

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR
CAROLINE JULIEN

EFFETS DU TROUBLE D'ACQUISITION DE LA COORDINATION LORS
D'UNE TÂCHE DE FITTS RÉALISÉE EN POSTURE DEBOUT

Septembre 2009

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

RÉSUMÉ

L'objectif de l'étude était de vérifier si un trouble d'acquisition de la coordination (TAC) chez des enfants âgés de 9 à 10 ans est associé à des déficits posturaux ou de précision dans un contexte de double tâche (tâche de pointage nécessitant vitesse et précision réalisée en posture debout).

Un groupe contrôle (11 enfants ne présentant aucun trouble de développement moteur âgés de $9,9 \pm 0,9$ ans) et un groupe expérimental (10 enfants présentant un trouble d'acquisition de la coordination (TAC) âgés de $9,6 \pm 1,0$ ans) ont été soumis à un paradigme de double tâche (tâche primaire: la posture debout; tâche secondaire: le pointage). Une évaluation standardisée en psychomotricité (Movement Assessment Battery for Children – MABC – Henderson and Sugden, 1992) a été utilisée pour constituer le groupe expérimental. La tâche de pointage est basée sur le modèle de la tâche de Fitts où quatre cibles de différentes largeurs (0,5, 1,0, 2,0 et 5,0 cm) ont été utilisées. Chaque enfant a réalisé 10 essais par cible, soit 40 pointages. Le temps de mouvement et les phases d'accélération et de décélération au niveau de la main ont été mesurés pour quantifier le pointage par un système de mesure du mouvement. Les forces de réaction au sol ont été analysées afin d'observer la stabilité posturale par le déplacement du centre des pressions plantaires évalué par l'intermédiaire d'une plate-forme de force.

Nos principaux résultats montrent des différences significatives entre les enfants sains et TAC pour la réalisation des pointages en posture debout. Plus spécifiquement, le temps de mouvement et les durées aux phases

d'accélération et de décélération du mouvement de pointage sont significativement plus élevés chez les enfants TAC. Les mêmes constat sont obtenus pour la stabilité posturale pendant la réalisation de la tâche de pointage (vitesse et amplitude moyenne antéropostérieure du déplacement du CPP). Ces résultats montrent que les enfants TAC ont plus de difficulté à réaliser un mouvement de pointage rapide et précis en posture debout.

En conclusion, les enfants présentant un TAC ont besoin de plus de temps alloué à la phase de correction du mouvement lors de l'approche d'une cible à atteindre. Dans le contexte de la double tâche, ce traitement central nécessaire au contrôle du mouvement nécessite plus de ressources attentionnelles. Ce coût cognitif supplémentaire se traduit par une diminution de l'attention allouée au contrôle de la posture et résulte en une diminution de la stabilité posturale.

Mots clés : Trouble d'acquisition de la coordination; Enfants; Paradigme de Fitts; Mouvement de pointage; Stabilité posturale; Double tâche.

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier mon directeur, M. Claude Dugas, Ph.D. pour son intérêt et ses conseils depuis le début du projet et mon co-directeur, M. Olivier Hue, Ph.D. qui a fait en sorte que la réalisation du projet se déroule avec rigueur et pour qu'il aboutisse. Merci à M. Vincent Cantin pour son expertise en traitement de données et à M. Pierre Black pour sa contribution au montage expérimental.

Je remercie sincèrement toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'étude.

Enfin, je suis reconnaissante à ma famille et à François, mon conjoint, pour leur soutien.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	I
REMERCIEMENTS	III
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
CHAPITRES	
I. INTRODUCTION	1
ÉPIDEMIOLOGIE.....	2
ÉTIOLOGIE ET FACTEURS DE RISQUE	3
COMORBIDITE	5
CONTROLE POSTURAL	6
DEVELOPPEMENT ET ACQUISITION DU CONTROLE DE LA POSTURE DEBOUT	7
CONTROLE POSTURAL ET MOTEUR DANS UNE TACHE DE POINTAGE	10
II. PROBLEMATIQUE	17
RESULTATS ANTERIEURS.....	17
HYPOTHESES.....	17
III. METHODOLOGIE	19
PARTICIPANTS.....	19
APPAREILLAGE ET PROTOCOLE DE LA TACHE	22
ANALYSE DE LA CINEMATIQUE ET DU MOUVEMENT DE POINTAGE	24
ANALYSE CINETIQUE DE LA POSTURE DEBOUT	25
ANALYSES STATISTIQUES.....	27

IV. RESULTATS	29
PARAMETRES CINEMATQUES DE LA MAIN LORS DU POINTAGE	29
PARAMETRES CINETIQUES DU DEPLACEMENT DU CPP LORS DU POINTAGE	33
V. DISCUSSION	40
VI. CONCLUSION	46
REFERENCES	48
ANNEXES	53
A. RANG PERCENTILE SELON LE SCORE TOTAL AU TEST MABC ET L'AGE	54
B. TRADUCTION DU QUESTIONNAIRE MABC	56
C. TRADUCTION DU TEST DE PSYCHOMOTRICITE MABC	59

