient pas significativement. D'une cible à l'autre cependant, les mouvements vers la cible gauche ont tendance à se situer majoritairement au-delà de la cible (15 A), et dans une direction moyenne essentiellement horizontale, tandis que les mouvements initiaux vers la droite semblent se faire davantage dans l'alignement de la diagonale joignant la base de départ à la cible (15 B), donc avant qu'il n'y ait de déviation importante de trajectoire. Cela cache toutefois une importante dispersion transversale des corrections lorsque la cible est à gauche, relativement symétrique autour de la droite joignant la cible et la position moyenne des corrections.

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (p)	Significatif ?	Figure
Cible à gauche					
NoCo x TDAH	50,66	52	0,53		
NoCo x HI	23,39	32	0,87		
NoCo x INATT	21,20	32	0,93		
CoGé x TDAH	59,19	52	0,23		
CoGé x HI	20,22	32	0,95		
CoGé x INATT	25,19	32	0,80		
CoPo x TDAH	77,26	39	0,00	*	
CoPo x HI	40,30	24	0,02	*	Fig. 15 A
CoPo x INATT	23,35	24	0,50		
CoDy x TDAH	41,18	52	0,86		
CoDy x HI	32,53	32	0,44		
CoDy x INATT	27,19	32	0,71		
Cible à droite					
NoCo x TDAH	57,02	52	0,29		
NoCo x HI	29,10	32	0,61		
NoCo x INATT	39,23	32	0,18		
CoGé x TDAH	57,02	52	0,29		
CoGé x HI	26,42	32	0,74		
CoGé x INATT	39,23	32	0,18		
CoPo x TDAH	40,11	39	0,42		
CoPo x HI	24,65	24	0,43		Fig. 15 B
CoPo x INATT	18,65	24	0,77		
CoDy x TDAH	45,36	52	0,73		
CoDy x HI	15,54	32	0,99		
CoDy x INATT	34,45	32	0,35		

Tableau 4 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des deux mains a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont distinguées.

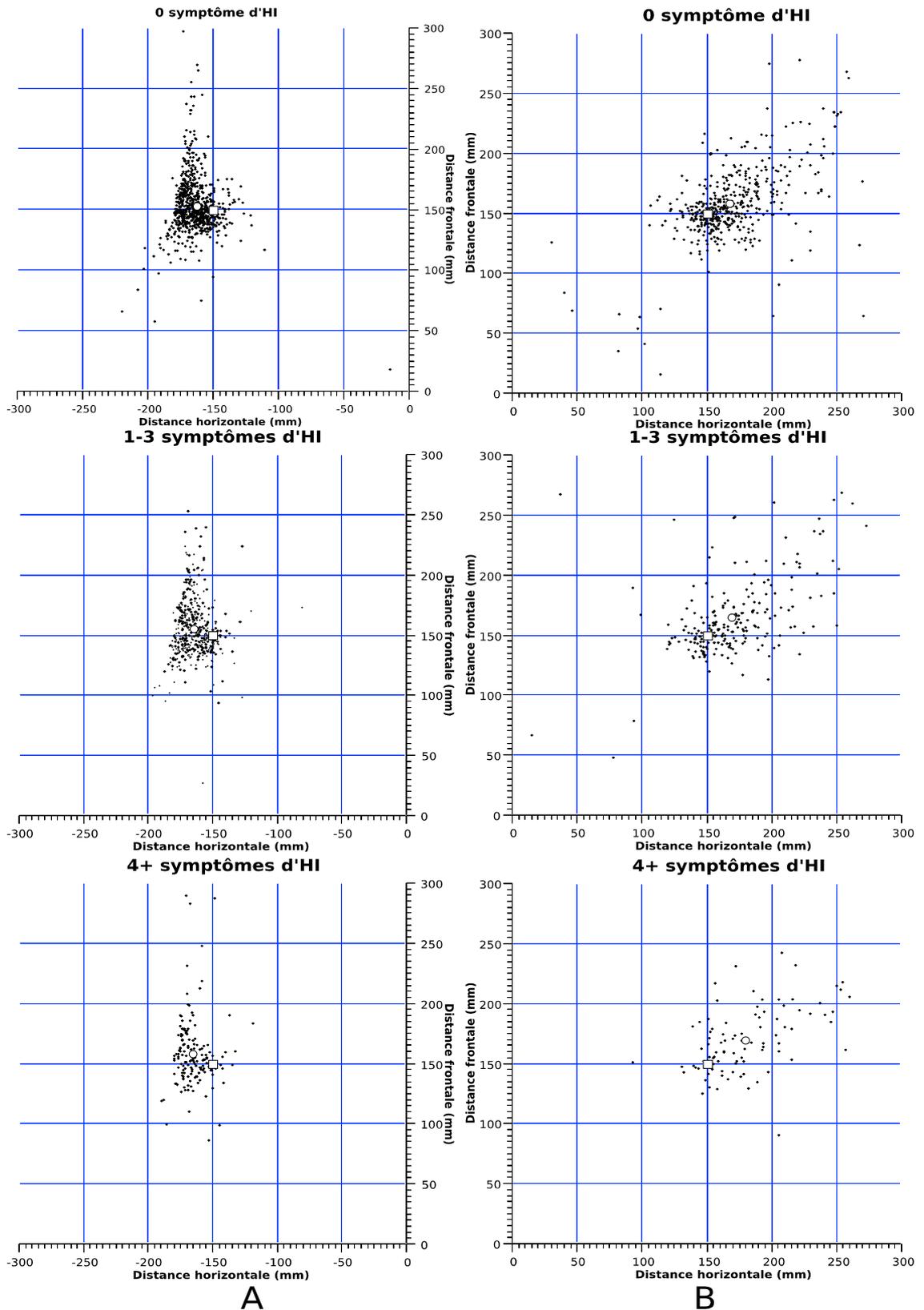


Figure 15 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage, par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne des positions est montrée par le cercle vide. La distance parcourue selon l'axe horizontal est indiquée en valeur absolue. **A** : Pour une cible à gauche, **B** : pour une cible à droite.

3.6 Effet conjoint de la latéralisation et de la position de la cible sur les relations taux de correction observée et nombre de symptômes relevés dans chaque dimension

Dans cette partie de l'analyse, l'effet de la latéralisation couplée à la position de la cible, a été contrôlée, aucun autre facteur n'ayant été distingué par ailleurs. Comme dans les tableaux précédents, les corrections de position sont uniquement reliées à l'hyperactivité-impulsivité lorsque la cible est à gauche. Par contraste cependant, les droitiers n'ont pas connu de relation significative avec l'inattention. Lorsque la cible est présentée à droite de la base cependant, l'ensemble des corrections se trouve plutôt corrélé à la dimension d'inattention, bien que chacun des types de correction à lui seul ne soit corrélé à aucun regroupement de symptômes d'inattention (Tableau 6).

Le déplacement de la moyenne de position de la première correction à mesure que les symptômes de TDAH sont nombreux est ici visible chez les gauchers lorsque la cible est présentée à gauche (Fig. 16A). Pour les droitiers, l'effet est moins net, mais tout de même visible également (Fig. 16B). Non seulement son éloignement par rapport à la cible augmente, mais il semblerait que l'impulsion initiale du mouvement, entre la base et l'endroit de la première correction, se fait de plus en plus éloignée de la diagonale base-cible, et le mouvement se fait de plus en plus horizontal, particulièrement chez les droitiers. En complément, le calcul de l'EQM (Écart quadratique à la moyenne) permettrait d'apprécier la courbure de la trajectoire.

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (p)	Significatif ?	Figure
Gauchers, cible à gauche					
NoCo x TDAH	25,03	24	0,40		
NoCo x HI	13,09	15	0,60		
NoCo x INATT	12,12	18	0,84		
CoGé x TDAH	25,02	24	0,40		
CoGé x HI	13,09	15	0,60		
CoGé x INATT	12,12	18	0,84		
CoPo x TDAH	41,51	24	0,01	*	Fig. 16 A
CoPo x HI	25,84	15	0,04	*	
CoPo x INATT	21,68	18	0,25		
CoDy x TDAH	15,39	24	0,91		
CoDy x HI	7,30	15	0,95		
CoDy x INATT	7,79	18	0,98		
Droitiers, cible à gauche					
NoCo x TDAH	47,64	52	0,65		
NoCo x HI	22,59	32	0,89		
NoCo x INATT	19,52	32	0,96		
CoGé x TDAH	47,64	52	0,65		
CoGé x HI	22,59	32	0,89		
CoGé x INATT	19,52	32	0,96		
CoPo x TDAH	66,94	39	0,00	*	Fig. 16 B
CoPo x HI	89,06	32	0,00	*	
CoPo x INATT	24,12	24	0,45		
CoDy x TDAH	40,73	52	0,87		
CoDy x HI	29,00	32	0,62		
CoDy x INATT	30,09	32	0,56		

Tableau 5 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des deux mains a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. La cible est toujours présentée à gauche de la base. La latéralisation est distinguée.

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (p)	Significatif ?
Gauchers, cible à droite				
NoCo x TDAH	27,04	32	0,72	
NoCo x HI	7,97	20	0,99	
NoCo x INATT	14,54	24	0,93	
CoGé x TDAH	27,04	32	0,72	
CoGé x HI	7,97	20	0,99	
CoGé x INATT	14,54	24	0,93	
CoPo x TDAH	24,19	16	0,09	
CoPo x HI	17,73	10	0,06	
CoPo x INATT	19,22	12	0,08	
CoDy x TDAH	17,62	24	0,82	
CoDy x HI	9,75	15	0,84	
CoDy x INATT	17,39	18	0,50	
Droitiers, cible à droite				
NoCo x TDAH	58,57	52	0,25	
NoCo x HI	21,98	32	0,91	
NoCo x INATT	46,58	32	0,046	*
CoGé x TDAH	58,57	52	0,25	
CoGé x HI	21,98	32	0,91	
CoGé x INATT	46,58	32	0,046	*
CoPo x TDAH	36,45	39	0,59	
CoPo x HI	19,26	24	0,74	
CoPo x INATT	17,56	24	0,82	
CoDy x TDAH	43,04	52	0,81	
CoDy x HI	16,82	32	0,99	
CoDy x INATT	30,16	32	0,56	

Tableau 6 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des deux mains a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. La cible est toujours présentée à droite de la base. Les latéralisations sont distinguées.

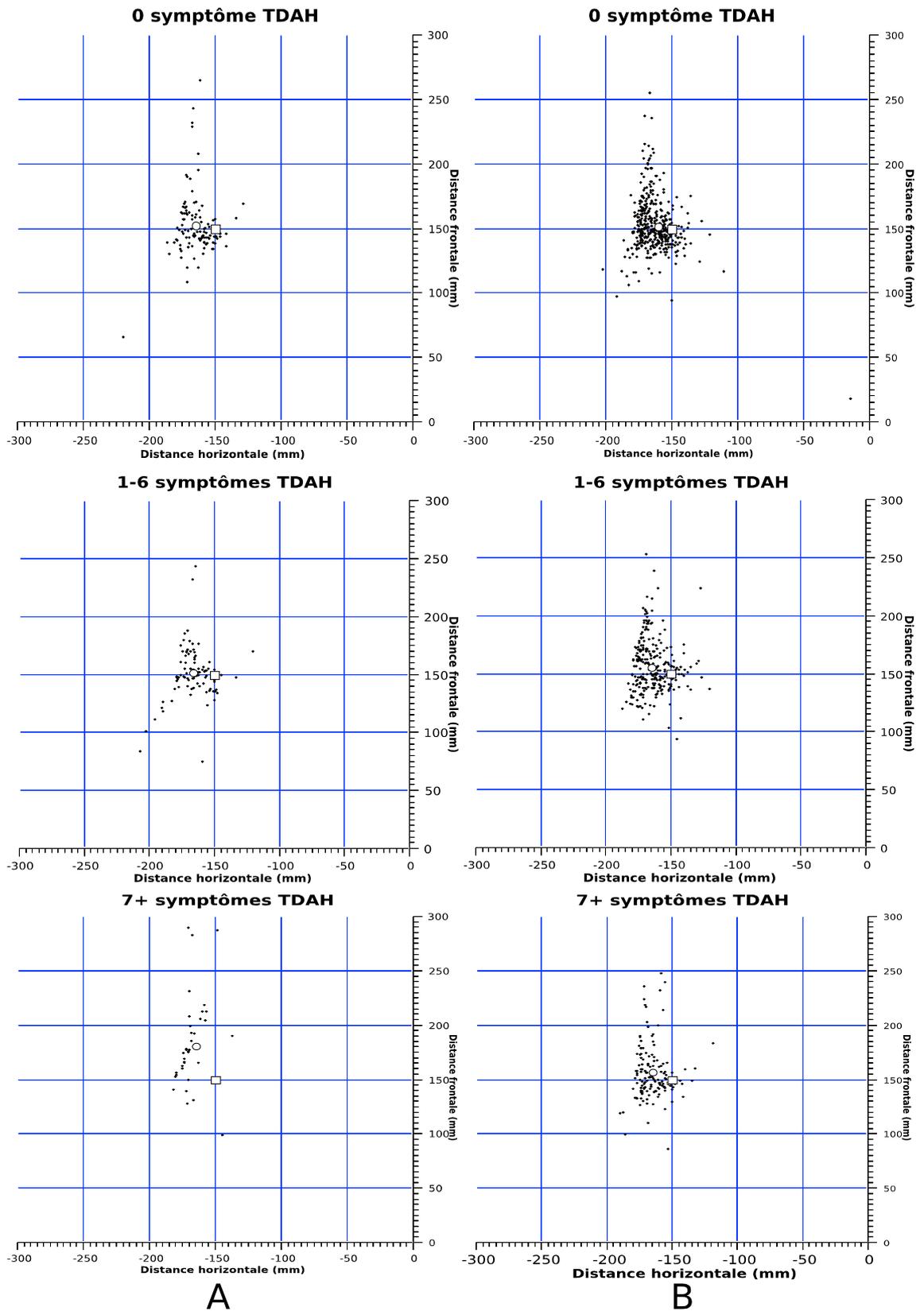


Figure 16 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage, par rapport au nombre de symptômes de TDAH. La cible est à gauche, et représentée par le carré vide, la moyenne des positions est montrée par le cercle vide.
A : Pour les gauchers ; **B** : pour les droitiers

3.7 Influence de la main utilisée et position de la cible sur les relations taux de correction observée et nombre de symptômes relevés dans chaque dimension du TDAH

Dans cette partie, l'effet de la main utilisée sur les relations a été estimé, séparément pour chaque cible, tous les autres facteurs étant confondus par ailleurs. Les résultats obtenus des deux tableaux précédents (Tableau 7 et 8) confirment ce qui avait été observé alors que les mains utilisées n'étaient pas distinguées. Le taux de correction de position est fortement lié à la présence de symptômes du TDAH, mais uniquement pour une cible à gauche, que le sujet utilise sa main gauche (Tab. 7, $CoPo \times TDAH$) ou sa main droite (Tab. 8, $CoPo \times TDAH$). Le lien entre correction de position de la main droite et inattention est également très fort, et très différent de la main gauche, ce qui est en accord avec les résultats présentés dans les tableaux 3 et 6.

Graphiquement, il y a peu de différence entre les distributions spatiales des corrections de position faites par les mains gauches (Fig. 17 A) et les mains droites (Fig. 17 B) pour un même nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité. Tout au plus peut-on remarquer une tendance, lorsque la main gauche est utilisée, à une correction moyenne plus alignée dans l'axe base-cible. Étant donné l'étalement particulier de la distribution spatiale des corrections, c'est une donnée à interpréter avec prudence.

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (p)	Significatif ?	Figure
Cible à gauche, main gauche					
NoCo x TDAH	66,03	52	0,09		
NoCo x HI	29,89	32	0,57		
NoCo x INATT	47,75	32	0,04	*	
CoGé x TDAH	65,86	52	0,09		
CoGé x HI	30,19	32	0,56		
CoGé x INATT	45,70	32	0,06		
CoPo x TDAH	102,12	52	0,00	*	
CoPo x HI	54,91	32	0,01	*	Fig. 17 A
CoPo x INATT	25,68	32	0,78		
CoDy x TDAH	49,21	52	0,58		
CoDy x HI	25,74	32	0,77		
CoDy x INATT	20,12	32	0,95		
Cible à droite, main gauche					
NoCo x TDAH	50,87	52	0,52		
NoCo x HI	36,44	32	0,27		
NoCo x INATT	28,58	32	0,64		
CoGé x TDAH	52,20	52	0,47		
CoGé x HI	36,33	32	0,27		
CoGé x INATT	29,13	32	0,61		
CoPo x TDAH	29,72	39	0,86		
CoPo x HI	18,76	24	0,76		
CoPo x INATT	17,53	24	0,83		
CoDy x TDAH	51,35	52	0,50		
CoDy x HI	28,34	32	0,65		
CoDy x INATT	23,90	32	0,85		

Tableau 7 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains gauche a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Gauchers et droitiers sont pris ensemble. Les cibles sont distinguées.