LISTE DU TABLEAU ET DES FIGURES

TABLEAU

1. CARACTÉRISTIQUES BIOMÉTRIQUES DES GROUPES DE SUJETS.....	21
--	-----------

FIGURES

1. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL ET POSITIONNEMENT DES MARQUEURS.	23
2. CINÉMATIQUE DU POINTAGE SELON L'AXE VERTICAL POUR UN ENFANT RÉALISANT DES MOUVEMENTS DE POINTAGE	25
3. CINÉMATIQUE DU MOUVEMENT DE POINTAGE CHEZ UN ENFANT SAIN VERS UNE CIBLE DE 2,5 CM	26
4. TEMPS DE MOUVEMENT EXPRIMÉ EN SECONDES POUR CHACUN DES GROUPES ET POUR CHAQUE ID (GROSSEUR DES CIBLES)	30
5. DURÉE DES PHASES D'ACCÉLÉRATION (A) ET DE DÉCÉLÉRATION (B) EXPRIMÉE EN SECONDES POUR CHACUN DES GROUPES ET POUR CHAQUE ID (GROSSEUR DES CIBLES)	32
6. VITESSE MOYENNE DU DÉPLACEMENT DU CPP PENDANT LE TEMPS DE MOUVEMENT EXPRIMÉE EN CM/S POUR CHACUN DES GROUPES ET POUR CHAQUE ID (GROSSEUR DES CIBLES).....	33
7. VITESSE MOYENNE DU DÉPLACEMENT DU CPP PENDANT LES PHASES D'ACCÉLÉRATION (A) ET DE DÉCÉLÉRATION (B) EXPRIMÉE EN CM/S POUR CHACUN DES GROUPES ET POUR CHAQUE ID (GROSSEUR DES CIBLES).....	35
8. AMPLITUDE MOYENNE ANTÉROPOSTÉRIEURE DU DÉPLACEMENT DU CPP PENDANT LE TEMPS DE MOUVEMENT EXPRIMÉE EN CM POUR CHACUN DES GROUPES ET POUR CHAQUE ID (GROSSEUR DES CIBLES)	37
9. AMPLITUDE MOYENNE DU DÉPLACEMENT DU CPP PENDANT LES PHASES D'ACCÉLÉRATION (A) ET DE DÉCÉLÉRATION (B) EXPRIMÉE EN CM POUR CHACUN DES GROUPES ET POUR CHAQUE ID (GROSSEUR DES CIBLES).....	38

CHAPITRE 1

Introduction

Certains enfants de 5 à 12 ans présentent des difficultés motrices et de la maladresse non pathologiques perturbant leurs activités de la vie quotidienne (AVQ). Parmi ces déficits, la difficulté à coordonner des mouvements, un équilibre précaire, des difficultés visuo-motrices, de l'apraxie et des déficiences au niveau perceptif et de la motricité fine et globale sont observés (Assaiante, Christine. et al., 2005; First et Tasman, 2004; Geuze, 2005a; Wilson, 2005; Wilson, Thomas et Maruff, 2002). Ces troubles se manifestent, entre autres, dans l'écriture, le dessin, l'habillage, la locomotion, la manipulation d'outils, la parole, les jeux de construction et les activités sportives.

Depuis 1994, le Diagnostic Statistical Manual of Mental Disorder (DSM-IV) définit le *Trouble de l'Acquisition de la Coordination (TAC)* comme « une performance médiocre dans les activités de la vie quotidienne qui ne correspond ni à l'âge ni au niveau d'intelligence de l'enfant et qui n'est pas imputable à une maladie ni à un accident » (APA, 1994). Cette condition existe depuis plusieurs années et est aussi connue sous d'autres termes tels que : désordre du développement de la coordination, trouble développemental spécifique de la fonction motrice, maladresse, apraxie, dysfonctionnement *cérébral a minima*, dysfonctionnement de l'intégration sensorielle, trouble de l'apprentissage moteur

et le déficit de l'attention, du contrôle moteur et de la perception (Geuze, 2005a; Polatajko et al., 1995; Shumway-Cook et Woollacott, 2001).

Les caractéristiques principales sont un contrôle postural déficient et des difficultés au niveau de l'apprentissage moteur. Les enfants ayant un diagnostic de TAC éprouvent des difficultés à planifier des mouvements et à s'adapter aux changements. Ils ont, également, une déficience dans le processus d'automatisation des mouvements qui assure une exécution adéquate à chaque occasion est observée (Geuze, 2005b).

En bref, les enfants TAC présentent des déficits dans l'intégration des informations sensitivo-sensorielles particulièrement au niveau du contrôle postural et dans les tâches de précision. Cette problématique doit donc être investiguée étant donné que les activités de la vie quotidienne exigent généralement une coordination étroite de ces deux composantes.

Épidémiologie

Le trouble de l'acquisition de la coordination touche de 5% à 6% de la population des jeunes Canadiens âgés entre 5 et 12 ans. La prévalence est de 2 à 3 fois plus élevée chez les garçons (Geuze, 2005a). Le diagnostic est généralement posé vers l'âge de 5 ans alors que le développement moteur est plus stable. Les enfants TAC constituent un groupe hétérogène (Geuze, 2005a; Wilson et al., 2002). Les recherches montrent une grande variabilité au niveau des performances dans des épreuves sensorielles et motrices chez les enfants

TAC. Selon la littérature, de 4 à 5 sous-types sont observés. La majorité des enfants TAC présente des difficultés dans une seule fonction ou habileté spécifique. Certains ont des difficultés avec la motricité globale alors que d'autres ont des difficultés au niveau de l'équilibre ou de la motricité fine. Les enfants TAC peuvent également présenter des lacunes dans l'ensemble des habiletés motrices. De plus, un sous-groupe d'enfants TAC se caractérise par une faible sensibilité kinesthésique (Geuze, 2005a; Johnston, Burns, Brauer et Richardson, 2002; Wilson et al., 2002; Zoia, Castiello, Blason et Scabar, 2005). L'identification du TAC est rendue plus complexe par la présence de troubles additionnels surtout dans les domaines de l'attention et de l'apprentissage. En outre, les études emploient des batteries d'épreuves sensori-motrices qui diffèrent les unes des autres. En somme, une définition plus précise des différents sous-types du TAC pour une meilleure compréhension de cette condition reste un objectif essentiel.

Étiologie et facteurs de risques

L'étiologie du TAC est complexe et demeure encore incomplète à ce jour. Une étude de Geuze (2005) suggère un lien avec la génétique ainsi qu'avec des complications obstétricales et prénatales, tels un petit poids à la naissance, une détresse respiratoire et un score APGAR faible (Geuze, 2005a). Le score APGAR est un test qui à l'aide d'une échelle de 0 à 2 points sert à quantifier cinq signes cliniques de l'adaptation immédiate du nouveau-né à la vie extra-

utérine. Un score inférieur à 7/10 peut indiquer des séquelles cérébrales (Bates, Bickley et Hoekelman, 2001).