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (p)	Significatif ?	Figure
Cible à gauche, main droite					
NoCo x TDAH	45,28	52	0,73		
NoCo x HI	32,55	32	0,44		
NoCo x INATT	28,93	32	0,62		
CoGé x TDAH	45,91	52	0,71		
CoGé x HI	33,72	32	0,38		
CoGé x INATT	29,34	32	0,60		
CoPo x TDAH	97,54	52	0,00	*	
CoPo x HI	60,97	32	0,00	*	Fig. 17 B
CoPo x INATT	50,86	32	0,02	*	
CoDy x TDAH	61,19	52	0,18		
CoDy x HI	21,13	32	0,93		
CoDy x INATT	28,06	32	0,67		
Cible à droite, main droite					
NoCo x TDAH	58,22	52	0,26		
NoCo x HI	24,37	32	0,83		
NoCo x INATT	27,18	32	0,71		
CoGé x TDAH	58,54	52	0,25		
CoGé x HI	24,17	32	0,83		
CoGé x INATT	27,38	32	0,70		
CoPo x TDAH	51,23	52	0,50		
CoPo x HI	22,84	32	0,88		
CoPo x INATT	27,71	32	0,68		
CoDy x TDAH	55,38	52	0,35		
CoDy x HI	21,46	32	0,92		
CoDy x INATT	30,68	32	0,53		

Tableau 8 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des maines droites a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Gauchers et droitiers sont pris ensemble. Les cibles sont distinguées.

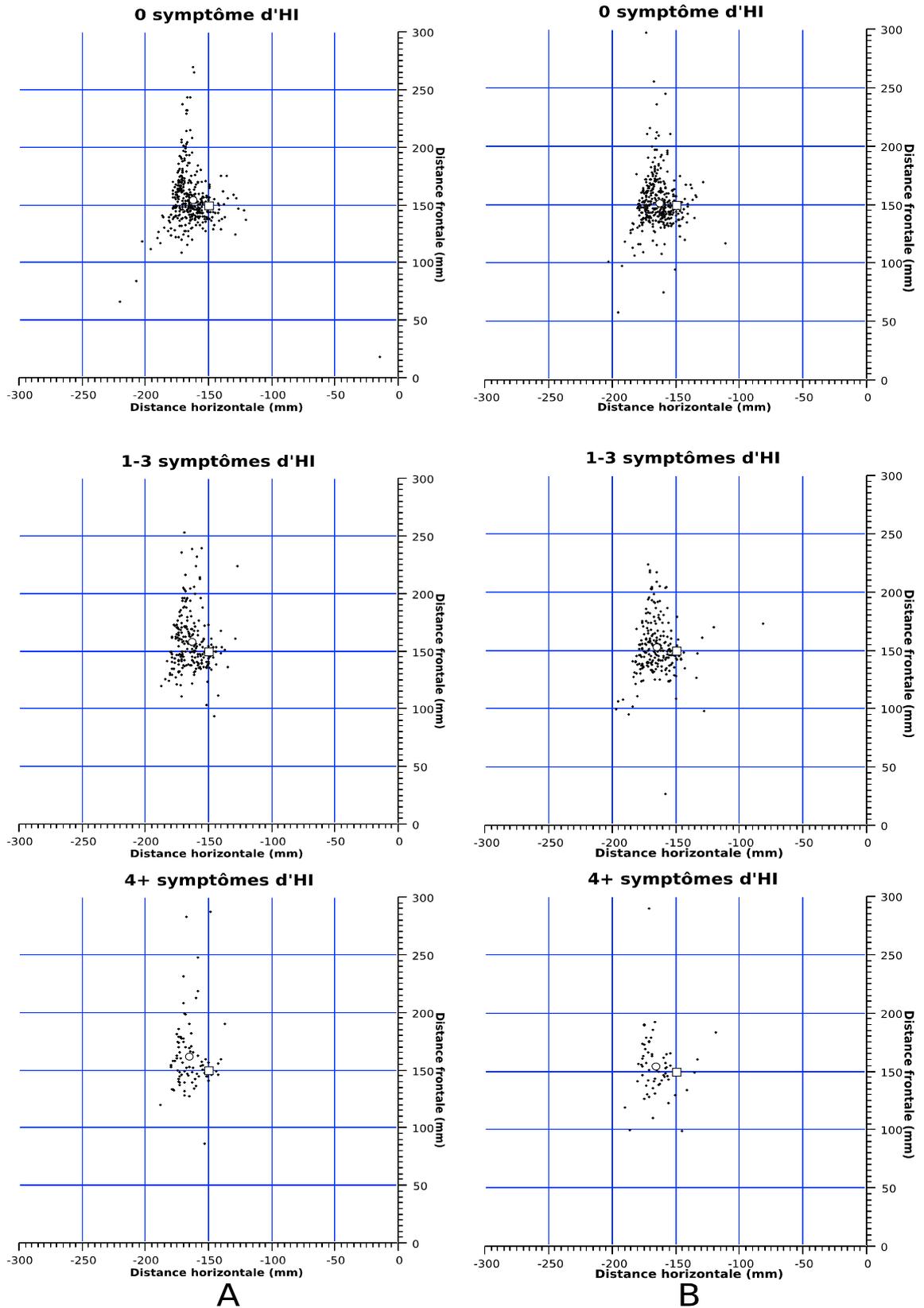


Figure 17 : Coordonnées des premières corrections de position de mouvements de pointage, par rapport au nombre de symptômes de TDAH. La cible est à gauche, et représentée par le carré vide, la moyenne des positions est montrée par le cercle vide.
A : Pour les mains gauches ; **B** : pour les mains droites

3.8 Influence de la latéralisation conjointement avec la main utilisée sur les relations taux de correction observée et nombre de symptômes relevés dans chaque dimension du TDAH

Cette section a été consacrée au test de l'effet combiné de la dominance manuelle et de la main utilisée sur la performance motrice. En comparant les deux tableaux précédents, on voit un lien clair entre le fait d'effectuer une tâche d'atteinte par sa main dominante, le nombre de symptômes d'HI, et l'incidence des corrections de position (Tableau 9 et 10, CoPo x HI, gauchers, main gauche et CoPo x HI, droitiers, main droite, respectivement), et l'on note toujours que la relation entre corrections de position et symptômes d'inattention s'ajoute à la précédente et n'apparaît significative qu'avec les mains droites (Tableau 10, CoPo x INATT, droitiers, main droite). Fait remarquable, ces deux relations ne sont significatives que lorsqu'elles sont prises séparément chez les droitiers utilisant leur main droite (Tableau 10, CoPo x *TDAH*, droitiers, main droite n'est pas significatif). À l'inverse, les gauchers utilisant leur main gauche voient une relation significative CoPo x *TDAH* (Tab. 9). Avec ces derniers, la combinaison CoPo x *INATT* est non significative (Tableau 9).

De façon similaire, la position moyenne de correction de position chez les gauchers travaillant avec leur main dominante semble avoir lieu sensiblement plus tard dès qu'ils révèlent plus de quatre symptômes d'hyperactivité-impulsivité (Fig 18 A), alors qu'il n'y a pas d'effet notable chez les droitiers (Fig 18 B). Cette observation correspond une fois de plus à ce qui est présenté dans le tableau 9 correspondant, bien qu'il n'y ait pas d'analyse numérique pour le prouver.

La même tendance à une grande variabilité de position est observée chez les gauchers travaillant de leur main droite (Fig. 20 A), mais pas chez les droitiers (Fig. 20 B), ce qui vient en opposition avec le résultat du tableau 10. Toutefois, il est possible, dans les deux cas, que le faible effectif de gauchers contribue à la variabilité observée.

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (p)	Significatif ?	Figure
Gauchers, main gauche					
NoCo x TDAH	32,61	32	0,44		
NoCo x HI	16,69	20	0,67		
NoCo x INATT	31,28	24	0,15		
CoGé x TDAH	32,61	32	0,44		
CoGé x HI	16,69	20	0,67		
CoGé x INATT	31,28	24	0,15		
CoPo x TDAH	42,27	24	0,01	*	
CoPo x HI	33,98	15	0,00	*	Fig. 18 A
CoPo x INATT	23,83	18	0,16		
CoDy x TDAH	23,73	32	0,85		
CoDy x HI	17,34	20	0,63		
CoDy x INATT	16,66	24	0,86		
Droitiers, main gauche					
NoCo x TDAH	36,88	52	0,94		
NoCo x HI	27,69	32	0,68		
NoCo x INATT	25,58	32	0,78		
CoGé x TDAH	36,88	52	0,94		
CoGé x HI	27,69	32	0,68		
CoGé x INATT	25,58	32	0,78		
CoPo x TDAH	62,26	52	0,16		
CoPo x HI	41,88	32	0,11		Fig. 18 B
CoPo x INATT	40,77	32	0,14		
CoDy x TDAH	42,69	52	0,82		
CoDy x HI	28,35	32	0,65		
CoDy x INATT	32,04	32	0,46		

Tableau 9 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains gauches a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont prises ensemble. Les latéralisations sont distinguées.

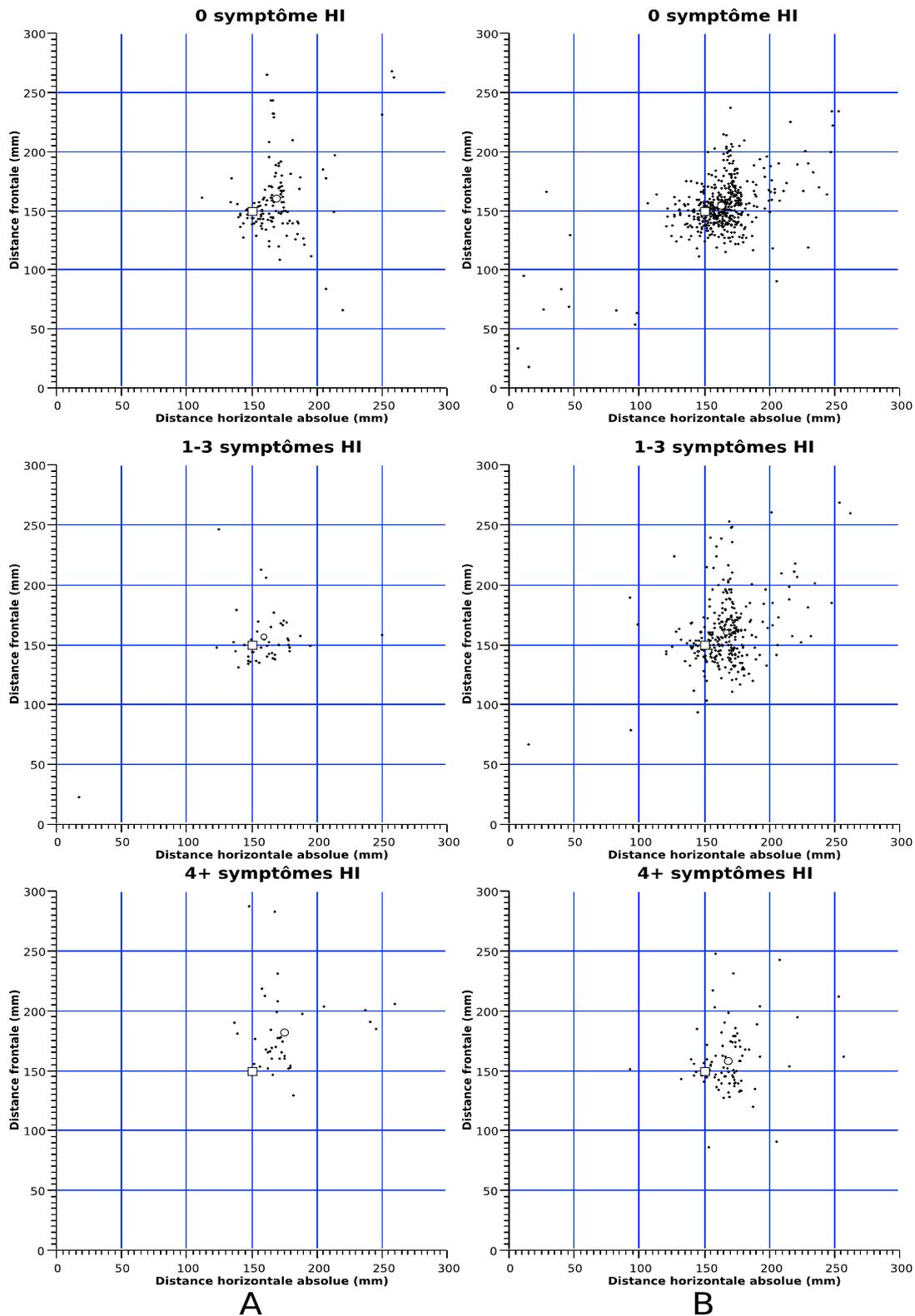


Figure 18 : Coordonnées absolues des premières corrections de position de mouvements de pointage par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité, selon les tracés effectués de la main gauche. Les deux cibles sont prises en compte. La cible est représentée par le carré vide, la moyenne absolue des positions est montrée par le cercle vide. La distance parcourue selon l'axe horizontal est indiquée en valeur absolue, **A** : Pour les gauchers ; **B** : pour les droitiers.

3.9 Influence de la latéralisation pour un seul côté de présentation de la cible sur les relations taux de correction observée et nombre de symptômes de chaque dimension du TDAH

Pour l'analyse finale, l'effet de chaque combinaison de main utilisée, de position de la cible et de latéralisation a été évalué séparément.

Vers une cible à gauche

Avec cette division la plus fine possible, il est possible de voir que le fait d'effectuer un mouvement corrigé vers une cible à gauche de la main gauche n'est significativement relié au nombre de symptômes de TDAH que pour les droitiers, sans que l'une ou l'autre des deux dimensions ne puisse expliquer ce phénomène. Cependant, parmi les gauchers, le lien avec le TDAH ou le HI n'est pas significatif, mais l'on remarque tout de même une forte tendance (Tableau 11, CoPo x TDAH, CoPo x HI). Pour ces mêmes gauchers, le lien envers le TDAH ne devient significatif que lorsque la main droite est utilisée, tandis que pour les droitiers, le lien entre corrections de position et le TDAH, l'hyperactivité-impulsivité, ou l'inattention reste hautement significatif (Tableau 12, CoPo x TDAH, CoPo x HI, CoPo x INATT).

Vers une cible à droite

Lorsqu'un mouvement est corrigé en pointant vers une cible à droite, sa relation avec le nombre de symptômes d'inattention et d'hyperactivité-impulsivité, pris séparément, est significative, mais uniquement pour les gauchers utilisant leur main non dominante (Tableau 13). Lorsque la main gauche est utilisée, tout comme lorsque les droitiers utilisent leur main dominante, il n'y a aucun lien notable (Tab. 14).

Parmi les gauchers

Les gauchers effectuant des mouvements de leur main non dominante voient apparaître une relation entre la présence de corrections de position et le nombre de symptômes de TDAH lorsqu'ils pointent vers une cible à gauche (Tableau 12), et, séparément, des deux dimensions HI et I, sans toutefois que la synthèse de ces deux dimensions ne devienne significative (Tableau 13). Par contre, il n'y aucune relation

entre l'un ou l'autre des types de corrections lorsque la main dominante est utilisée (Tableaux 11 et 14).

Parmi les droitiers

Chez les droitiers, la main utilisée ne semble pas avoir d'effet fort sur le lien entre corrections de position et l'une ou l'autre des dimensions du TDAH. Cependant, le fait de pointer vers une cible située à gauche révèle un lien significatif avec toutes les divisions du TDAH (Tableau 12), et seulement avec la dimension d'inattention lorsque la main non dominante est utilisée. Fait intéressant, le lien avec l'inattention est, dans ce cas, très fortement *non significatif*.

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (p)	Significatif ?	Figure
Gauchers, Main gauche, Cible à gauche					
NoCo x TDAH	39,83	32	0,16		
NoCo x HI	22,29	20	0,30		
NoCo x INATT	19,73	24	0,71		
CoGé x TDAH	38,38	32	0,20		
CoGé x HI	21,72	20	0,36		
CoGé x INATT	19,34	24	0,73		
CoPo x TDAH	35,19	24	0,07		
CoPo x HI	24,79	15	0,05		
CoPo x INATT	25,68	18	0,11		
CoDy x TDAH	31,57	32	0,49		
CoDy x HI	15,98	20	0,72		
CoDy x INATT	28,39	24	0,25		
Droitiers, Main gauche, cible à gauche					
NoCo x TDAH	54,34	52	0,39		
NoCo x HI	32,39	32	0,45		
NoCo x INATT	44,28	32	0,07		
CoGé x TDAH	54,20	52	0,39		
CoGé x HI	32,28	32	0,45		
CoGé x INATT	42,79	32	0,10		
CoPo x TDAH	85,40	52	0,00	*	Fig. 19 A
CoPo x HI	41,90	32	0,11		
CoPo x INATT	22,12	32	0,90		
CoDy x TDAH	49,39	52	0,58		
CoDy x HI	23,71	32	0,85		
CoDy x INATT	22,58	32	0,89		

Tableau 10 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des maines gauches a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont à gauche. Les latéralisations sont distinguées.