Deux études récentes indiquent des causes possibles du TAC (Cherng, Hsu, Chen et Chen, 2007; Wilson et al., 2002). D'une part, Wilson et al. (2002) suggèrent l'existence d'une relation entre les systèmes moteur et cognitif après avoir étudié les effets de la pratique par imagerie mentale sollicitant la rétroaction en boucle fermée. Leur modèle propose que la lenteur et la variabilité des performances motrices des enfants TAC reflètent une lacune dans le processus associé à la copie d'efférence. Dans ce modèle, toute commande issue d'un centre supérieur vers un centre moteur (à l'origine de l'efférence) s'accompagnerait d'une copie d'efférence. L'information sur l'exécution du geste moteur est transmise en retour au centre intégrateur (réafférence) pour confrontation avec la copie d'efférence. Si un décalage est détecté (i.e., erreur de paramétrage d'un déterminant de la commande motrice), un réajustement de la commande motrice sera effectué. Une déficience de ce modèle entraîne donc une augmentation du temps de réaction et du nombre d'erreurs dans la séquence du mouvement, soit une difficulté à utiliser une stratégie de contrôle. Cette stratégie est utilisée en cours de réalisation d'un geste moteur balistique rapide répété et permet de corriger une erreur détectée avant que la rétroaction en boucle fermée ne soit intégrée. Parallèlement et dans ce sens, les enfants TAC montrent de la difficulté à passer d'une stratégie correctrice à l'autre, notamment lors de la phase terminale (phase de

décélération et de précision) d'un mouvement nécessitant vitesse et précision (Smits-Engelsman, Wilson, Westenberg et Duysens, 2003).

D'autre part, Cherng et al. (2007) ont voulu voir si les difficultés de stabilité posturale sont attribuables à un système sensoriel en particulier ou à un déficit dans l'intégration sensorielle chez des enfants TAC de 4 à 6 ans. La tâche consistait à adopter une posture debout quasi-statique pendant une période de 30 secondes selon trois conditions visuelles : 1) yeux ouverts, 2) yeux fermés et 3) vision perturbée. Les trois conditions étaient effectuées une fois sur une plate-forme fixe et une fois sur une plate-forme avec l'ajout d'un tapis en mousse. Les résultats ont montré que les enfants TAC ont une stabilité posturale inférieure à celle des enfants sains et ce pour les 6 conditions expérimentales. Les enfants TAC présentaient également des déficits plus marqués lorsque les informations somato-sensorielles sont perturbées (i.e., sur le tapis en mousse). Ainsi, le déficit de l'organisation sensorielle compromettait l'efficacité de chacun des systèmes sensoriels. Les enfants TAC avaient plus de difficulté à utiliser adéquatement une copie d'efférence lorsque les informations sensorielles sont altérées (Cherng et al., 2007; Wilson et al., 2002).

Comorbidité

La majorité des enfants TAC présente des troubles coexistants. En effet, 50% des jeunes qui éprouvent des difficultés motrices ont également des troubles du développement du langage (Pless, Mia. , Carlsson, Sundelin et Persson, 2000; Rintala et al., 1998). La littérature indique qu'environ 50 % des

enfants de 7 ans diagnostiqués TAC présentent aussi des symptômes modérés à sévères du trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H). Le TAC est aussi lié aux difficultés scolaires et à la dyslexie (Geuze, 2005a; Pless, Mia. et al., 2000; Pless, M., Carlsson, Sundelin et Persson, 2002). De plus, de 90 à 98% des enfants ayant des troubles d'apprentissage sont susceptibles d'avoir aussi des problèmes moteurs et des difficultés d'écriture (Jongmans, Linthorst-Bakker, Westenberg et Smits-Engelsman, 2003).

Ces déficits entraînent des difficultés au quotidien et ont des conséquences au niveau de l'éducation et du développement global (Cherng et al., 2007; Wilson et al., 2002). En effet, de 40 à 50 % des enfants TAC ont des difficultés motrices qui persistent à l'adolescence et à l'âge adulte (Losse et al., 1991; Pless, M. et al., 2002). De plus, les enfants TAC ont moins de loisirs, peu de passe-temps sociaux et de faibles ambitions scolaires (Geuze, 2005a; Johnston et al., 2002; Polatajko et al., 1995). L'importance de déceler précocement cette condition est donc essentielle pour assurer un développement harmonieux de l'enfant.

Contrôle postural

Le développement du contrôle de l'équilibre quasi-statique est une caractéristique de base du développement moteur normal et fondamentale pour réaliser les activités de la vie quotidienne (Assaiante, Christine, 1998; Assaiante, Christine. et al., 2005; Schmid et al., 2005). La posture est définie

comme l'orientation des segments du corps relative au vecteur gravitationnel (Nashner, Shupert, Horak et Black, 1989). Le contrôle postural est l'habileté à maintenir une posture debout tout en conservant la projection au sol du centre de gravité dans les limites de la base de support (Duysens, Clarac et Cruse, 2000; Horak, Shupert et Mirka, 1989).

La stabilité posturale est une composante importante de la santé musculo-squelettique et réfère à l'habileté d'une personne à maintenir, atteindre ou retrouver un état d'équilibre (Nashner et al., 1989). L'équilibre postural est régulé par une interaction complexe des systèmes visuel, vestibulaire et somato-sensoriel (Massion, 1994). La vision est le système primaire qui sert à planifier la locomotion et éviter les obstacles de l'environnement. Le système vestibulaire agit comme une « centrale inertielle » et est sensible aux accélérations linéaires et angulaires (Ivanenko, Grass, Israël et Berthoz, 1997). Enfin, le système somato-sensoriel est composé d'une multitude de récepteurs sensibles à la position et au mouvement des segments du corps qui sont en contact avec des objets et l'orientation de la gravité (Winter, 1995).