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (p)	Significatif ?	Figure
Gauchers, main droite, cible à gauche					
NoCo x TDAH	27,32	32	0,70		
NoCo x HI	11,76	20	0,92		
NoCo x INATT	22,19	24	0,57		
CoGé x TDAH	28,37	32	0,65		
CoGé x HI	13,05	20	0,88		
CoGé x INATT	23,04	24	0,52		
CoPo x TDAH	60,04	32	0,00	*	
CoPo x HI	27,43	20	0,12		
CoPo x INATT	14,00	24	0,95		
CoDy x TDAH	13,35	32	1,00		
CoDy x HI	8,88	20	0,98		
CoDy x INATT	10,87	24	0,99		
Droitiers, main droite, cible à gauche					
NoCo x TDAH	44,98	52	0,74		
NoCo x HI	33,36	32	0,40		
NoCo x INATT	37,97	32	0,22		
CoGé x TDAH	46,67	52	0,68		
CoGé x HI	34,75	32	0,34		
CoGé x INATT	38,85	32	0,19		
CoPo x TDAH	101,55	52	0,00	*	
CoPo x HI	99,75	32	0,00	*	Fig. 19 B
CoPo x INATT	61,06	32	0,00	*	
CoDy x TDAH	55,73	52	0,34		
CoDy x HI	21,18	32	0,93		
CoDy x INATT	25,75	32	0,79		

Tableau 11 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains droites a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont à gauche. Les latéralisations sont distinguées.

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (p)	Significatif ?
Gauchers, main droite, cible à droite				
NoCo x TDAH	27,89	32	0,67	
NoCo x HI	21,11	20	0,39	
NoCo x INATT	21,34	24	0,62	
CoGé x TDAH	327,89	32	0,67	
CoGé x HI	21,11	20	0,39	
CoGé x INATT	21,34	24	0,62	
CoPo x TDAH	25,38	16	0,06	
CoPo x HI	25,42	10	0,00	*
CoPo x INATT	25,61	12	0,01	*
CoDy x TDAH	26,47	32	0,74	
CoDy x HI	18,47	20	0,56	
CoDy x INATT	12,08	24	0,98	
Droitiers, main droite, cible à droite				
NoCo x TDAH	61,27	52	0,18	
NoCo x HI	23,33	32	0,87	
NoCo x INATT	30,93	32	0,52	
CoGé x TDAH	61,77	52	0,17	
CoGé x HI	23,51	32	0,86	
CoGé x INATT	31,06	32	0,51	
CoPo x TDAH	43,75	52	0,79	
CoPo x HI	26,64	43	0,73	
CoPo x INATT	28,16	32	0,66	
CoDy x TDAH	62,49	52	0,15	
CoDy x HI	20,58	32	0,94	
CoDy x INATT	29,12	32	0,61	

Tableau 12 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains droites a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont à droite. Les latéralisations sont distinguées.

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (p)	Significatif ?
Gauchers, main gauche, cible à droite				
NoCo x TDAH	38,28	32	0,21	
NoCo x HI	10,79	20	0,95	
NoCo x INATT	21,70	24	0,60	
CoGé x TDAH	38,28	32	0,21	
CoGé x HI	10,79	20	0,95	
CoGé x INATT	21,70	24	0,60	
CoPo x TDAH	22,70	24	0,54	
CoPo x HI	15,75	15	0,40	
CoPo x INATT	13,17	18	0,78	
CoDy x TDAH	34,05	32	0,37	
CoDy x HI	12,58	20	0,89	
CoDy x INATT	31,04	24	0,15	
Droitiers, main gauche, cible à droite				
NoCo x TDAH	51,80	52	0,48	
NoCo x HI	40,43	32	0,15	
NoCo x INATT	35,48	32	0,31	
CoGé x TDAH	53,31	52	0,42	
CoGé x HI	40,16	32	0,15	
CoGé x INATT	36,82	32	0,26	
CoPo x TDAH	38,22	52	0,92	
CoPo x HI	24,00	32	0,84	
CoPo x INATT	29,56	32	0,59	
CoDy x TDAH	43,30	52	0,80	
CoDy x HI	23,01	32	0,88	
CoDy x INATT	30,86	32	0,52	

Tableau 13 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains gauches a été mis en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont à droite. Les latéralisations sont distinguées.

Associations testées	χ^2 de Pearson	ddl	Importance statistique (<i>p</i>)	Significatif ?	Figure
Gauchers, main droite					
NoCo x <i>TDAH</i>	24,85	32	0,81		
NoCo x HI	7,60	20	0,99		
NoCo x INATT	14,37	24	0,94		
CoGé x <i>TDAH</i>	24,85	32	0,81		
CoGé x HI	7,60	20	0,99		
CoGé x INATT	14,37	24	0,94		
CoPo x <i>TDAH</i>	26,19	24	0,34		
CoPo x HI	18,98	15	0,21		Fig. 20 A
CoPo x INATT	14,79	18	0,68		
CoDy x <i>TDAH</i>	15,19	32	0,99		
CoDy x HI	13,79	20	0,84		
CoDy x INATT	14,25	24	0,94		
Droitiers, main droite					
NoCo x <i>TDAH</i>	60,91	52	0,19		
NoCo x HI	28,25	32	0,66		
NoCo x INATT	30,65	32	0,53		
CoGé x <i>TDAH</i>	60,91	52	0,19		
CoGé x HI	28,25	32	0,66		
CoGé x INATT	30,65	32	0,53		
CoPo x <i>TDAH</i>	61,76	52	0,17		
CoPo x HI	67,39	32	0,00	*	Fig. 20 B
CoPo x INATT	54,61	32	0,01	*	
CoDy x <i>TDAH</i>	45,01	52	0,74		
CoDy x HI	23,44	32	0,86		
CoDy x INATT	18,71	32	0,97		

Tableau 14 : L'ensemble des taux de premières corrections issus des mains droites ont été mises en relation avec les symptômes liés au TDAH. Les cibles sont prises ensemble. Les latéralisations sont distinguées.

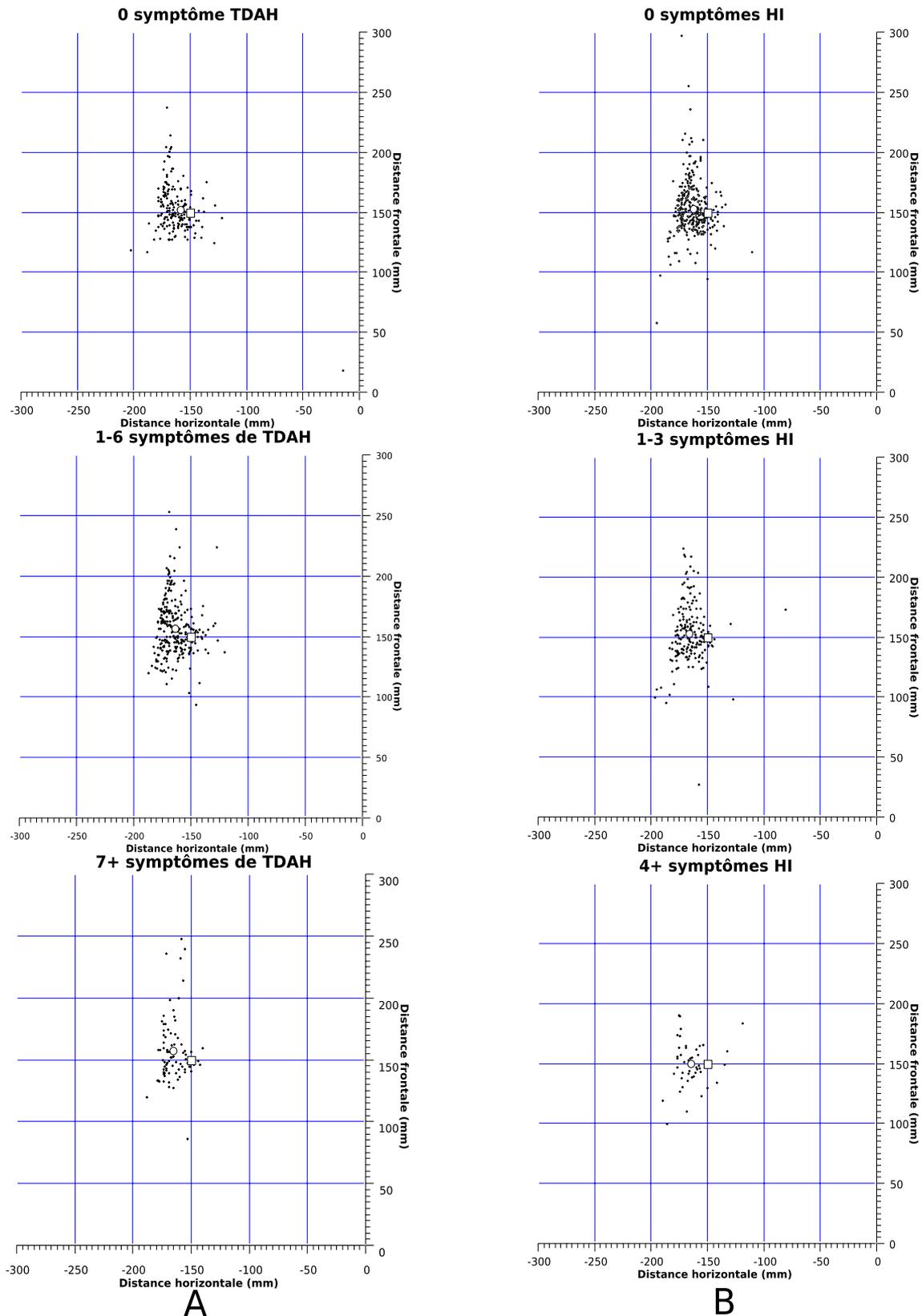


Figure 19 : Coordonnées absolues des premières corrections de position de mouvements de pointage, selon les tracés effectués par les droitiers, vers une cible à gauche. **A** : de la main gauche, par rapport au nombre total de symptômes de TDAH ; **B** : de la main droite, par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité

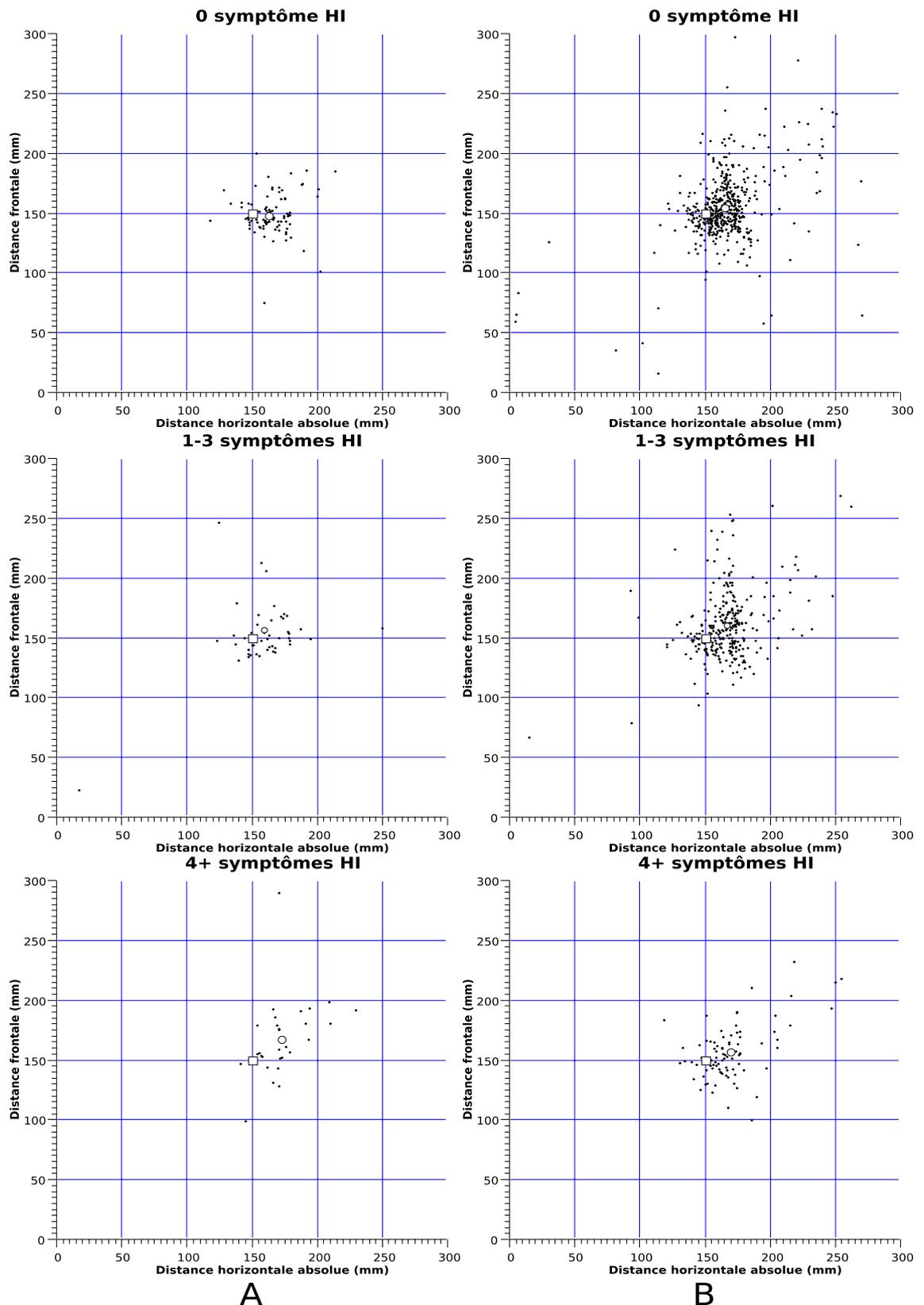


Figure 20 : Coordonées absolues des premières corrections de position de mouvements de pointage par rapport au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité, selon les tracés effectués par les gauchers vers une cible à droite. **A** : avec la main gauche ; **B** : avec la main droite.

Chapitre 4 – Discussion

Dans ce chapitre, il sera proposé d'expliciter les objectifs mentionnés dans l'introduction en ce qui concerne le lien existant entre l'évaluation symptomatique et la cinématique d'une tâche de pointage. En effet, il est largement reconnu que les patients atteints de TDAH démontrent des troubles moteurs parfois importants, sans que l'on sache exactement si cela constitue un symptôme en soi, au même titre que l'hyperactivité-impulsivité, ou la conséquence des symptômes d'inattention. Cependant, il faut retenir que ce projet n'est pas conçu pour répondre directement à ce questionnement, mais tout au moins, que la description contenue dans les résultats peut fournir une indication des mécanismes sous-jacents.

Dans un premier temps, l'ensemble des tendances seront rappelées, quels facteurs sont reliés à la performance motrice, quels sont ceux qui ne le sont pas. Ensuite, la discussion portera sur l'évaluation des symptômes, où la question de leur répartition pourra être abordée. Dans un second temps, la tâche elle-même sera discutée. Notamment, il sera question de savoir ce que celle-ci implique, en la comparant à d'autres tâches utilisées dans le même but. Dans un troisième temps, les relations trouvées seront mises en parallèle avec ce qui est rapporté dans des études précédentes. Une attention particulière sera portée aux études utilisant le même principe d'évaluation sous contrôle visuomoteur.

Tendances générales

L'ensemble des corrections n'est que très occasionnellement corrélé à l'incidence des symptômes de TDAH, et il faut distinguer les facteurs plus avant pour déceler des associations statistiquement significatives. Cependant, nombre d'auteurs mentionnent un lien entre TDAH et performance motrice à des tâches requérant un équilibre entre doigté et vitesse, à la fois pour des tâches fines, mais non spécialisées (Goulardins *et al.*, 2011 ; Lavasani & Stagnitti, 2011 ; Wang *et al.*, 2011) que pour l'écriture ou le dessin (Vaquerizo-Madrid *et al.*, 2004 ; Brossard-Racine *et al.*, 2011). De même, il n'y a pas de raison *a priori* de croire que l'absence d'un diagnostic formel basé sur ces mêmes symptômes inverse la tendance, étant donné que ce dernier est basé sur un nombre empiriquement déterminé de symptômes au-delà duquel on décèle des troubles moteurs, appuyé par plusieurs études. D'un autre côté, il faut

souligner que la plupart de ces dernières se basent sur l'atteinte d'un seuil délimitant deux catégories de sujets, les TDAH et les sujets non atteints, qui pourraient ressembler à l'échantillon de la présente étude, et montrent ainsi l'effet significatif d'une classification binaire (Accardo, 2008). Les sujets de la présente étude, pour près de la moitié d'entre eux, n'ont aucun symptôme. Par conséquent, on peut présumer que leur faible incidence n'a eu d'effet significatif (ou que cet effet soit inconstant) sur le résultat du test d'indépendance entre nombre de symptômes et performance motrice, et indirectement, validerait le seuil tel que déterminé empiriquement.

En divisant les *corrections par type*, on observe en premier lieu que les corrections dynamiques ne montrent aucune association avec les symptômes liés au TDAH, et en second lieu, que le taux de corrections de position de l'ensemble des sujets se trouve significativement lié au nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité, d'une part. C'est une tendance récurrente à mesure que les différents facteurs sont distingués, ce qui n'est pas sans piquer la curiosité, car elle indiquerait à première vue que le rôle de l'inattention n'est pas aussi important que prévu (Armstrong & Munoz, 2003 ; Piek *et al.*, 2004 ; Bellgrove *et al.*, 2005 ; Bezdjian *et al.*, 2009 ; Shih *et al.*, 2011). D'autre part, le taux de correction de position n'est fonction du nombre de symptômes d'inattention que chez les droitiers utilisant leur main dominante, ainsi que chez les gauchers utilisant leur main gauche (Wang & Sainburg, 2007). De plus, l'association est particulièrement robuste dans le cas de l'hyperactivité-impulsivité lorsque les gauchers utilisent leur main dominante.

Toutefois, il n'était pas attendu de trouver un effet aussi marqué de la *position de la cible*, et il sera délicat et superficiel de tenter d'expliquer cet effet, alors que l'utilisation des deux mains successivement aurait dû annuler le biais éventuel lié à l'inertie du bras ou à la latéralisation (Lhuisset & Proteau, 2004 ; Rommelse *et al.*, 2007). Il semblerait cependant, d'après des résultats récents, que le fait de diviser son attention entre deux mains pourrait mener à une performance motrice asymétrique, et ce, de façon prévisible (Buckingham *et al.*, 2011). Même si l'on pourrait penser que l'attention des sujets soit divisée entre les deux positions possibles d'apparition de la cible, la division d'attention n'a plus de raison d'être après que la cible soit apparue. Il faudrait, pour approfondir le sujet, distinguer les processus attentionnels impliqués dans la planification du mouvement de ceux impliqués dans son exécution, supposant qu'ils sont différents, ce qui irait directement à l'encontre de résultats issus d'études en IRMf chez les sujets normaux (Astafiev *et al.*, 2003).

L'observation des positions des premières corrections volontaires (Fig. 8, Fig. 11) mise en parallèle avec les relations calculées (Tab. 2) ne révèle pas grand effet de ces dernières sur la position de la première correction volontaire. La position moyenne de la première correction de position, globalement, tend à varier, généralement à s'éloigner de la cible à mesure que le nombre de symptômes d'hyperactivité-impulsivité augmente. C'est un résultat qui correspond à ce que l'on pourrait attendre, empiriquement, de la part d'enfants ayant de la difficulté à obéir immédiatement à un signal explicite (consigne orale) ou implicite (atteinte d'une cible, reconnaître une déviation de trajectoire) d'action comme un changement de direction ou un arrêt (Bezdjian *et al.*, 2009).

De plus, lorsque la cible est à gauche et que les mouvements de pointage sont effectués de la main droite par des droitiers, la position moyenne des premières corrections volontaires, de position ou dynamiques, est plus proche de la cible de gauche, contralatérale, que du côté droit, ce qui n'est pas sans rappeler la figure 2 de Gordon *et al.* (1994) (reproduite ici fig. 21) en dépit de l'usage d'angles de trajectoire différents de ceux de la présente étude, alors que tous leurs sujets étaient droitiers, et reproduite ici pour plus de commodité. Cette figure indique que le point d'arrêt du mouvement tend à être plus proche de la cible, légèrement avant la cible lorsque le mouvement est effectué de la main droite, contralateralement, alors qu'au contraire, lorsque le mouvement est ipsilatéral, l'erreur est la plus grande, et le point d'arrêt est au-delà de la cible. En cause, la plus grande inertie dans l'axe de l'avant-bras résulterait en une plus faible vitesse maximale atteinte, et donc, à une meilleure précision d'atteinte de la cible contralatérale, selon ces auteurs. Il est possible que l'inertie soit aussi responsable de l'entassement des premières corrections volontaires, légèrement plus grande vers la cible gauche que la cible de droite (Fig. 8). Leur unique résultat issu d'un sujet gaucher confirme que la distribution des erreurs est asymétrique suivant que la cible se trouve à gauche ou à droite, car cette dispersion dépendrait uniquement des caractéristiques biomécaniques du bras. En combinant les essais effectués de chaque main, l'ensemble des corrections suivrait donc une répartition symétrique. Ce n'est clairement pas ce qui a été trouvé ici où, même en combinant les essais dus aux mains gauche et droite vers des cibles à gauche et à droite, la cible gauche amène une plus grande dispersion, mais uniquement dans le plan perpendiculaire à la trajectoire (Fig. 10). Le fait que peu de sujets aient un nombre déterminé de symptômes pourrait, enfin, limiter les relations qu'il est possible de

démontrer à l'aide des données ici disponibles, et diminuer la puissance statistique des tests utilisés.

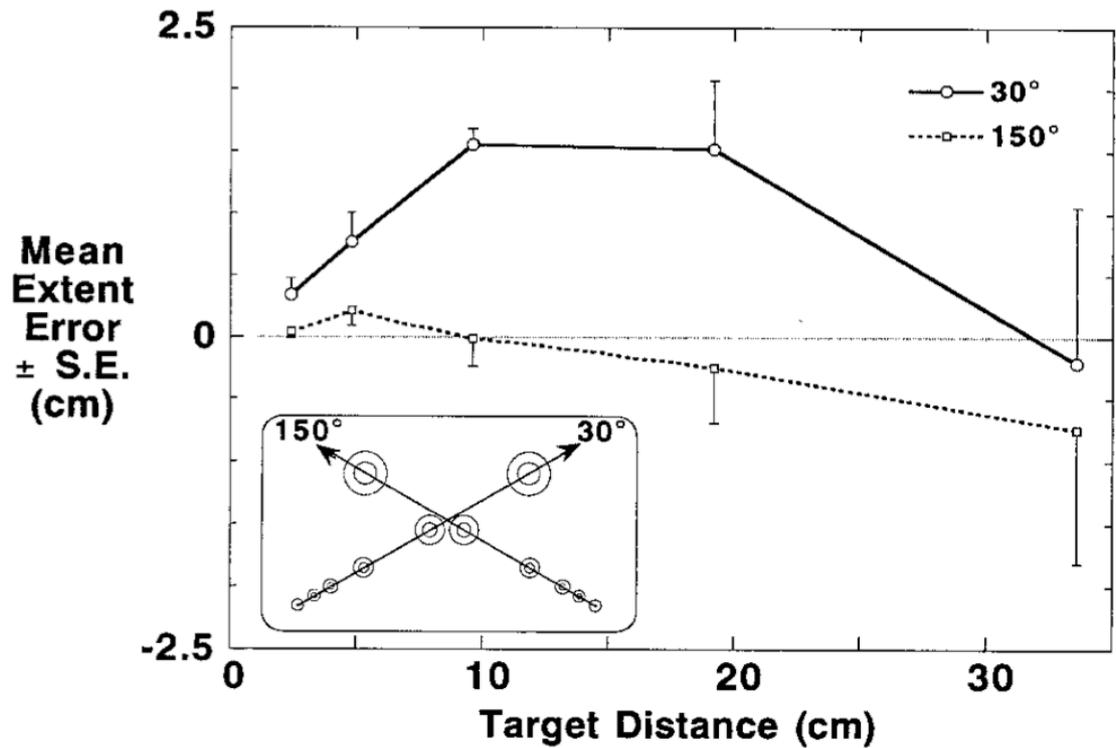


Figure 21 : Mean extent errors of five subjects (J.G., M.F.G., O.P., M.F., M.G.) as a function of target distance and direction. Data from an experiment in which subjects made movements to five targets in each of two directions. Error bars show standard errors of the means (Tiré de Gordon *et al.*, 1994)

Nombre de symptômes du TDAH

Dans un premier temps, les symptômes de chacun des sous-types de TDAH ont été dénombrés sans *a priori* sur le seuil clinique attendu, la population étant considérée non-clinique. En tant que telle, on ne peut pour autant pas l'assimiler comme représentative de la normalité pour les enfants du même âge. En premier lieu, certes le taux de latéralisation est celui attendu, à environ 17 % de gauchers (Oldfield, 1971), et la proportion de sujets effectivement atteints de TDAH correspondrait à celle attendue selon le DSM-IV-TR, de 3 à 5 % (Barkley, 2006), mais d'autre part, la sex-ratio n'est pas égale à 1, et le faible effectif de l'échantillon de chaque sexe ne donne pas non plus beaucoup de puissance statistique, considérant la prévalence relativement faible du TDAH relevée dans la documentation. Enfin, le sort de cette extrapolation est scellé par les facteurs extrinsèques que le projet n'a pas pris en compte, notamment la représentativité sociale de l'échantillon (Scott *et al.*, 2012) et la qualité du sommeil chez les enfants (Stein, 1999 ; Bastien *et al.*, 2008 ; Walters *et al.*, 2008 ; Brown, 2009 ; Tininenko *et al.*, 2010), l'influence de l'environnement, ainsi que par des facteurs intrinsèques tels que la zygote et l'histoire familiale (Polderman *et al.*, 2011 ; Whitley *et al.*, 2011). Cette étude n'a donc de valeur qu'indicative, tout au plus, et le groupe échantillon n'est pas représentatif d'une population normale, et ne peut non plus prétendre constituer un groupe contrôle.

Plutôt que de se fier à des questionnaires remplis par les parents et autre personnel en contact régulier avec les enfants, qui visent à poser un diagnostic binaire, les expérimentateurs ont utilisé une approche basée sur une entrevue semi-structurée passée avec les parents afin de laisser l'évaluation des symptômes entre les mains des cliniciens (Wender, 2004), et de poser aux parents des questions sans ambiguïté tout en leur laissant la possibilité de préciser, en leurs propres mots, ce qu'ils constatent (Accardo, 2008). En effet, l'une des principales critiques adressées aux méthodes d'évaluation traditionnelles basées sur des questionnaires est la subjectivité du parent chargé d'évaluer sa progéniture (Sayal & Goodman, 2009), ou de l'enseignant confronté à des difficultés avec l'élève, sans que celles-ci ne soient nécessairement reliées au TDAH, ou à des aspects différents du TDAH (Martin *et al.*, 2002 ; Hartman *et al.*, 2007). Une autre critique adressée par les mêmes auteurs est le taux de correspondance relativement faible entre l'évaluation faite par les parents et celle effectuée par les enseignants, qui pourrait découler, justement, de la subjectivité

des critères du DSM-IV, très orientés vers le comportement à l'école, et qui peuvent facilement ne pas se distinguer une fois l'enfant rendu à la maison, particulièrement quand l'enfant ne présente que des symptômes faibles (Lahey *et al.*, 1987 ; Wolraich *et al.*, 2004 ; Gomez, 2007).

D'autre part, le seuil diagnostique, établi empiriquement, facilite certes le travail du clinicien entraîné, mais pose toujours la question de sa robustesse et de sa granularité, nécessairement plus importante dans le cas d'une population sous-clinique. En soi, la présence d'un seuil n'est pas significative, d'un point de vue de contrôle moteur, qui est plus adéquatement représenté, en situation physiologique, par un continuum, de normal à pathologique. De même, la graduation de l'inattention chez les sujets atteints a reçu quelques critiques remettant en question son applicabilité à une catégorisation binaire du trouble (Nigg, 2001). Ainsi se place l'idée de base constituant à compter le nombre absolu de symptômes et, s'il avait été possible, leur pondération respective, plutôt que la présence ou l'absence d'un trouble étant donné que l'échantillon étudié est en grande partie non TDAH. En contrepartie, bien qu'il soit adroit et nécessaire d'avoir éliminé l'une des critiques faites aux manuels de référence tout en évitant l'écueil de laisser des gens sans expérience clinique remplir le questionnaire, il manque toutefois un comptage normatif des symptômes qui soit tiré d'une population normale qui nous aurait permis de comparer les résultats obtenus, et d'éliminer l'une des limites de cette étude, à savoir de n'avoir pas pu utiliser la pondération plus fine de chacun des symptômes. Une telle évaluation aurait pu éclaircir la forme de la relation entre les symptômes et les corrections relevées, le cas échéant. Cependant, étant donné l'absence de lien clair et fiable entre le nombre de symptômes et les perturbations motrices, on ne peut présumer que ces deux variables sont liées d'une quelconque façon identifiable, et certainement pas linéaire. À titre d'exemple, l'on peut citer les patients atteints de la maladie de Parkinson, qui ne présentent aucun signe évident de troubles moteurs à moins d'avoir perdu environ 80 % de leurs neurones dopaminergiques (Fearnley & Lees, 1991 ; Koller & Montgomery, 1997 ; Braak *et al.*, 2003 ; Maetzler & Hausdorff, 2012).

À première vue, la distribution du nombre de symptômes ne semble pas suivre une courbe normale, alors que plus de la moitié des sujets ont un nombre de symptômes égal à zéro. Cependant, un test de normalité adapté aux faibles échantillons semblerait indiquer que la distribution du nombre de symptômes est

effectivement normale parmi les sujets. À cela, deux hypothèses : soit l'on considère que l'échantillon évalué n'est pas représentatif de la population, auquel cas le test de normalité n'a pas de valeur déclarative, mais indicative, soit l'on présume que, puisqu'il a été choisi pour son adaptabilité à de faibles échantillons, le test de normalité est trop permissif. D'une part, ce projet n'ayant pas pour but d'évaluer la pertinence du calcul de normalité, il sera présumé que le calcul numérique est exact, en dépit de la forme trompeuse du graphique correspondant, et donc, que la distribution des symptômes parmi l'échantillon étudié est effectivement normale. D'autre part, le test statistique d'indépendance retenu est non paramétrique, et donc ne requiert pas de normalité.

Tâche de pointage

Corrections du mouvement

Les profils cinématiques

En observant quelques tracés bruts des mouvements de pointage effectués, il n'a pas toujours été possible de déceler à l'œil nu les corrections. Une décomposition cinématique était de rigueur, et s'est avérée beaucoup plus révélatrice, une méthode qui s'est déjà révélée adéquate dans beaucoup d'études précédentes, dans le plan (Burdet & Milner, 1998 ; Bédard & Proteau, 2004) comme dans l'espace (St-Onge & Feldman, 2004). Si nombreux sont les auteurs qui ont utilisé les profils cinématiques pour détecter les sous-mouvements, nous n'en avons pas de définition précise au moment d'établir le protocole. Compte tenu de cette limite, il est possible d'apposer cette appellation à deux échelles, l'une cinématique, l'autre temporelle.

Empiriquement, il semble séduisant de croire qu'une correction de position soit plus « flagrante » d'un point de vue cinématique qu'une correction « dynamique », ce que semblent prouver, du moins en partie, la forme des tracés bruts ; en effet, lorsque qu'une correction « de position » se produisait, c'était très souvent en fin de mouvement, ce qui est très flagrant sur les graphiques plaçant la moyenne de la première correction. Mis en parallèle avec les tracés bruts correspondants (non montrés), le tracé prenait très souvent la forme d'un « crochet » à la fin de la trajectoire (Burdet & Milner, 1998 ; Rohrer & Hogan, 2003 ; Eliasson *et al.*, 2004). Après l'obtention des résultats, une étude antérieure portant sur l'utilisation de sous-

mouvements dans le contrôle des mouvements rapides de la main a été retrouvée, qui mentionne deux types de sous-mouvements définis objectivement selon les tracés cinématiques. D'une part, ceux prenant place dans la même direction que l'impulsion initiale, et d'autre part, ceux inversant la direction du mouvement initiale, identiques aux définitions ici adoptées, respectivement, de « correction dynamique » et « correction de position » (Novak *et al.*, 2000, 2002). Toutefois, ces auteurs n'ont pas catégorisé les sous-mouvements de la même manière qu'ici, alors que nos deux catégories de corrections sont déterminées sur l'ensemble des essais formés par leurs catégories « primary movement with overlapping submovement » et « single primary movement with delayed submovement ». La proportion des mouvements de pointage répondant aux critères de cette dernière catégorie n'est pas connue, dans notre cas ; il est donc difficile de distinguer les processus impliqués dans chaque cas .

Alternativement, compte tenu de l'installation expérimentale, il est impossible d'exclure que cette forme particulière en « crochet » en fin de mouvement reflète un artefact lié à la combinaison de la consigne, intrinsèquement contradictoire, d'effectuer un mouvement « aussi rapide et précis que possible », sur une surface qui ne permet pas à tous les phénomènes physiques normaux d'avoir lieu. En conditions naturelles, un mouvement d'atteinte naïf, qui devrait être rapide pour atteindre un objet, devrait s'attendre à évaluer le poids et la taille de sa cible, sinon son inertie, utilisant ces paramètres physiques pour ralentir les mouvements initiés subséquents (Wing *et al.*, 1996). Un modèle de mouvement rapide de la main incorporant un facteur d'amortissement non linéaire a été développé, et expliquerait les résultats de Novak *et al.* (2000) ; ce même modèle pourrait entrer en jeu dans l'observation de nos tracés cinématiques (non montrés) (Feldman, 1986). La forme asymétrique du manipulandum laisse supposer une anisotropie extrinsèque au bras que le sujet pourrait ne pas compenser pleinement, si l'on considère par ailleurs que la friction de la table est uniforme. La méthodologie adoptée ici explicitant déjà ce prérequis, d'une part, et donc seules les lois régissant le mouvement du bras s'appliquent, et seulement une partie de celles régissant la réaction de l'objet utilisé pour le pointage, le cas échéant. D'autre part, il y a eu dix essais de pratique pendant lesquels l'enfant est présumé avoir intégré les paramètres intrinsèques au manipulandum ; cependant, ne pas avoir de vision directe de la forme du manipulandum a pu gêner cette intégration en un modèle interne par le cervelet (Shidara *et al.*, 1993 ; Imamizu & Kawato, 2010).