Développement et acquisition du contrôle de la posture debout

Entre 6 et 10 ans, le contrôle postural de l'enfant évolue considérablement. Cette amélioration est non linéaire et se caractérise par une diminution de l'amplitude et de la fréquence des oscillations posturales (Assaiante, Christine. et al., 2005; Rival, Ceyte et Olivier, 2005). Le système somato-sensoriel atteint la maturité en premier, suivi par le système visuel et

finalement par le système vestibulaire. Vers l'âge de 4 à 6 ans, le système somato-sensoriel commence à jouer un rôle plus important dans la stabilité posturale pour atteindre son plein potentiel vers l'âge de 7 à 10 ans (Nolan, Grigorenko et Thorstensson, 2005).

Ensuite, une période de transition s'opérationnalise vers l'âge de 7 à 8 ans. À ce moment, les stratégies d'équilibre évoluent et l'utilisation des informations visuelles prend une plus grande importance (Assaiante, Christine. et al., 2005). En effet, l'utilisation de l'information visuelle contribue à diminuer les oscillations posturales lorsqu'un enfant est en position debout statique (Assaiante, Christine, 1998; Rival et al., 2005; Shumway-Cook et Woollacott, 2001). Les enfants de 7-8 ans adopteraient une stratégie posturale plus spécifique et efficace caractérisée par une coordination tête-tronc (Assaiante, Christine. et al., 2005). Cet affinement de leur contrôle postural s'expliquerait par une meilleure coordination du système musculaire et une utilisation accrue des rétroactions et des informations somato-sensorielles. Finalement, vers 10 ans, la maturation du système vestibulaire contribue de plus en plus au maintien de l'équilibre (Geuze, 2005b).

En réaction à un déséquilibre, les enfants de 6-7 ans priorisent une stratégie en boucle fermée et tentent de stabiliser le bassin ou la tête pour rétablir l'équilibre postural. Puis, avec la maturation biologique et les explorations motrices et cognitives, la stratégie en boucle ouverte est favorisée. L'ensemble des afférences (visuelles, somato-sensorielles et vestibulaires) interagissent étroitement pour favoriser le développement du contrôle postural

avec l'accumulation des expériences motrices (Bair, Kiemel, Jeka et Clark, 2007; Nolan et al., 2005; Rival et al., 2005). En effet, les enfants sains de 6 ans obtiennent des amplitudes et des vitesses d'oscillations posturales supérieures aux enfants sains de 10 ans. De plus, les enfants ont tendance à réagir plus rapidement et apportent de grandes corrections pour tenter de rétablir l'équilibre comparés aux adultes qui s'ajustent plus aisément et plus précisément (Rival et al., 2005).

Dès l'âge de 7-10 ans, les enfants présentent des stratégies de contrôle de la posture debout semblables à celles des adultes lorsque le contrôle postural n'est pas perturbé expérimentalement (Assaiante, Christine, 1998; Assaiante, Christine. et al., 2005; Geldhof et al., 2006; Nolan et al., 2005; Shumway-Cook et Woollacott, 2001). Cependant, Rival et al. (2005) montrent que la stabilité posturale est moindre chez des enfants de 6 ans, 8 ans et même 10 ans comparée à celle d'un groupe d'adultes âgés de 24 ans en posture debout avec une perturbation visuelle (i.e., les yeux fermés). Ces résultats suggèrent que dès 6 ans le système de contrôle de la posture est développé et privilégie les afférences visuelles pour maintenir l'équilibre postural. Cependant, le processus de maturation se poursuit jusqu'à 10 ans sans arriver encore à maturité, i.e., en comparaison aux oscillations posturales de moins grande amplitude du groupe d'adultes de 24 ans (Rival et al., 2005).

Chez les enfants TAC, le contrôle postural ne semble pas montrer de différence à celui de sujets sains en condition expérimentale normale, i.e., sans perturbation sensitivo-sensorielle (Geuze, 2005b). Par contre, lors de nouvelles

conditions ou de difficulté inattendue, les enfants TAC montrent de plus grandes oscillations et ce, tant au niveau de la fréquence que de l'amplitude des oscillations (Cherng et al., 2007; Geuze, 2005b). De plus, les enfants TAC dépendent largement de la vision pour augmenter la précision de leur contrôle postural (Van Waelvelde et al., 2006).

Contrôle postural et moteur dans une tâche de pointage

Une tâche de pointage exige une coordination complexe entre le système sensori-moteur, surtout concernant les yeux, la tête et les mains, et le système postural (Saavedra, Woollacott et Donkelaar, 2007). Selon le modèle classique, le mouvement pour atteindre une cible s'exécute avec le membre supérieur et a deux composantes principales. La première, de type balistique, permet d'atteindre rapidement la cible et la seconde est le freinage terminal où interviennent les afférences sensorielles (vision et proprioception). C'est lors de cette deuxième phase que le rétrocontrôle périphérique contribue à l'ajustement terminal (Bioulac, Burbaud, Cazalets et Gross, 2005).

Les recherches actuelles montrent la présence d'un modèle de représentation interne. Celui-ci permet de compenser le délai sensoriel lors de la rétroaction des informations visuelles efférente tout en indiquant la position de la main. Ce processus implique qu'il y a une rétroaction visuelle continue qui guide la main vers l'atteinte de l'objet, ce qui assure un contrôle continu du début jusqu'à la fin du mouvement (Saunders et Knill, 2003, 2005).

L'épreuve de pointage implique une action objet-direction. En 1954, Fitts a élaboré la relation entre le temps d'exécution du mouvement (TM), la largeur de la cible (L) et la distance entre les cibles (D). Cette équation modélise la relation observée entre le temps que prendra une tâche de pointage et les paramètres D et L.

$$\text{L'équation est } TM = a + b \left[\log_2 \left(\frac{2D}{L} \right) \right]$$

La section entre crochets représente l'indice de difficulté (ID). Le TM est donc une fonction linéaire de l'ID ($ID = \log_2 2D/L$) dans cette tâche où a est la valeur de Y lorsque la droite croise l'axe des ordonnées et b représente la pente de la droite. La pente se calcule à partir des données obtenues pour chacune des conditions expérimentales de l'équation. La valeur de la pente permet de déterminer la modulation de la stratégie adoptée par les sujets en fonction de l'ID (Fitts, 1954). Typiquement, le TM nécessaire pour atteindre une cible augmente linéairement avec l'ID. Cette relation met en évidence que la capacité de traitement de l'information doit être considérée comme un système à capacité limitée. La complexification du mouvement se traduit par une augmentation du temps d'exécution et/ou une variabilité de la réponse motrice. Cette relation permet également d'expliquer la diminution du TM en fonction de la grosseur de la cible entre l'enfance et l'âge adulte. De plus, l'observation de l'évolution du développement du processus cognitif des capacités de l'enfant face à différents indices de difficulté est permise (Berrigan, 2008; Choudhury,

Charman, Bird et Blakemore, 2007; Lambert et Bard, 2005; Smits-Engelsman et al., 2003).