A priori, la friction n'explique pas la différence de répartition des premières corrections entre la cible gauche et droite, et les modèles communément admis et appuyés de données probantes de Gordon et Dounskaia impliquent une différence de répartition liée à la biomécanique du bras (Gordon, Ghilardi, Cooper, *et al.*, 1994 ; Goble *et al.*, 2007) ; leur hypothèse ne semble pas trouver application ici, étant donné que la différence persiste lorsque les deux mains sont utilisées successivement et que les résultats sont combinés, au lieu de s'annuler.

Bien que la méthode d'enregistrement et analyse ait été fournie par Proteau, ce dernier ne fait pas état d'une telle forme de tracés dans ses propres études ; toutefois, contrairement à elles, la différence majeure de la présente est le critère servant à déterminer la fin du mouvement, qui n'est pas l'atteinte de la cible, premièrement parce qu'il n'était pas garanti que celle-ci, petite, puisse être atteinte au sens strict du terme, mais devait donc, deuxièmement, se fier à l'atteinte d'un critère de vitesse qui serait très bas sans être nul (Bédard & Proteau, 2004 ; Lhuisset & Proteau, 2004 ; Proteau *et al.*, 2009), contrairement à d'autres auteurs (Teasdale *et al.*, 1993 ; Eliasson *et al.*, 2004). Les déviations de trajectoire observées en fin de mouvement pourraient donc, dans plusieurs cas, ne pas représenter des corrections volontaires comme telles, mais des oscillations normales en fin de mouvement. Considérant le mode de classement exclusivement manuel des corrections, il n'est pas possible de savoir quelle proportion des corrections de position pourrait être issue de cet artefact, plutôt que des symptômes de TDAH en eux-mêmes.

Une autre hypothèse est avancée par Gordon *et al.* (1994), à savoir que la raideur de l'articulation du poignet, ici non mesurée ou éliminée par l'installation expérimentale, pourrait augmenter la dispersion des premières corrections volontaires observée lorsque la cible est à droite en raison de l'amplification du mouvement au niveau du poignet, et, par extension, que la variabilité observée lorsque la tâche est effectuée vers une cible à droite ne soit pas le résultat des symptômes de TDAH, mais de la variation normale due aux mouvements non évalués de cette articulation. Pour une cible à gauche atteinte par la main droite, la distribution des points de premières corrections dans l'axe de la trajectoire est plus compacte, ce qui semblerait confirmer cette hypothèse (Fig. 9). Toutefois, les articles ayant évalué les couples intersegmentaires mentionnent, explicitement ou implicitement, que la contribution du poignet à un mouvement d'atteinte reste habituellement minimale (Gordon, Ghilardi, &

Ghez, 1994 ; Galloway & Koshland, 2002 ; Dounskaia, 2005, 2010 ; Wang & Sainburg, 2007).

L'on peut également considérer l'échelle temporelle, ce qui s'accorde bien avec les deux phases du mouvement que sont la planification et l'exécution. Dans ce cas, l'éventuelle correction « dynamique » se produirait toujours avant la correction « de position », s'il en existe une, et c'est ce que la comparaison des figs. 9 et 10 laisserait penser, alors que les corrections dynamiques ont largement lieu avant l'atteinte de la cible, contrairement aux corrections de position, en moyenne apparaissant après l'atteinte de la cible. Cependant, les deux types de corrections ont eu lieu lors de l'exécution du mouvement, puisque l'on suppose que la phase de planification est réduite par le modèle de tâche prévu, où la disponibilité de la vision tend à augmenter le recours aux corrections volontaires, discrètes, après l'occurrence du pic de vitesse de l'impulsion initiale (ou mouvement principal) (Khan *et al.*, 2002). La conception de cette étude ne permet cependant pas de déceler la présence de plusieurs corrections successives, sachant d'une part que l'on suppose que celles qui sont faites plus tôt au cours du mouvement seraient davantage sous influence de l'inattention, et les corrections plus tardives, sous influence de l'hyperactivité-impulsivité (hypothèse posée), et que d'autre part, la majorité des pointages comportant un sous-mouvement en contiennent plus d'un (Novak *et al.*, 2002). Le modèle de contrôle moteur proposé ne fait pas non plus état d'un traitement différencié des corrections au cours du temps de mouvement. La présente étude est donc limitée par le fait qu'elle ne prend en compte que la première des corrections éventuelles ayant lieu en cours de mouvement, et donc ignore une grande partie des données, en raison de décisions stratégiques des expérimentateurs. Ainsi, il n'est pas possible d'évaluer, chez un même sujet, systématiquement pour chaque mouvement, l'influence des facteurs liés à ces deux dimensions, si l'hypothèse d'une influence différenciée sur chaque type de correction était acceptée.

Les relations significatives entre corrections et symptomatologie du TDAH devront de fait être interprétées avec prudence. Dans de nombreux cas, des sous-mouvements étaient visibles sur les profils cinématiques classés (données non représentées), mais ne respectaient pas la condition temporelle de la durée de correction (120ms). Il semblerait donc que l'étude de telles tâches de traçage doive prendre en compte tous les paramètres du modèle de contrôle moteur, et qu'un autre mécanisme, non dépendant du *feed-back* visuel, puisse entrer en jeu, comme

l'implication plus importante qu'initialement appréhendée de la proprioception, particulièrement pour les essais significatifs faits de la main non dominante, tant d'un point de vue expérimental (Lhuisset & Proteau, 2004) que de modélisation (Shadmehr & Krakauer, 2008). D'autres suggèrent que le contrôle visuel est continu peu importe les circonstances, bien que son influence ne soit perceptible que plus tard. En ce sens, il est possible que le comptage des corrections ne reflète que partiellement l'anormalité de processus physiologiques (Khan *et al.*, 2002, 2006 ; Proteau *et al.*, 2009).

Parallèlement, ces deux mécanismes visant à corriger le mouvement se retrouvent également en conditions physiologiques, alors que les mains dominante et non dominante semblent respectivement spécialisées dans le contrôle dynamique et positionnel du mouvement, dans les tâches bimanuelles (Goble & Brown, 2008) comme dans les tâches unimanuelles (Wang & Sainburg, 2007). Les auteurs de ces études laissent donc entendre que les hémisphères cérébraux auraient une latéralisation fonctionnelle, reflétant la spécialisation des mains dominantes et non dominantes. Cette supposition expliquerait la différence de distribution des premières corrections (comparer fig. 8 et 9), ainsi que de leurs types (Tab. 2).

Relation entre corrections et nombre de symptômes du TDAH

Influence de la tâche sur le type de correction observé

Seule l'hyperactivité-impulsivité, dans la présente étude, semble être reliée au taux de correction, sans pour autant révéler de lien de causalité. La première explication résiderait dans le design de la tâche elle-même : celle-ci est peu susceptible de se laisser influencer par l'inattention des sujets, parce qu'il est reconnu que les enfants atteints de TDAH peuvent ne pas démontrer de symptômes dans toutes les situations, spécialement dans celles qui présentent un intérêt de par leur nouveauté. Pour cette raison, le DSM-IV-TR (2000) indique qu'il n'est pas nécessaire que seul le clinicien observe les symptômes du TDAH, son cabinet ou même sa présence pouvant être des raisons suffisantes de se tenir tranquille, pour un sujet qui ne présenterait que quelques symptômes hors de ce contexte.

À l'inverse, si l'on se fie aux théories de Douglas, il est possible que la tâche demandée provoque une perte graduelle d'attention due à la fatigue et à la répétition

monotone. Selon cet auteur, l'inattention serait la dimension centrale du trouble, alors qu'hélas, elle serait aussi la plus labile ; Pitcher *et al.* (2003) ont également trouvé que les enfants de sous-type TDAH-C et TDAH-I avaient une dextérité manuelle inférieure à celle des sujets contrôle et des TDAH-HI, et que ces derniers, bien que présentant un effet subtil, n'étaient pas significativement affectés dans leur motricité fine. La notion d'atteinte du seuil clinique, en ce qui a trait à l'hyperactivité-impulsivité, pourrait être un facteur rendant moins sensible la perception du trouble. Même en considérant que les sujets prédominamment inattentifs puissent présenter quelques symptômes d'hyperactivité-impulsivité, il est ainsi moins étonnant de constater que l'échantillon ici présenté n'atteint pas le seuil de significativité tout en restant très proche ($p > 0,05$). Les mêmes auteurs avancent justement que le test utilisé dans leur cas pourrait ne pas être assez sensible pour tenir compte de différences dans le procédé visuomoteur, tout comme l'utilisation de variables composites. L'équipe Rommelse *et al.* (2007), quant à elle, fait brièvement remarquer que leur méthode d'enregistrement n'a pas été validée en tant que tâche motrice, une critique que l'on peut également adresser à la méthode ici utilisée, bien qu'elles révèlent, jusqu'à un certain point, les déficits moteurs.

Influence de la main utilisée pour les mouvements de pointage

Comme l'étude de Rommelse *et al.* (2007), les résultats ici présentés montrent un déficit clair de la motricité lorsque la tâche est effectuée de la main gauche (comparer les résultats avec les figs. 1 et 2 de Rommelse *et al.*, 2007). Précision supplémentaire par rapport à leur étude, il semble que seule l'hyperactivité-impulsivité soit associée aux corrections de position de façon significative. En synthétisant ces deux données, il est possible que les déficits neurofonctionnels se situent dans les fonctions contrôlant la motricité dans l'hémisphère droit, impliquant possiblement les processus conjoints d'attention et de contrôle du mouvement par le système dopaminergique (Taylor, 1986). Il faut toutefois pondérer cette affirmation en tenant compte des propriétés biomécaniques du bras : en effet, un mouvement ipsilatéral doit vaincre moins d'inertie de l'avant-bras qu'un mouvement contralatéral, et le mouvement serait ainsi plus facile à planifier et à contrôler, les couples intersegmentaires étant moins importants (Gordon, Ghilardi, Cooper, *et al.*, 1994 ; Goble *et al.*, 2007). Alternativement, il est probable que la pratique, plus importante avec la main droite dans le quotidien des enfants, même gauchers, contribue, au

moins partiellement, à gommer leur faible performance. Bien que valides, ces prédictions n'ont pas été vérifiées directement dans les données de la présente étude.

Relation entre position de la correction et nombre de symptômes du TDAH

Limites techniques à l'interprétation de la latéralisation

L'observation de la répartition spatiale des premières corrections volontaires (Fig. 8), peu importe la main utilisée, révèle une répartition concentrée, arquée, convexe, lorsque la cible est à 135° et que le mouvement dépasse la cible d'environ 2 cm. Cet effet est visible, peu importe la main utilisée ou les facteurs distingués. Tous les graphiques présentant la position des positions de correction révèlent cette distribution arquée, approximativement perpendiculairement à l'axe de la trajectoire. Il n'a pas été possible de présumer d'une cause autre que celle de l'artefact dû à l'installation expérimentale elle-même, bien qu'il n'ait pas été possible d'essayer l'appareillage afin de vérifier cette présomption. L'on pense que la disposition du bras articulé fait en sorte qu'il génère un couple non négligeable lors de manœuvres brusques, ou que l'articulation fixe du bras ait été le lieu de frottements importants, ou inégaux affectant la forme de la distribution des premières corrections. Il faut reconnaître que la distribution des corrections lorsque la cible est à 45°, est plutôt elliptique, comme pour les sujets normaux (Gordon, Ghilardi, Cooper, *et al.*, 1994).

Influence de la position de la cible

D'un côté, la lecture des auteurs antérieurs (Friedman-Hill *et al.*, 2010 ; Johnson *et al.*, 2010) nous apprend que, parmi les individus à développement normal, une plus grande attention était portée à l'hémichamp visuel gauche. De ce fait, les mouvements seraient plus précis lorsqu'effectués vers la gauche (Wang & Sainburg, 2007). On peut déduire par là que l'hémisphère droit est plus impliqué dans les processus attentionnels, ce qui est confirmé par les études effectuées avec des patients ayant subi un AVC dans le lobule pariétal de cet hémisphère, ces derniers démontrant une héminégligence côté gauche. Ces auteurs avançaient comme hypothèses que la difficulté spatiale serait accentuée lorsque le mouvement devrait être fait vers la gauche, d'une part, et que la difficulté serait temporelle, vers une cible à droite, d'autre part. Contrairement à ces hypothèses, il semblerait que, du côté des individus atteints de TDAH de leur échantillon, la difficulté soit, dans la présente,

exacerbée lorsque la cible est placée à droite, creusant ainsi la différence entre une performance motrice relativement peu affectée du côté gauche, mais particulièrement dégradée du côté droit. Dans la présente étude, les résultats trouvés sur une population sous-clinique ne sont pas en accord avec les précédents, et reviennent à ce qui a été détecté par les auteurs antérieurs à Johnson *et al.* (2010). En effet, le taux de correction lorsqu'une cible est présentée à gauche ne présente aucune relation avec l'une ou l'autre des deux dimensions du TDAH, alors que lorsque la cible est à 135°, le taux de corrections des mouvements de pointage est significativement lié à l'hyperactivité-impulsivité, mais pas à l'inattention. Il est possible que la classification des corrections de mouvements ne traduise pas correctement cette différenciation attentionnelle selon les hémichamps visuels. La question reste non résolue lorsqu'on rappelle les résultats obtenus pour les membres inférieurs par Aglioti *et al.* (1991).

Une cible placée à droite voit également une grande variabilité de mouvements de pointage, liée séparément à chacune des dimensions du TDAH, mais uniquement pour les gauchers utilisant leur main droite. L'interprétation de ce phénomène semblerait être particulièrement complexe, et impliquerait à la fois le contrôle prédominairement statique du bras non dominant (Lhuisset & Proteau, 2004) et l'inertie du bras.

De l'autre côté, il est aussi probable que l'artefact évoqué plus haut joue un rôle plus ou moins important dans la forte relation observée entre l'incidence des corrections de position et les symptômes de TDAH, seulement lorsque la cible est placée à 135°, peu importe la main utilisée ou la latéralisation distinguée. Aucune théorie ni article ne fait référence à la possibilité d'une telle déviation, et il n'est pas possible de discriminer, en l'état actuel, l'artefact d'une effective différenciation attentionnelle issue de la condition étudiée.

Conclusion

Compte tenu des limites présentées en introduction, cette étude donne tout de même des indications encourageantes sur les liens entre la performance motrice à une tâche simple et la présence de symptômes liés au TDAH, bien qu'elles ne soient pas totalement en ligne avec celles précédemment décelées. Les deux dimensions d'hyperactivité-impulsivité et d'inattention distinguées ont une influence variable sur la performance motrice, en admettant que les corrections effectuées en cours de mouvement de pointage représentent adéquatement les déficits moteurs. Parmi ces deux dimensions, l'hyperactivité-impulsivité a pu être reliée de façon plus convaincante à la présence de symptômes liés au TDAH que l'inattention.

En premier lieu, aucune relation cohérente n'a été trouvée pour les corrections de type « dynamiques ». Toutefois, les corrections « de position » ont pu être reliées avec succès à la fois à l'hyperactivité-impulsivité, et à l'inattention dans une moindre mesure. Il existe une forte association entre le fait d'être droitier et de faire davantage de corrections de position de la main droite, dans tous les cas. De plus, lorsqu'il y avait présence d'hyperactivité-impulsivité, de nombreuses relations apparaissent, et suggèrent une latéralisation, à la fois dans l'exécution du mouvement, mais possiblement aussi dans la perception des cibles. Il y a une forte association entre le fait d'être droitier et voir la performance d'une tâche de pointage de la main droite se dégrader lorsque la cible est contralatérale.

Pourtant, tel que conçue, cette étude démontre quelques limites immédiates, à commencer par la façon de hiérarchiser les corrections. Les critères opérationnels retenus pour déclarer l'existence d'une correction de position, soit celui d'un changement de direction et respectant une certaine limite temporelle, à l'exclusion de toute autre limite, aboutit souvent à repérer une correction se produisant en fin de mouvement, particulièrement lorsque l'on tentait de manipuler le critère de fin de mouvement pour vérifier son effet sur la détection des corrections. Les corrections « de position » telles que définies ici peuvent ainsi se retrouver chez les sujets normaux (Messier & Kalaska, 1999 ; Novak *et al.*, 2002), et ne sont donc pas en elles-mêmes un symptôme pouvant servir au diagnostic fiable d'une condition pathologique. Par extension, la correction dynamique est possiblement également flouée. D'ailleurs, les corrections classées ne sont pas nécessairement les premières

corrections comme telles d'un point de vue cinématique, n'ayant pas respecté le critère de latence de 120ms. De même, le nombre total de symptômes du TDAH, comme indiqué, ne tient pas compte d'une éventuelle pondération de chacun de ces symptômes. En effet, il manquait des données pour tenir compte convenablement de cette évaluation, et d'autres contraintes stratégiques réduisaient l'effectif de sujets immédiatement disponible à un niveau inutilisable. Par ailleurs, il n'existerait pas de valeurs normatives des indicateurs contenus dans l'entrevue semi-structurée, à notre connaissance.

Cette étude étant purement exploratoire, bien d'autres ramifications et tests sont envisageables. Il serait notamment souhaitable de contrôler l'effet du décours temporel au cours de l'exécution des mouvements de pointage, alors que le côté répétitif de la tâche a pu avoir deux effets, que le paradigme actuel ne permet pas de distinguer. D'une part, la fatigue, normale tant chez les sujets asymptomatiques que chez les TDAH (Yan & Thomas, 2002 ; Tseng *et al.*, 2004), pourrait être contrée en utilisant une approche ajoutant un délai aléatoire à l'apparition du stimulus à la variabilité spatiale, de manière similaire à l'étude de Pedersen & Surburg (2008). D'autre part, il serait également attendu que les tracés effectués plus tardivement par le même sujet aient été mieux programmés, car se basant sur le tracé antérieur, et donc plus précis, moins corrigés (Novak *et al.*, 2000 ; Eliasson *et al.*, 2004). Un transfert symétrique d'apprentissage d'une main à l'autre est en effet possible en condition de *feed-back* visuel (Wang & Sainburg, 2004), sur lequel est bâtie l'hypothèse d'un déficit de transfert interhémisphérique dans le cas de mouvements contralatéraux (Aglioti *et al.*, 1991). Il pourrait aussi être intéressant de réinterpréter les résultats en fonction des facteurs qui n'ont pris en compte, à savoir la zygote, de même que le possible effet de l'apprentissage moteur et qui aurait eu lieu, de manière limitée, tout au long de la série d'essais effectuée par chaque sujet, sachant bien que l'héritabilité du TDAH est partielle, mais forte (Faraone & Doyle, 2001 ; Martin *et al.*, 2002 ; Biederman & Faraone, 2005 ; Accardo, 2008)

Par extension, il pourrait être intéressant d'évaluer, dans le modèle de contrôle moteur synthétisé et ici appliqué à l'étude du TDAH (Johnson *et al.*, 2010 ; Green & Kalaska, 2011), les composants des différents modèles de contrôle moteur lorsque le TDAH est présent. L'on pourrait également refaire les analyses en incluant les formes de *feed-back* plus rapides, comme la proprioception, et de tenir compte d'une éventuelle variation de pondération temporelle des trois modalités sensorielles

principales impliquées que sont proprioception, vision et étirement de la peau (Edin & Abbs, 1991 ; Sober & Sabes, 2005). De plus, l'occurrence des corrections n'a pas été prise en compte en fonction de la phase de déplacement du curseur, alors que des auteurs ont mentionné que le contrôle visuel du mouvement de pointage, chez les sujets enfants plus âgés, n'intervenait que dans la phase du mouvement suivant l'accélération maximale, suivant un délai fixe après initiation du mouvement (Lhuisset, 2002). De même, la théorie selon laquelle le mouvement de la main dominante est contrôlé de façon visuelle, et celui de la main non dominante, de façon statique (Sainburg & Kalakanis, 2000 ; Wang & Sainburg, 2007 ; Goble & Brown, 2008) n'a pas été prise en compte, bien qu'elle puisse expliquer l'asymétrie de distribution des premières corrections volontaires. Toutefois, son efficacité semble limitée si l'on ne tient pas compte, en même temps, de la latéralisation des processus attentionnels.

La distinction des deux dimensions du TDAH et leur influence respective sur le contrôle moteur n'est pas non plus bien établie. Compte tenu de l'abondance de références mentionnant le lien récurrent entre degré d'inattention et faible performance motrice (voir, entre autres, la thèse de Verret, 2010), et, parallèlement, des résultats assez mitigés ici obtenus, il serait pertinent à notre sens de mieux définir en quoi consistent ces symptômes d'inattention d'un point de vue physiologique. Il pourrait s'agir du nombre de symptômes brut, mais aussi, pondérés de manière fiable. On pourrait penser donc que les symptômes d'inattention ne prennent pas racine uniquement dans la volonté du sujet, mais que les déficits sont à la fois d'ordre préparatoire au mouvement, ce qui serait mesurable par le temps passé à initier le mouvement (donnée non utilisée), et d'ordre exécutif, mesurable par le taux de corrections (Kalaska & Crammond, 1992). En parallèle, il est possible, dans la présente, que la méthode de classification hiérarchique des corrections n'ait pas la solidité théorique nécessaire, et demanderait une meilleure définition que celle adoptée ici, par exemple selon un modèle intégrant l'influence de facteurs biomécaniques tels l'amortissement ou la trajectoire de l'ensemble du bras (Novak *et al.*, 2000 ; Dounskaia *et al.*, 2005 ; Khan *et al.*, 2006), intégrant la décomposition en sous-mouvements (Novak *et al.*, 2002 ; Fishbach *et al.*, 2005).

En ce sens, un rapprochement au moyen d'études neuroanatomiques par des techniques non invasives permettrait d'observer l'utilisation des différentes régions soupçonnées de présenter un déficit fonctionnel chez les sujets atteints de TDAH et

impliquant notamment le cervelet et cortex pariétal postérieur (Mulliken *et al.*, 2008 ; Johnson *et al.*, 2010). Une hypothèse de déficit de communication transcallosale a été évoquée pour expliquer des troubles moteurs liés au TDAH (Cao *et al.*, 2010), et il serait donc intéressant de connaître l'implication pathophysiologique d'autres régions normalement actives en situation physiologique, par exemple comme le modèle de Shadmehr & Krakauer (Shadmehr & Krakauer, 2008). Des résultats récents ont permis de quantifier les mouvements miroirs excédentaires, et les expérimentateurs ont également supposé qu'ils sont reliés à la fois à un défaut d'inhibition motrice, à l'hyperactivité-impulsivité, et un déficit d'inhibition transcallosal (Mostofsky *et al.*, 2003 ; Hoy *et al.*, 2004 ; MacNeil *et al.*, 2011).

Enfin, compte tenu du biais certainement introduit par l'orientation des tâches demandées quotidiennement aux enfants (Johnson *et al.*, 2010), d'autres auteurs ont préféré étudier la performance des membres inférieurs, réputés moins sensibles à cet effet, bien qu'une certaine latéralisation existe toujours (Pedersen & Surburg, 2008). Un autre critère à contrôler serait le temps de retrait de la médication, lorsque pertinent. Différents auteurs ont en effet demandé à leurs sujets de cesser leur médication soit 24, soit 48 h avant le test ; d'autres demandaient qu'ils aient été libres de toute médication depuis plusieurs mois, voire à vie. Sachant que le traitement de choix du TDAH met plusieurs semaines à établir ses effets de façon fiable, il existe une possibilité pour que les enfants ainsi privés temporairement de méthylphénidate en conservent des effets résiduels. Il serait intéressant également de demander aux sujets d'effectuer une tâche de pointage libre afin de vérifier si la présence de TDAH change la préférence radiale, ainsi que le prévoit la « leading joint hypothesis » (Dounskaia, 2010).

Bibliographie

- Accardo, P. (2008) *Capute & Accardo's Neurodevelopmental Disabilities in Infancy and Childhood*, 3rd ed. edn. Paul H. Brookes Pub., Baltimore.
- Aglioti, Dall'Agnola, R., Girelli, M., & Marzi, C.A. (1991) Bilateral hemispheric control of foot distal movements: evidence from normal subjects. *Cortex*, **27**, 571–581.
- Albaret, J.-M. (2008) *L'enfant Hyperactif : De Quoi S'agit-il ? Pourquoi S'agite-t-il ?* Éditions du Papyrus, Montreuil.
- Ameratunga, D., Johnston, L., & Burns, Y. (2004) Goal-directed upper limb movements by children with and without DCD: a window into perceptuo-motor dysfunction? *Physiotherapy Research International: The Journal for Researchers and Clinicians in Physical Therapy*, **9**, 1–12.
- American Psychiatric Association (2000) *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM-IV-TR*. American Psychiatric Pub.
- Armstrong, I.T. & Munoz, D.P. (2003) Inhibitory control of eye movements during oculomotor countermanding in adults with attention-deficit hyperactivity disorder. *Experimental Brain Research*, **152**, 444–452.
- Arnold, T. (1806) *Observations on the Nature, Kinds, Causes, and Prevention of Insanity. 2d Ed. 2 V. in 1. 8.* London.
- Astafiev, S.V., Shulman, G.L., Stanley, C.M., Snyder, A.Z., Van Essen, D.C., & Corbetta, M. (2003) Functional organization of human intraparietal and frontal cortex for attending, looking, and pointing. *The Journal of Neuroscience*, **23**, 4689–4699.
- Austin, J.K., Harezlak, J., Dunn, D.W., Huster, G.A., Rose, D.F., & Ambrosius, W.T. (2001) Behavior problems in children before first recognized seizures. *Pediatrics*, **107**, 115 – 122.
- Barkley, R.A. (2006) *Attention-Deficit Hyperactivity Disorder: A Handbook for Diagnosis and Treatment*, 3rd ed. edn. Guilford Press, New York.
- Bastien, C.H., St-Jean, G., Morin, C.M., Turcotte, I., & Carrier, J. (2008) Chronic psychophysiological insomnia: hyperarousal and/or inhibition deficits? An ERPs investigation. *Sleep*, **31**, 887–898.
- Bédard, P. & Proteau, L. (2004) On-line vs. off-line utilization of peripheral visual afferent information to ensure spatial accuracy of goal-directed movements. *Experimental Brain Research*, **158**, 75–85.
- Bell, A.S. (2011) A critical review of ADHD diagnostic criteria: what to address in the DSM-V. *Journal of Attention Disorders*, **15**, 3 –10.
- Bellgrove, M.A., Hawi, Z., Kirley, A., Gill, M., & Robertson, I.H. (2005) Dissecting the attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) phenotype: Sustained attention, response variability and spatial attentional asymmetries in relation to dopamine transporter (DAT1) genotype. *Neuropsychologia*, **43**, 1847–1857.
- Bezdjian, S., Baker, L.A., Isabel Lozano, D., & Raine, A. (2009) Assessing inattention and impulsivity in children during the Go/NoGo task. *British Journal of Developmental Psychology*, **27**, 365–383.
- Biederman, J. & Faraone, S.V. (2005) Attention-deficit hyperactivity disorder. *The Lancet*, **366**, 237–248.
- Blázquez-Almería, G., Joseph-Munné, D., Carrillo-González, C., Cuyàs-Reguera, M., Burón-Masó, E., Joseph-Munné, M., & Freile-Sánchez, R. (2005) Resultados del cribado de la

sintomatología del trastorno por déficit de atención con o sin hiperactividad en el ámbito escolar mediante la escala EDAH. *Revista de neurología*, **41**, 586–590.

- Braak, H., Tredici, K.D., Rüb, U., de Vos, R.A., Jansen Steur, E.N., & Braak, E. (2003) Staging of brain pathology related to sporadic Parkinson's disease. *Neurobiology of Aging*, **24**, 197–211.
- Brossard-Racine, M., Majnemer, A., Shevell, M., Snider, L., & Bélanger, S.A. (2011) Handwriting capacity in children newly diagnosed with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Research in Developmental Disabilities*, **32**, 2927–2934.
- Brown, T.E. (2009) *ADHD Comorbidities: Handbook for ADHD Complications in Children and Adults*. American Psychiatric Publishing, Washington, D.C.
- Buckingham, G., Main, J.C., & Carey, D.P. (2011) Asymmetries in motor attention during a cued bimanual reaching task: Left and right handers compared. *Cortex*, **47**, 432–440.
- Burdet, E. & Milner, T.E. (1998) Quantization of human motions and learning of accurate movements. *Biological Cybernetics*, **78**, 307–318.
- Burtet, L. (2007) Changes in the corticospinal excitability underlying voluntary wrist movement investigated with the TMS method.
- Cao, Q., Sun, L., Gong, G., Lv, Y., Cao, X., Shuai, L., Zhu, C., Zang, Y., & Wang, Y. (2010) The macrostructural and microstructural abnormalities of corpus callosum in children with attention deficit/hyperactivity disorder: A combined morphometric and diffusion tensor MRI study. *Brain Research*, **1310**, 172–180.
- Cole, W.R., Mostofsky, S.H., Larson, J.C.G., Denckla, M.B., & Mahone, E.M. (2008) Age-related changes in motor subtle signs among girls and boys with adhd. *Neurology*, **71**, 1514–1520.
- Comstock, E.J. (2011) The end of drugging children: Toward the genealogy of the ADHD subject. *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, **47**, 44–69.
- Day, B.L., Thompson, P.D., Harding, A.E., & Marsden, C.D. (1998) Influence of vision on upper limb reaching movements in patients with cerebellar ataxia. *Brain*, **121**, 357–372.
- Denckla, M.B. (1985) Revised neurological examination for subtle signs. *Psychopharmacology Bulletin*, **21**, 773–800.
- Desmurget, M., Epstein, C.M., Turner, R.S., Prablanc, C., Alexander, G.E., & Grafton, S.T. (1999) Role of the posterior parietal cortex in updating reaching movements to a visual target. *Nature neuroscience*, **2**, 563–567.
- Desmurget, M. & Grafton, S. (2000) Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. *Trends in Cognitive Sciences*, **4**, 423–431.
- Desmurget, M., Pélisson, D., Rossetti, Y., & Prablanc, C. (1998) From eye to hand: planning goal-directed movements. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **22**, 761–788.
- Douglas, V.I. (1972) Stop, look and listen: The problem of sustained attention and impulse control in hyperactive and normal children. *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement*, **4**, 259–282.
- Dounskaia, N. (2005) The internal model and the leading joint hypothesis: implications for control of multi-joint movements. *Experimental Brain Research*, **166**, 1–16.
- Dounskaia, N. (2010) Control of Human Limb Movements: The Leading Joint Hypothesis and Its Practical Applications. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, **38**, 201–208.
- Dounskaia, N., Wisleder, D., & Johnson, T. (2005) Influence of biomechanical factors on substructure of pointing movements. *Experimental Brain Research*, **164**, 505–516.

- Dunn, D.W., Austin, J.K., & Harezlak, J. (2003) ADHD and epilepsy in childhood. *Developmental Medicine & Child Neurology*, **45**, 50–54.
- Edin, B.B. & Abbs, J.H. (1991) Finger Movement Responses of Cutaneous Mechanoreceptors in the Dorsal Skin of the Human Hand. *Journal of Neurophysiology*, **65**, 657–670.
- El-Mallakh, R. (2006) *Bipolar Depression: a Comprehensive Guide*, 1st ed. edn. American Psychiatric Pub., Washington DC.
- Eliasson, A.-C., Rösblad, B., & Forssberg, H. (2004) Disturbances in programming goal-directed arm movements in children with ADHD. *Developmental Medicine & Child Neurology*, **46**, 19–27.
- Eubig, P.A., Aguiar, A., & Schantz, S.L. (2010) Lead and PCBs as risk factors for Attention Deficit/Hyperactivity Disorder. *Environmental Health Perspectives*, **118**, 1654–1667.
- Faraone, S.V. & Doyle, A.E. (2001) The nature and heritability of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, **10**, 299–316, viii-ix.
- Fearnley, J.M. & Lees, A.J. (1991) Ageing and Parkinson's Disease: Substantia Nigra Regional Selectivity. *Brain*, **114**, 2283–2301.
- Feldman, A.G. (1986) Once more on the equilibrium-point hypothesis (lambda model) for motor control. *Journal of motor behavior*, **18**, 17.
- Fishbach, A., Roy, S.A., Bastianen, C., Miller, L.E., & Houk, J.C. (2005) Kinematic properties of on-line error corrections in the monkey. *Experimental Brain Research*, **164**, 442–457.
- Fitzgerald, M., Bellgrove, M., & Gill, M. (2007) *Handbook of Attention Deficit Hyperactivity Disorder*. John Wiley & Sons, Inc, Chichester, West Sussex, England.
- Flapper, B.C., Houwen, S., & Schoemaker, M.M. (2006) Fine motor skills and effects of methylphenidate in children with attention-deficit–hyperactivity disorder and developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, **48**, 165–169.
- Friedman-Hill, S.R., Wagman, M.R., Gex, S.E., Pine, D.S., Leibenluft, E., & Ungerleider, L.G. (2010) What does distractibility in ADHD reveal about mechanisms for top-down attentional control? *Cognition*, **115**, 93–103.
- Galloway, J. & Koshland, G. (2002) General coordination of shoulder, elbow and wrist dynamics during multijoint arm movements. *Experimental Brain Research*, **142**, 163–180.
- Goble, D.J. & Brown, S.H. (2008) Upper limb asymmetries in the matching of proprioceptive versus visual targets. *Journal of Neurophysiology*, **99**, 3063–3074.
- Goble, J.A., Zhang, Y., Shimansky, Y., Sharma, S., & Dounskaia, N.V. (2007) Directional biases reveal utilization of arm's biomechanical properties for optimization of motor behavior. *Journal of Neurophysiology*, **98**, 1240–1252.
- Gomez, R. (2007) Australian parent and teacher ratings of the DSM-IV ADHD Symptoms differential symptom functioning and parent-teacher agreement and differences. *Journal of Attention Disorders*, **11**, 17–27.
- Gordon, J., Ghilardi, M.F., Cooper, S.E., & Ghez, C. (1994) Accuracy of planar reaching movements. II. Systematic extent errors resulting from inertial anisotropy. *Experimental Brain Research*, **99**, 112–130.
- Gordon, J., Ghilardi, M.F., & Ghez, C. (1994) Accuracy of planar reaching movements. I. Independence of direction and extent variability. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation Cérébrale*, **99**, 97–111.
- Goulardins, J.B., Marques, J.C.F.B., & Casella, E.B. (2011) Quality of life and psychomotor profile of children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, **69**, 630–635.