Jusqu'à présent, les études effectuées lors d'une tâche de pointage chez les enfants ont surtout été réalisées en posture assise. Plusieurs raisons appuient cette décision. En effet, les enfants sains de 6-7 ans éprouvent beaucoup de difficulté à isoler leur mouvement oculaire de ceux de la tête ou de la main surtout lors de l'addition d'une tâche qui exige une stabilité posturale. Vers 7-10 ans, les enfants ont déjà plus de facilité à isoler leur mouvement oculaire mais ce n'est que vers 10-15 ans que la coordination oeil-main est efficace (Saavedra et al., 2007). L'ajout d'un support postural (i.e. exécuter une tâche en position assise) diminue le temps nécessaire pour planifier et exécuter un mouvement et contribue par le fait même à augmenter la vitesse des mouvements isolés (Saavedra et al., 2007). Berrigan et al. (2006 et 2008) ont émis les mêmes observations et soutiennent que le contrôle de l'équilibre postural diminue la performance d'un mouvement du membre supérieur selon le degré de difficulté de la tâche.

Ainsi, lorsque les enfants TAC exécutent une épreuve de pointage, plusieurs déficiences dans leurs stratégies de planification motrice sont observées. D'une part, ces enfants performant moins bien lors de l'exécution d'un mouvement précis au niveau des paramètres temporels et spatiaux comparativement aux sujets sains d'un même groupe d'âge (Mon-Williams, Wann et Pascal, 1999; Van Waelvelde et al., 2006). Les performances sont également davantage perturbées si les informations sensorielles, telles la vision

ou l'audition, sont altérées ou absentes. D'autre part, les enfants TAC éprouvent beaucoup de difficulté à utiliser l'information visuelle pour guider les mouvements de leurs membres (Cherng et al., 2007).

En outre, les résultats de Zoia et al. (2005) indiquent que des enfants TAC de 7-8 ans avaient plus de difficulté à évaluer la distance entre leur main et la cible dans une tâche d'atteinte en posture assise ainsi qu'à s'ajuster lors de la période de décélération dans la trajectoire vers la cible comparés à des enfants sains du même âge. Leur tâche expérimentale consistait à pointer une cible selon deux conditions visuelles (vision et vision perturbée, i.e. lentilles prismatiques provoquant une sous-estimation ou une surestimation de la distance). Leurs résultats montrent que la longueur de la trajectoire du pointage des enfants sains et TAC diminue avec l'âge. Toutefois, l'écart est plus grand chez les enfants TAC. De plus, les enfants TAC montraient des stratégies de planification et d'exécution différentes comparés aux sujets sains en adoptant une longueur de trajectoire plus grande et ayant davantage de déviations (Zoia et al., 2005). Ainsi, les enfants TAC de 7-8 ans ne semblaient pas encore avoir développé au maximum l'aspect du calibrage et de l'ajustement requis au programme moteur pour l'atteinte d'une cible.

Une autre étude révèle que les enfants TAC ont de la difficulté avec le processus de copie d'efférence (Maruff, Wilson, Trebilcock et Currie, 1999). L'expérimentation réalisée à l'aide de la tâche de Fitts a été effectuée chez un groupe d'enfants sains et un groupe d'enfants TAC selon deux conditions (avec mouvement réel et par imagerie). Le temps d'exécution de la tâche (réel ou par

imagerie) a été chronométré et comparé. Chaque sujet exécutait un total de 20 essais (quatre essais et cinq cibles de grosseurs différentes). Les résultats indiquent que la performance au niveau de la vitesse et de la précision des enfants sains est conforme à la loi de Fitts. En effet, le TM pour atteindre une cible augmente au fur et à mesure que le diamètre de celle-ci diminue. Par contre, pour les enfants TAC, seuls les mouvements en mode réel répondent à cette théorie. Cependant, les mouvements en mode réel des enfants TAC étaient réalisés avec une lenteur significative comparés aux enfants sains, suggérant un déficit dans le processus de copie d'efférence (Maruff et al., 1999).

Par ailleurs, Smits-Engelsman et al. (2003) rapportent une grande dépendance à la rétroaction visuelle des enfants TAC ayant également des troubles d'apprentissage lors d'une tâche de précision en posture assise. Le protocole expérimental utilisé était la tâche de Fitts et consistait à pointer deux cibles sur une feuille de papier déposée sur une tablette graphique. Deux cibles séparées de 2,5 cm combinées avec trois largeurs de cible permettent d'obtenir trois indices de difficulté. La tâche consiste à tracer une ligne droite entre les deux cibles dans deux conditions expérimentales : le mouvement simple et le mouvement cyclique. Le mouvement simple débute à une des deux cibles et, au signal sonore, le sujet trace une ligne le plus vite et le plus précisément possible jusqu'à l'autre cible. Ensuite, le sujet attend à nouveau le signal avant de répéter successivement le même geste 20 fois. Le mouvement cyclique consiste à répéter le geste de tracer une ligne entre les cibles de façon continue pendant 20 secondes. Les deux conditions sont répétées deux fois.

Les résultats montrent que le TM augmente au fur et à mesure que la grosseur de la cible diminue et ce, selon les deux conditions expérimentales et dans les deux groupes. Cependant, le TM, la longueur de la trajectoire et la pression sur le crayon sont plus élevés chez le groupe expérimental. De plus, on observe un nombre d'erreurs plus élevé et une précision moindre chez les enfants TAC surtout lorsque le même geste est répété consécutivement. Ainsi, ces enfants auraient plus de difficulté à adopter une stratégie en boucle ouverte et, donc, à utiliser la rétroaction pour ajuster leur mouvement (Smits-Engelsman et al., 2003).

À notre connaissance, une seule étude s'est intéressée à observer les enfants TAC en double tâche dans laquelle la tâche primaire est la posture debout. Dans leur étude, Johnston et al. (2002) ont analysé l'activité musculaire des muscles posturaux anticipatoires lors d'un mouvement de pointage. Leurs sujets en posture debout devaient pointer en direction d'un repère mural vers l'avant. Leurs résultats indiquent que les enfants TAC montrent peu d'activation au niveau des muscles posturaux anticipatoires et une désorganisation de l'activité musculaire des muscles proximaux et posturaux. De plus, les enfants TAC ont une augmentation du temps de réaction (TR) et du TM lors du pointage comparés aux enfants sains. Les auteurs suggèrent qu'une incoordination de l'activité des muscles posturaux pourrait contribuer à une diminution de la stabilité des membres supérieurs et pourrait avoir comme conséquence un pauvre contrôle du mouvement du bras lors de la tâche de pointage chez ces

enfants (Johnston et al., 2002). Toutefois, dans cette étude, la cinématique du bras n'était pas quantifiée.

En somme, les enfants TAC montrent à la fois des déficiences au niveau de la stabilité posturale et de la précision lors de l'exécution d'une tâche de pointage. Étant donné que les recherches antérieures concernant les enfants TAC se concentrent majoritairement sur une de ces deux déficiences, cela constitue une limite quant à la connaissance de leur comportement en situation de double tâche. Or, les activités de la vie quotidienne exigent fréquemment une étroite coordination entre les systèmes posturaux et moteurs comme dans les activités quotidiennes ou les activités sportives. Ainsi, l'intérêt de notre étude portera sur l'évaluation des enfants TAC lors de l'exécution d'une tâche requérant à la fois stabilité posturale et précision. Cette double tâche permettra de mieux documenter leurs caractéristiques et leurs comportements au niveau du contrôle moteur en quantifiant les performances.

CHAPITRE 2

Problématique

Résultats antérieurs

Notre revue de la littérature souligne que les enfants TAC présentent généralement une instabilité posturale. L'équilibre est affecté davantage lors des conditions expérimentales qui exigent de l'intégration sensorielle. Afin d'investiguer les déficits des enfants TAC, notre étude porte sur le contrôle postural lors d'une tâche de pointage rapide avec le bras. L'objectif général de cette étude est de déterminer les différences entre les enfants TAC et les enfants asymptotiques du même âge durant une tâche de pointage avec le bras.

Hypothèses

Selon la revue de la littérature, les enfants TAC ont des limitations au niveau de la stabilité posturale lors de conditions nouvelles (Geuze, 2005b; Van Waelvelde et al., 2006). De plus, les enfants TAC éprouvent plusieurs difficultés à s'ajuster et à exécuter un mouvement efficace lors d'une tâche de vitesse et précision (Johnson et Wade, 2007; Smits-Engelsman et al., 2003; Zoia et al., 2005). Ainsi, les effets de cette double tâche au niveau des stratégies

d'exécution motrices choisies et utilisées par les enfants TAC et asymptotiques seront observés. En effet, les enfants TAC devraient montrer des ajustements de contrôle différents des sujets asymptotiques lors de l'épreuve de pointage au niveau des paramètres temporels et spatiaux, trahissant davantage de difficultés d'exécution. Dès lors, le TR et le TM devraient être plus longs chez les enfants TAC et différents en fonction de l'ID. De la même manière, les enfants TAC devraient montrer plus de difficulté à gérer une base stabilisée, i.e. posture debout, lors de l'exécution du mouvement de pointage. Ainsi, la vitesse moyenne du déplacement du centre des pressions plantaires (CPP) et les amplitudes antéropostérieures moyennes devraient être plus importantes chez les enfants TAC et ce, en fonction de l'ID.

CHAPITRE 3

Méthodologie

Participants

Deux cent vingt-cinq élèves, ont été évalués selon le questionnaire d'évaluation en psychomotricité « Movement Assessment Battery for Children » (MABC) (Henderson, S. E. et Sugden, 1992) dans trois écoles primaires de la région de Trois-Rivières (Ste-Bernadette, St-Dominique et Les Terrasses). Ce test est destiné aux enfants de 4 à 12 ans et sert à évaluer les capacités psychomotrices dans le but de distinguer les enfants qui ont un retard de développement moteur. Un résultat total maximal correspondant au 15^{ème} percentile au MABC constitue le critère de sélection pour l'appartenance au groupe contrôle (Annexe A).

Le MABC comprend un questionnaire et une batterie de tests moteurs (Annexes B et C). Cette épreuve est la plus fréquemment utilisée et est reconnue comme étant la plus adéquate pour évaluer les enfants à risque sur le plan moteur, particulièrement les TAC (Geuze, 2005a). Le questionnaire contient 48 questions, cotées de 0 à 3 points selon l'interaction entre l'enfant et son environnement, et 12 questions cotées de 0 à 2 points concernant ses difficultés motrices. Le score de l'enfant pour le questionnaire a été fixé à 50 ou plus pour procéder à la seconde phase de l'expérimentation.

Le test implique huit items qui sont regroupés en trois catégories, soit la dextérité manuelle, la maîtrise de balle et l'équilibre statique et dynamique. Chaque item est mesuré de façon qualitative par un évaluateur qui observe le contrôle du corps, la posture et l'adaptation aux critères de l'épreuve. La durée de passation du test est de vingt à quarante minutes par enfant. Une fois l'évaluation des items complétée, les données brutes sont transformées en scores standards. L'addition des points de chaque catégorie permet d'obtenir un score total.