- Gozal, D. (2005) *Attention Deficit Hyperactivity Disorder from Genes to Patients*. Humana Press,, Totowa, NJ :
- Green, A.M. & Kalaska, J.F. (2011) Learning to move machines with the mind. *Trends in Neurosciences*, **34**, 61–75.
- Guardiola, A., Fuchs, F.D., & Rotta, N.T. (2000) Prevalence of attention-deficit hyperactivity disorders in students: comparison between DSM-IV and neuropsychological criteria. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, **58**, 401–407.
- Hartman, C., Rhee, S., Willcutt, E., & Pennington, B. (2007) Modeling rater disagreement for ADHD: are parents or teachers biased? *Journal of Abnormal Child Psychology*, **35**, 536–542.
- Haslam, J. (1809) *Observations on Madness and Melancholy*. Ayer Publishing.
- Himmelbach, M., Karnath, H.-O., Perenin, M.-T., Franz, V.H., & Stockmeier, K. (2006) A general deficit of the “automatic pilot” with posterior parietal cortex lesions? *Neuropsychologia*, **44**, 2749–2756.
- Hoy, K.E., Fitzgerald, P.B., Bradshaw, J.L., Armatas, C.A., & Georgiou-Karistianis, N. (2004) Investigating the cortical origins of motor overflow. *Brain Research Reviews*, **46**, 315–327.
- Imamizu, H. & Kawato, M. (2010) Cerebellar internal models: implications for the dexterous use of tools. *Cerebellum (London, England)*,.
- Imamizu, H., Kuroda, T., Yoshioka, T., & Kawato, M. (2004) Functional magnetic resonance imaging examination of two modular architectures for switching multiple internal models. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, **24**, 1173–1181.
- Izawa, J., Pekny, S.E., Marko, M.K., Haswell, C.C., Shadmehr, R., & Mostofsky, S.H. (2012) Motor learning relies on integrated sensory inputs in ADHD, but over-selectively on proprioception in autism spectrum conditions. *Autism Research*, n/a-n/a.
- Johnson, K.A., Dáibhis, A., Tobin, C.T., Acheson, R., Watchorn, A., Mulligan, A., Barry, E., Bradshaw, J.L., Gill, M., & Robertson, I.H. (2010) Right-sided spatial difficulties in ADHD demonstrated in continuous movement control. *Neuropsychologia*, **48**, 1255–1264.
- Kalaska, J.F. & Crammond, D.J. (1992) Cerebral cortical mechanisms of reaching movements. *Science, New Series*, **255**, 1517–1523.
- Kaufmann, R., Goldberg-Stern, H., & Shuper, A. (2009) Attention-deficit disorders and epilepsy in childhood: incidence, causative relations and treatment possibilities. *Journal of Child Neurology*, **24**, 727–733.
- Khan, M., Franks, I., Elliott, D., Lawrence, G., Chua, R., Bernier, P., Hansen, S., & Weeks, D. (2006) Inferring online and offline processing of visual feedback in target-directed movements from kinematic data. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **30**, 1106–1121.
- Khan, M.A., Elliott, D., Coull, J., Chua, R., & Lyons, J. (2002) Optimal control strategies under different feedback schedules: Kinematic evidence. *Journal of Motor Behavior*, **34**, 45–57.
- Klykylo, W.M. & Kay, J. (2005) *Clinical Child Psychiatry*. John Wiley & Sons, England.
- Koller, W.C. & Montgomery, E.B. (1997) Issues in the early diagnosis of Parkinson’s disease. *Neurology*, **49**, S10–S25.
- Kooij, S.J.J., Bejerot, S., Blackwell, A., Caci, H., Casas-Brugué, M., Carpentier, P.J., Edvinsson, D., Fayyad, J., Foeken, K., Fitzgerald, M., Gaillac, V., Ginsberg, Y., Henry, C., Krause,

- J., Lensing, M.B., Manor, I., Niederhofer, H., Nunes-Filipe, C., Ohlmeier, M.D., Oswald, P., Pallanti, S., Pehlivanidis, A., Ramos-Quiroga, J.A., Rastam, M., Ryffel-Rawak, D., Stes, S., & Asherson, P. (2010) European consensus statement on diagnosis and treatment of adult ADHD: The European Network Adult ADHD. *BMC Psychiatry*, **10**, 67.
- Lahey, B.B., McBurnett, K., Piacentini, J.C., Hartdagen, S., Walker, J., Frick, P.J., & Hynd, G.W. (1987) Agreement of parent and teacher rating scales with comprehensive clinical assessments of attention deficit disorder with hyperactivity. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, **9**, 429–439.
- Laufer, M.W., Denhoff, E., & Solomons, G. (1957) Hyperkinetic impulse disorder in children's behavior problems. *Psychosomatic Medicine*, **19**, 38–49.
- Lavasani, N.M. & Stagnitti, K. (2011) A study on fine motor skills of Iranian children with attention deficit/hyper activity disorder aged from 6 to 11 years. *Occupational Therapy International*, **18**, 106–114.
- Lhuisset, L. (2002) Utilisation de l'information visuelle lors de mouvements de pointage manuels chez l'enfant entre 6 et 10 ans.
- Lhuisset, L. & Proteau, L. (2004) Visual control of manual aiming movements in 6- to 10-year-old children and adults. *Journal of Motor Behavior*, **36**, 161–172.
- MacNeil, L.K., Xavier, P., Garvey, M.A., Gilbert, D.L., Ranta, M.E., Denckla, M.B., & Mostofsky, S.H. (2011) Quantifying excessive mirror overflow in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Neurology*, **76**, 622–628.
- Maetzler, W. & Hausdorff, J.M. (2012) Motor signs in the prodromal phase of Parkinson's disease. *Movement Disorders*,.
- Martin, N., Scourfield, J., & McGUFFIN, P. (2002) Observer Effects and Heritability of Childhood Attention-Deficit Hyperactivity Disorder Symptoms. *The British Journal of Psychiatry*, **180**, 260–265.
- Mazet, P. (1993) *Psychiatrie De L'enfant Et De L'adolescent*. Maloine, Paris.
- Mazet, P., Basou, I., & Simonnot, A. (1996) Instabilité psychomotrice, hyperactivité chez l'enfant: perspectives cliniques et thérapeutiques. *Journal de Pédiatrie et de Puériculture*, **9**, 413–421.
- Messier, J. & Kalaska, J.F. (1999) Comparison of variability of initial kinematics and endpoints of reaching movements. *Experimental Brain Research*, **125**, 139–152.
- Milner, T.E. (1992) A model for the generation of movements requiring endpoint precision. *Neuroscience*, **49**, 487–496.
- Milner, T.E. & Ijaz, M.M. (1990) The effect of accuracy constraints on three-dimensional movement kinematics. *Neuroscience*, **35**, 365–374.
- Moffitt, T.E. & Melchior, M. (2007) Why does the worldwide prevalence of childhood Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder matter? *Am J Psychiatry*, **164**, 856–858.
- Mostofsky, S.H., Newschaffer, C.J., & Denckla, M.B. (2003) Overflow movements predict impaired response inhibition in children with ADHD. *Perceptual and Motor Skills*, **97**, 1315–1331.
- Mulliken, G.H., Musallam, S., & Andersen, R.A. (2008) Forward estimation of movement state in posterior parietal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **105**, 8170–8177.
- Mutha, P.K., Sainburg, R.L., & Haaland, K.Y. (2010) Coordination deficits in ideomotor apraxia during visually targeted reaching reflect impaired visuomotor transformations. *Neuropsychologia*, **48**, 3855–3867.
- Nicolescu, R., Petcu, C., Cordeanu, A., Fabritius, K., Schlumpf, M., Krebs, R., Krämer, U., & Winneke, G. (2010) Environmental exposure to lead, but not other neurotoxic metals,

relates to core elements of ADHD in Romanian children: Performance and questionnaire data. *Environmental Research*, **110**, 476–483.

- Nigg, J.T. (2001) Is ADHD a disinhibitory disorder? *Psychological Bulletin*, **127**, 571–598.
- Novak, K. Novak, Miller, L. Miller, Houk, & J. Houk (2002) The use of overlapping submovements in the control of rapid hand movements. *Experimental Brain Research*, **144**, 351–364.
- Novak, K.E., Miller, L.E., & Houk, J.C. (2000) Kinematic properties of rapid hand movements in a knob turning task. *Experimental Brain Research*, **132**, 419–433.
- Oldfield, R.C. (1971) The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, **9**, 97–113.
- Palmer, E.D. & Finger, S. (2001) An early description of adhd (inattentive subtype): Dr Alexander Crichton and “mental restlessness” (1798). *Child and Adolescent Mental Health*, **6**, 66–73.
- Pasini, A., D’Agati, E., Pitzianti, M., Casarelli, L., & Curatolo, P. (2012) Motor examination in children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder and Asperger Syndrome. *Acta Paediatrica*, **101**, e15–e18.
- Paule, M.G., Rowland, A.S., Ferguson, S.A., Chelonis, J.J., Tannock, R., Swanson, J.M., & Castellanos, F.X. (2000) Attention deficit/hyperactivity disorder: characteristics, interventions and models. *Neurotoxicology and Teratology*, **22**, 631–651.
- Pedersen, S.J. & Surburg, P.R. (2008) Lower extremity movement preparation and children with attention deficit hyperactivity disorder. *Adapted Physical Activity Quarterly*, **25**, 36–48.
- Pérez-Villena, A., López-Marín, L., Cantarín-Extremuera, V., Leon-Gonzalez, M., Fournier-Del Castillo, C., & Ruiz-Falcó, M.L. (2011) Síndrome de Panayiotopoulos: dificultades académicas y alteraciones comportamentales. *Revista De Neurología*, **52**, 705–712.
- Piek, J.P., Dyck, M.J., Nieman, A., Anderson, M., Hay, D., Smith, L.M., McCoy, M., & Hallmayer, J. (2004) The relationship between motor coordination, executive functioning and attention in school aged children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, **19**, 1063–1076.
- Pitcher, T., Piek, JP, & Hay, DA (2003) Fine and gross motor ability in males with ADHD. *Developmental Medicine and Child Neurology*, **45**, 525.
- Poeta, L.S. & Rosa-Neto, F. (2007) Evaluación motora en escolares con indicadores del trastorno por déficit de atención/hiperactividad. *Revista de Neurología*, **44**, 146–149.
- Polderman, T.J.C., van Dongen, J., & Boomsma, D.I. (2011) The relation between ADHD symptoms and fine motor control: A genetic study. *Child Neuropsychology*, **17**, 138–150.
- Proteau, L., Roujoula, A., & Messier, J. (2009) Evidence for continuous processing of visual information in a manual video-aiming task. *Journal of Motor Behavior*, **41**, 219.
- Remschmidt, H. (2005) Global consensus on ADHD/HKD. *European Child & Adolescent Psychiatry*, **14**, 127–137.
- Rohrer, B. & Hogan, N. (2003) Avoiding spurious submovement decompositions: a globally optimal algorithm. *Biological Cybernetics*, **89**, 190–199.
- Rommelse, N.N.J., Altink, M.E., Oosterlaan, J., Buschgens, C.J.M., Buitelaar, J., Sonnevile, L.M.J.D., & Sergeant, J.A. (2007) Motor control in children with ADHD and non-affected siblings: deficits most pronounced using the left hand. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, **48**, 1071–1079.

- Rösler, M., Casas, M., Konofal, E., & Buitelaar, J. (2010) Attention deficit hyperactivity disorder in adults. *World Journal of Biological Psychiatry*, **11**, 684–698.
- Sainburg, R.L. & Kalakanis, D. (2000) Differences in control of limb dynamics during dominant and nondominant arm reaching. *Journal of Neurophysiology*, **83**, 2661–2675.
- Sanguineti, V., Morasso, P.G., Baratto, L., Bricchetto, G., Luigi Mancardi, G., & Solaro, C. (2003) Cerebellar ataxia: Quantitative assessment and cybernetic interpretation. *Human Movement Science*, **22**, 189–205.
- Sayal, K. & Goodman, R. (2009) Do parental reports of child hyperkinetic disorder symptoms at school predict teacher ratings? *European Child & Adolescent Psychiatry*, **18**, 336–344.
- Schoemaker, M.M., Ketelaars, C.E.J., van Zonneveld, M., Minderaa, R.B., & Mulder, T. (2005) Deficits in motor control processes involved in production of graphic movements of children with attention-deficit-hyperactivity disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, **47**, 390–395.
- Scott, M.N., Taylor, H.G., Fristad, M.A., Klein, N., Espy, K.A., Minich, N., & Hack, M. (2012) Behavior disorders in extremely preterm/extremely low birth weight children in kindergarten. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, **33**, 202–213.
- Shadmehr, R. & Krakauer, J. (2008) A computational neuroanatomy for motor control. *Experimental Brain Research*, **185**, 359–381.
- Sheth, B.R. & Shimojo, S. (2002) How the lack of visuomotor feedback affects even the early stages of goal-directed pointing movements. *Experimental Brain Research*, **143**, 181–190.
- Shidara, M., Kawano, K., Gomi, H., & Kawato, M. (1993) Inverse-dynamics model eye movement control by Purkinje cells in the cerebellum. *Nature*, **365**, 50–52.
- Shih, C.-H., Yeh, J.-C., Shih, C.-T., & Chang, M.-L. (2011) Assisting children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder actively reduces limb hyperactive behavior with a Nintendo Wii Remote Controller through controlling environmental stimulation. *Research in Developmental Disabilities*, **32**, 1631–1637.
- Smits-Engelsman, B.C.M., Niemeijer, A.S., & van Galen, G.P. (2001) Fine motor deficiencies in children diagnosed as DCD based on poor grapho-motor ability. *Human Movement Science*, **20**, 161–182.
- Sober, S.J. & Sabes, P.N. (2005) Flexible strategies for sensory integration during motor planning. *Nature Neuroscience*, **8**, 490–497.
- St-Onge, N. & Feldman, A. (2004) Referent configuration of the body: a global factor in the control of multiple skeletal muscles. *Experimental Brain Research*, **155**, 291–300.
- Stein, M.A. (1999) Unravelling Sleep Problems in Treated and Untreated Children with ADHD. *Journal of Child and Adolescent Psychopharmacology*, **9**, 157–168.
- Still, G.F. (1902) The goulstonian lectures on some abnormal psychical conditions in children. *The Lancet*, **159**, 1077–1082.
- Taylor, E. (1986) *The Overactive Child*. Spastics International Medical Publications ;;J.B. Lippincott, London ;Philadelphia.
- Teasdale, N., Bard, C., Fleury, M., Young, D.E., & Proteau, L. (1993) Determining movement onsets from temporal series. *Journal of Motor Behavior*, **25**, 97–106.
- Temprado, J.J., Vieilledent, S., & Proteau, L. (1996) Afferent information for motor control: The role of visual information in different portions of the movement. *Journal of Motor Behavior*, **28**, 280.
- Thome, J. & Jacobs, K.A. (2004) Attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) in a 19th century children's book. *European Psychiatry*, **19**, 303–306.