Les enseignants en éducation physique et à la santé ont rempli le questionnaire. Des 225 élèves, 27 correspondaient au profil pour poursuivre les épreuves du test psychomoteur MABC. L'évaluation en gymnase à chacune des écoles a été effectuée par deux évaluateurs maîtrisant les procédures du MABC. Des 27 élèves évalués, 14 correspondaient aux critères recherchés pour constituer le groupe expérimental.

Finalement, 23 enfants d'un âge compris entre 8 ans et 11 mois et 11 ans et 2 mois ont été recrutés et ont participé à l'étude après l'obtention du consentement éclairé des parents. Le formulaire a été signé avant le début des procédures expérimentales. Lors du traitement des données, deux enfants ont été exclus en raison d'un indice de masse corporelle correspondant à une condition d'obésité qui pouvait introduire un biais expérimental. En effet, les résultats de plusieurs travaux récents montrent que l'obésité est un facteur d'instabilité posturale (Hue et al., 2007; Teasdale et al., 2007) et d'altération de la performance dans une tâche de pointage (Berrigan, 2008; Berrigan et al.,

2006). Ainsi, 10 enfants ayant un TAC (6 garçons et 4 filles) ont constitué le groupe expérimental et 11 enfants exempts de toute pathologie, trouble et/ou déficit (6 garçons et 5 filles) ont constitué le groupe contrôle. Le tableau 1 présente leurs principales caractéristiques biométriques. Par ailleurs, 4 enfants du groupe contrôle étaient diagnostiqués TDA/H et prenaient des médicaments (3 enfants prenaient du Ritalin® ou du Concerta® seulement durant l'année scolaire et un enfant prenait de l'Adéral® quotidiennement). Dans le groupe expérimental, 2 enfants diagnostiqués TDA/H prenaient du Concerta® ou du Ritalin® durant l'année scolaire et un enfant était atteint d'autisme léger. L'expérimentation ayant eu lieu au mois d'août, seulement 2 enfants étaient sous médication pendant l'évaluation. Cette étude a été approuvée par le Comité d'éthique de la recherche de l'université du Québec à Trois-Rivières (certificat portant le numéro CER-08-136-04.01.01 émis le 1^{er} mai 2008).

Tableau 1: Caractéristiques biométriques des groupes de sujets. Les valeurs sont exprimées en fonction de la moyenne \pm l'écart type.

	Groupe contrôle (n=11)	Groupe expérimental (n=10)
Âge (année)	9,9 \pm 0,9	9,6 \pm 1,0
Taille (m)	136,3 \pm 6,3	134,4 \pm 7,6
Poids (kg)	33,9 \pm 7,2	31,0 \pm 7,2
Score MABC	10,3 \pm 2,4	24,1 \pm 5,1

Appareillage et protocole de la tâche

Une adaptation du paradigme de Fitts (Berrigan et al., 2006) a été utilisée afin d'observer l'exécution d'une tâche motrice de pointage réalisée en posture debout (figure 1). Un panneau de 25 cm de largeur et de 45 cm de longueur est orienté dans le plan horizontal et positionné en face du sujet. Le panneau possède un point de départ en plein centre et une cible à 15 cm du point de départ. L'atteinte de la cible se fait à l'aide d'un stylet. Le stylet et la cible sont reliés entre eux électriquement et un signal permet de déterminer le contact lors du départ et à la fin du mouvement. Le panneau est placé à la hauteur du nombril et à une distance de largeur de la main du sujet. Les sujets sont debout et la position des pieds est dessinée sur la plate-forme de force pour assurer une position constante pendant toute la durée des essais.

Au début de chaque essai, le sujet tient le stylet entre l'index et le pouce de la main dominante sur l'aire point de départ. Au signal sonore (264 Hz), la tâche consiste à aller toucher le plus rapidement et le plus précisément possible la cible. Pour tous les essais, l'atteinte de la cible se fait avec une extension du bras, sans consigne quant à la position du tronc. Cinq essais de pratique sont effectués avant le début de l'évaluation.

Quatre conditions expérimentales sont testées en ordre aléatoire, soit les quatre différentes largeurs de cible : 0,5, 1,0, 2,5 et 5,0 cm. Dix essais sont exécutés pour chacune des conditions expérimentales. Un taux d'erreurs de 10% par bloc d'essais ou un minimum de 8 essais réussis sur 10 est accepté. L'essai est considéré comme réussi si le sujet atteint la cible tout en maintenant

ses deux pieds à l'endroit désigné sur la plate-forme de force. Si une troisième erreur était commise dans le même bloc d'essais, la condition expérimentale était cessée et un nouveau bloc était présenté.