- Tininenko, J.R., Fisher, P.A., Bruce, J., Pears, K.C., & Jennifer (2010) Associations between sleep and inattentive/hyperactive problem behavior among foster and community children. *Journal of developmental and behavioral pediatrics*, **31**, 668–674.
- Tseng, M.H., Henderson, A., Chow, S.M.K., & Yao, G. (2004) Relationship between motor proficiency, attention, impulse, and activity in children with ADHD. *Developmental Medicine and Child Neurology*, **46**, 381–388.
- Vallbo, A.B. & Wessberg, J. (1993) Organization of motor output in slow finger movements in man. *The Journal of Physiology*, **469**, 673–691.
- Vaquerizo-Madrid, J., Macías-Pingarrón, A., & Márquez-Armenteros, A.M. (2004) Habilidades gráficas en el trastorno por déficit de atención con hiperactividad. *Revista de Neurología*, **38 Suppl 1**, S91–96.
- Venetsanou, F., Kambas, A., Ellinoudis, T., Fatouros, I., Giannakidou, D., & Kourtessis, T. (2011) Can the Movement Assessment Battery for Children-Test be the “gold standard” for the motor assessment of children with Developmental Coordination Disorder? *Research in Developmental Disabilities*, **32**, 1–10.
- Verret, C. (2010) Condition physique, performance motrice, comportements et fonctions cognitives chez les enfants ayant un trouble du déficit de l’attention avec hyperactivité (Thèse ou Mémoire numérique / Electronic Thesis or Dissertation).
- Walters, A.S., Silvestri, R., Zucconi, M., Chandrashekariah, R., & Konofal, E. (2008) Review of the possible relationship and hypothetical links between attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) and the simple sleep related movement disorders, parasomnias, hypersomnias, and circadian rhythm disorders. *Journal of Clinical Sleep Medicine: JCSM: Official Publication of the American Academy of Sleep Medicine*, **4**, 591–600.
- Wang, H.-Y., Huang, T.-H., & Lo, S.-K. (2011) Motor ability and adaptive function in children with attention deficit hyperactivity disorder. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, **27**, 446–452.
- Wang, J. & Sainburg, R.L. (2004) Interlimb transfer of novel inertial dynamics is asymmetrical. *J Neurophysiol*, **92**, 349–360.
- Wang, J. & Sainburg, R.L. (2007) The dominant and nondominant arms are specialized for stabilizing different features of task performance. *Experimental Brain Research*, **178**, 565–570.
- Weinberg, W., Harper, C., Schraufnagel, C., & Brumback, R. (1997) Attention deficit hyperactivity disorder: A disease or a symptom complex? *The Journal of Pediatrics*, **130**, 665–669.
- Wender, E. (2004) ADHD symptoms and parent-teacher agreement. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics: JDBP*, **25**, 48–49; discussion 52.
- Whitley, E., Gale, C.R., Deary, I.J., Kivimaki, M., & Batty, G.D. (2011) Association of maternal and paternal IQ with offspring conduct, emotional, and attention problem scores: Transgenerational evidence from the 1958 British birth cohort study. *Arch Gen Psychiatry*, **68**, 1032–1038.
- Wichstrøm, L., Berg-Nielsen, T.S., Angold, A., Egger, H.L., Solheim, E., & Svein, T.H. (2011) Prevalence of psychiatric disorders in preschoolers. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*,.
- Wing, A.M., Haggard, P., & Flanagan, J.R. (1996) *Hand and Brain: the Neurophysiology and Psychology of Hand Movements*. Academic Press, San Diego.
- Wolraich, M.L., Lambert, E.W., Bickman, L., Simmons, T., Doffing, M.A., & Worley, K.A. (2004) Assessing the impact of parent and teacher agreement on diagnosing attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of Developmental*, **25**, 41–47.

- Yan, J.H. & Thomas, J.R. (2002) Arm movement control: differences between children with and without attention deficit hyperactivity disorder. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **73**, 10–18.
- Yan, J.H., Thomas, J.R., Stelmach, G.E., & Thomas, K.T. (2000) Developmental features of rapid aiming arm movements across the lifespan. *Journal of Motor Behavior*, **32**, 121–140.

Annexe 1

Description du trouble hyperkinétique selon le ICD-10, référence de l'Organisation mondiale de la santé :

Hyperkinetic disorders

This group of disorders is characterized by: early onset; a combination of overactive, poorly modulated behaviour with marked inattention and lack of persistent task involvement; and pervasiveness over situations and persistence over time of these behavioural characteristics. (...)

Secondary complications include dissocial behaviour and low self-esteem. There is accordingly considerable overlap between hyperkinesis and other patterns of disruptive behaviour such as "unsocialized conduct disorder". Nevertheless, current evidence favours the separation of a group in which hyperkinesis is the main problem.

Hyperkinetic disorders are several times more frequent in boys than in girls. Associated reading difficulties (and/or other scholastic problems) are common.

Diagnostic guidelines

The cardinal features are impaired attention and overactivity: both are necessary for the diagnosis and should be evident in more than one situation (e.g. home, classroom, clinic).

Impaired attention is manifested by prematurely breaking off from tasks and leaving activities unfinished. The children change frequently from one activity to another, seemingly losing interest in one task because they become diverted to another (although laboratory studies do not generally show an unusual degree of sensory or perceptual distractibility). These deficits in persistence and attention should be diagnosed only if they are excessive for the child's age and IQ.

Overactivity implies excessive restlessness, especially in situations requiring relative calm. It may, depending upon the situation, involve the child running and jumping around, getting up from a seat when he or she was supposed to remain seated, excessive talkativeness and noisiness, or fidgeting and wriggling. The standard for judgement should be that the activity is excessive in the context of what is expected in the situation and by comparison with other children of the same age and IQ. This behavioural feature is most evident in structured, organized situations that require a high degree of behavioural self-control.

The associated features are not sufficient for the diagnosis or even necessary, but help to sustain it. Disinhibition in social relationships, recklessness in situations involving some danger, and impulsive flouting of social rules (as shown by intruding on or interrupting others' activities, prematurely answering questions before they have been completed, or difficulty in waiting turns) are all characteristic of children with this disorder.

Learning disorders and motor clumsiness occur with undue frequency, and should be noted separately (under F80 - F89) when present; they should not, however, be part of the actual diagnosis of hyperkinetic disorder.

Symptoms of conduct disorder are neither exclusion nor inclusion criteria for the main diagnosis, but their presence or absence constitutes the basis for the main subdivision of the disorder (see below).

The characteristic behaviour problems should be of early onset (before age 6 years) and long duration. However, before the age of school entry, hyperactivity is difficult to recognize because of the wide normal variation: only extreme levels should lead to a diagnosis in preschool children.

Diagnosis of hyperkinetic disorder can still be made in adult life. The grounds are the same, but attention and activity must be judged with reference to developmentally appropriate norms. When hyperkinesis was present in childhood, but has disappeared and been succeeded by another condition, such as dissocial personality disorder or substance abuse, the current condition rather than the earlier one is coded.

Differential diagnosis. Mixed disorders are common, and pervasive developmental disorders take precedence when they are present. The major problems in diagnosis lie in differentiation from conduct disorder: when its criteria are met, hyperkinetic disorder is diagnosed with priority over conduct disorder. However, milder degrees of overactivity and inattention are common in conduct disorder. When features of both hyperactivity and conduct disorder are present, and the hyperactivity is pervasive and severe, "hyperkinetic conduct disorder" (F90.1) should be the diagnosis.

A further problem stems from the fact that overactivity and inattention, of a rather different kind from that which is characteristic of a hyperkinetic disorder, may arise as a symptom of anxiety or depressive disorders. Thus, the restlessness that is typically part of an agitated depressive disorder should not lead to a diagnosis of a hyperkinetic disorder. Equally, the restlessness that is often part of severe anxiety should not lead to the diagnosis of a hyperkinetic disorder. If the criteria

for one of the anxiety disorders (F40. - , F41. - , F43. - , or F93. -) are met, this should take precedence over hyperkinetic disorder unless there is evidence, apart from the restlessness associated with anxiety, for the additional presence of a hyperkinetic disorder. Similarly, if the criteria for a mood disorder (F30-F39) are met, hyperkinetic disorder should not be diagnosed in addition simply because concentration is impaired and there is psychomotor agitation. The double diagnosis should be made only when symptoms that are not simply part of the mood disturbance clearly indicate the separate presence of a hyperkinetic disorder.

Acute onset of hyperactive behaviour in a child of school age is more probably due to some type of reactive disorder (psychogenic or organic), manic state, schizophrenia, or neurological disease (e.g. rheumatic fever).

(...) If the criteria for one of the anxiety disorders (F40. - , F41. - , F43. - , or F93. -) are met, this should take precedence over hyperkinetic disorder unless there is evidence, apart from the restlessness associated with anxiety, for the additional presence of a hyperkinetic disorder. Similarly, if the criteria for a mood disorder (F30-F39) are met, hyperkinetic disorder should not be diagnosed in addition simply because concentration is impaired and there is psychomotor agitation. The double diagnosis should be made only when symptoms that are not simply part of the mood disturbance clearly indicate the separate presence of a hyperkinetic disorder.

Acute onset of hyperactive behaviour in a child of school age is more probably due to some type of reactive disorder (psychogenic or organic), manic state, schizophrenia, or neurological disease (e.g. rheumatic fever).

Excludes: anxiety disorders (F 4 1 . - or F93.0) mood [affective] disorders (F30-F39), pervasive developmental disorders (F84.-) schizophrenia (F20.-)

F90.0 Disturbance of activity and attention

There is continuing uncertainty over the most satisfactory subdivision of hyperkinetic disorders. However, follow-up studies show that the outcome in adolescence and adult life is much influenced by whether or not there is associated aggression, delinquency, or dissocial behaviour. Accordingly, the main subdivision is made according to the presence or absence of these associated features. The code used should be F90.0 when the overall criteria for hyperkinetic disorder (F90. -) are met but those for F91. - (conduct disorders) are not.

F90.1 Hyperkinetic conduct disorder

This coding should be used when both the overall criteria for hyperkinetic disorders (F90. -) and the overall criteria for conduct disorders (F91.-) are met.

Selon le DSM-IV-TR, référence principale des chercheurs et cliniciens de tradition anglo-saxonne :

Attention-Deficit Hyperactivity Disorder

A.

B.

Either (1) or (2) :

(1) six (or more) of the following symptoms of inattention have persisted for at least 6 months to a degree that is maladaptive and inconsistent with developmental level:

Inattention

(a) often fails to give close attention to details or makes careless mistakes in schoolwork, work, or other activities

(b) often has difficulty sustaining attention in tasks or play activities

(c) often does not seem to listen when spoken to directly

(d) often does not follow through on instructions and fails to finish school work, chores, or duties in the workplace (not due to oppositional behavior or failure to understand instructions)

(e) often has difficulty organizing tasks and activities

(f) often avoids, dislikes, or is reluctant to engage in tasks that require sustained mental effort (such as schoolwork or homework)

(g) often loses things necessary for tasks or activities (e.g., toys, school assignments, pencils, books, or tools)

(h) is often easily distracted by extraneous stimuli

(i) is often forgetful in daily activities

(2) six (or more) of the following symptoms of hyperactivity-impulsivity have persisted for at least 6 months to a degree that is maladaptive and inconsistent with developmental level:

Hyperactivity

- (a) often fidgets with hands or feet or squirms in seat
- (b) often leaves seat in classroom or in other situations in which remaining seated is expected
- (c) often runs about or climbs excessively in situations in which it is inappropriate (in adolescents or adults, may be limited to subjective feelings of restlessness)
- (d) often has difficulty playing or engaging in leisure activities quietly
- (e) is often "on the go" or often acts as if "driven by a motor"
- (f) often talks excessively

Impulsivity

- (g) often blurts out answers before questions have been completed
- (h) often has difficulty awaiting turn
- (i) often interrupts or intrudes on others (e.g., butts into conversations or games)

Some hyperactive-impulsive or inattentive symptoms that caused impairment were present before age 7 years.

C. Some impairment from the symptoms is present in two or more settings (e.g., at school (or work and at home).

Annexe 2

Critères de détection du TDAH à des fins de recherche scientifique, selon le ICD-10 :

Troubles hyperkinétiques

N.B. : Les critères diagnostiques pour la recherche du trouble hyperkinétique exigent la présence d'une inattention, d'une hyperactivité, et d'une impulsivité qui sont envahissantes, persistantes, et présentes dans plusieurs situations, et qui ne sont pas dues à un autre trouble [par exemple un autisme ou un trouble de l'humeur].

G 1. *Inattention*. Au moins six des symptômes suivants d'inattention ont persisté pendant au moins six mois, à un degré qui est mal adapté et qui ne correspond pas au niveau de développement de l'enfant :

- [1] ne parvient souvent pas à prêter attention aux détails, ou fait des « fautes d'inattention », dans les devoirs scolaires, le travail, ou d'autres activités ;
- (2) ne parvient souvent pas à soutenir son attention dans des tâches ou des activités de jeu ;
- (3) ne parvient souvent pas à écouter ce qu'on lui dit ;
- (4) ne parvient souvent pas à se conformer aux directives venant d'autrui ou de finir ses devoirs, ses corvées, ou ses obligations sur le lieu de travail [non dû à un comportement oppositionnel ou à un manque de compréhension des instructions] ;
- (5) a souvent du mal à organiser des tâches ou des activités ;
- (6) évite souvent ou fait très à contre-cœur les tâches qui nécessitent un effort mental soutenu, telles que les devoirs à faire à domicile ;
- (7) perd souvent des objets nécessaires à son travail ou à certaines activités à l'école ou à la maison [par exemple crayons, livres, jouets, outils] ;
- (8) est souvent facilement distrait par des stimuli externes ;

(9) fait des oublis fréquents au cours des activités quotidiennes

G2. *Hyperactivité*. Au moins trois des symptômes suivants d'hyperactivité ont persisté pendant au moins six mois, à un degré qui est mal adapté et qui ne correspond pas au niveau de développement de l'enfant :

[1] agite souvent ses mains ou ses pieds ou se tortille sur sa chaise ;

(2) se lève en classe ou dans d'autres situations alors qu'il devrait rester assis ;

(3) court partout ou grimpe souvent, de façon excessive, dans des situations où cela est inapproprié [chez les adolescents ou les adultes, ce symptôme peut se limiter à un sentiment subjectif d'agitation] ;

(4) est souvent exagérément bruyant dans les jeux ou a du mal à participer en silence à des activités de loisir ;

(5) fait preuve d'une activité motrice excessive ; non influencée par le contexte social ou les consignes.

G3. *Impulsivité*. Au moins un des symptômes suivants d'impulsivité a persisté pendant au moins six mois, à un degré qui est mal adapté et qui ne correspond pas au niveau de développement de l'enfant :

[1] se précipite souvent pour répondre aux questions sans attendre qu'on ait terminé de les poser ;

(2) ne parvient souvent pas à rester dans la queue ou à attendre son tour dans les jeux ou dans d'autres situations de groupe

[3] interrompt souvent autrui ou impose sa présence [par exemple fait irruption dans les conversations ou les jeux des autres] ;

(4) parle souvent trop sans tenir compte des conventions sociales.

G4. Le trouble survient avant l'âge de 7 ans.

G5. *Caractère envahissant du trouble*. Les critères doivent être remplis dans plus d'une situation, par exemple l'association d'une inattention et d'une hyperactivité doit être présente à la fois à la maison et à l'école, ou à la fois à l'école et dans une autre situation où les enfants font l'objet d'une observation, par exemple un centre de soins. [Pour mettre en évidence la présence des critères dans plusieurs situations, on doit habituellement disposer d'informations provenant de plusieurs

sources ; il est peu probable, par exemple, que les parents puissent fournir des renseignements suffisants sur le comportement de leur enfant à l'école.]

G6. Les symptômes cités en G1-G3 sont à l'origine d'une souffrance ou d'une altération du fonctionnement social, scolaire ou professionnel, cliniquement significative.

G7. Ne répond pas aux critères d'un trouble envahissant du développement [F84.-], d'un épisode maniaque [F30.-], d'un épisode dépressif [F32.-] ou d'un trouble anxieux [F4J.-].

Commentaires

De nombreux experts décrivent des affections qui ne répondent que partiellement aux critères du trouble hyperkinétique. Chez les enfants qui répondent aux critères de ce trouble, mais qui ne présentent ni hyperactivité ni impulsivité, certains experts font un diagnostic de trouble de l'attention. Chez les enfants qui répondent aux critères de ce trouble, mais qui ne présentent pas de perturbation de l'attention, ils ont un diagnostic de trouble de l'activité. Enfin, chez les enfants qui répondent aux critères de ce trouble, mais uniquement dans une situation donnée [par exemple seulement à la maison ou seulement à l'école], ils font un diagnostic de trouble ne survenant qu'à la maison ou de trouble ne survenant qu'à l'école. Pour l'instant, ces affections n'ont pas été incluses dans la classification, car on ne dispose pas encore de données empiriques suffisantes concernant leur validité prédictive. Par ailleurs, de nombreux enfants atteints d'un trouble hyperkinétique partiel présentent d'autres syndromes [par exemple un trouble oppositionnel avec provocation, F91.3] ; ces syndromes doivent être classés dans la catégorie appropriée.

F90.0 Perturbation de l'activité et de l'attention

Répond à l'ensemble des critères du trouble hyperkinétique [F90], mais pas à ceux des troubles des conduites [F91.-].

F90 .1 Trouble hyperkinétique et trouble des conduites

Répond à la fois à l'ensemble des critères du trouble hyperkinétique [F90] et à ceux des troubles des conduites [F91.-].

F90.8 Autres troubles hyperkinétiques

F90.9 Trouble hyperkinétique, sans précision

Catégorie résiduelle non recommandée ; son utilisation doit être réservée aux cas où la différenciation entre F90.0 et F90.1 n'est pas possible, l'ensemble des critères de F90.- étant présents.