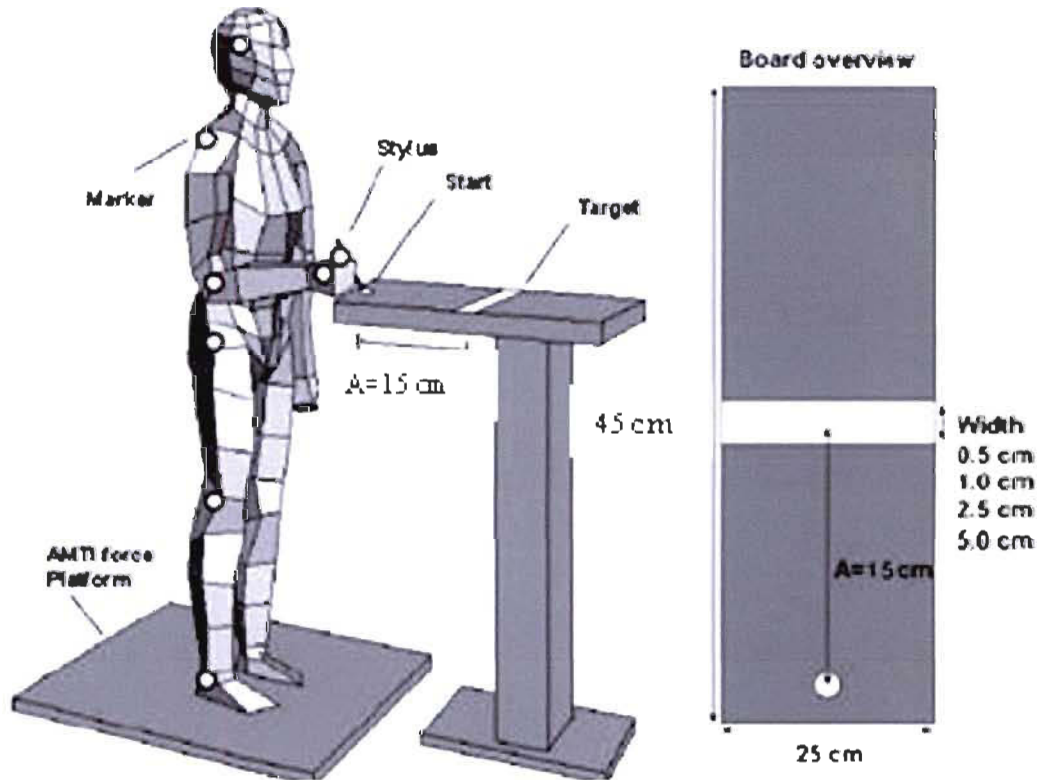


Figure 1: Dispositif expérimental et positionnement des marqueurs (Tiré et adapté de Berrigan et al (2006))

Pour prévenir la fatigue, une période de repos de 15 secondes a été allouée entre chaque bloc d'essais.

Analyse de la cinématique du mouvement de pointage

La cinématique du corps est obtenue par le système Optotrak Certus® (Northern Digital Inc., Waterloo, ON, Canada). Sept diodes à infra-rouge sont placées sur le côté droit du participant : cheville (malléole latérale), genou (condyle latéral du tibia), hanche (grand trochanter du fémur), épaule (épicondyle latéral de l'humérus), coude (épicondyle latéral), poignet (processus styloïde du radius) et à la tête (tempe) (figure 1). La cinématique de la main est étudiée par l'analyse du temps de mouvement et la durée des phases d'accélération et de décélération. La vitesse résultante de la main est calculée à partir du marqueur sur le poignet. Les données brutes de la position sont filtrées (filtre Butterworth de 4^e ordre avec une fréquence de coupure à 8 Hz) et dérivées à deux reprises pour obtenir les courbes d'accélérations. Toutes les courbes sont visuellement inspectées avant le calcul de la durée des phases d'accélération et de décélération (figure 2).

Le contact électrique entre le stylet au point de départ et chaque cible est utilisé pour déterminer le début et la fin du mouvement. Le temps entre le signal auditif et le début du mouvement est défini comme le *temps de réaction* (TR). La durée entre le début du mouvement et le contact avec la cible est le *temps de mouvement* (TM).

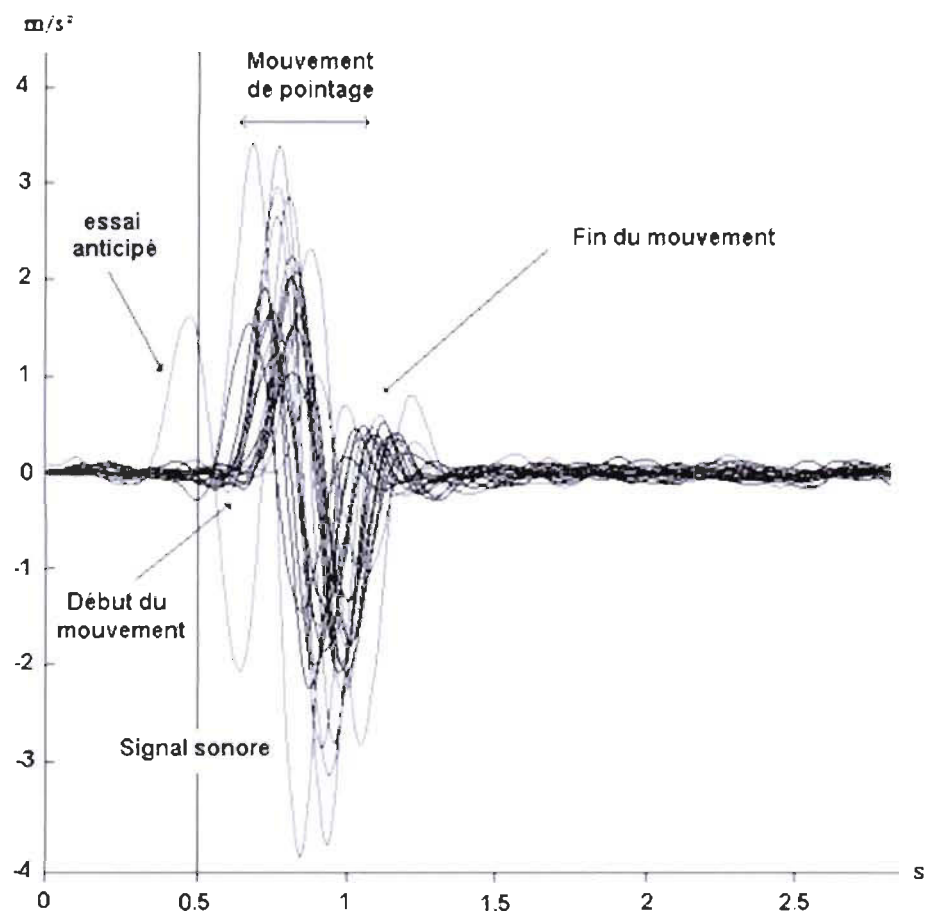


Figure 2: Cinématique du pointage selon l'axe vertical pour un enfant réalisant des mouvements de pointage. Cette représentation graphique est l'expression visuelle de la cinématique des mouvements de pointage amorcés après l'intégration du signal sonore (0,5 seconde). Un mouvement de pointage réalisé par anticipation (avant le signal sonore) est révélé par cette figure.

Analyse cinétique de la posture debout

La posture debout est évaluée à l'aide d'une plate-forme de force (AMTI OR6-7[®], Advanced Mechanical Technology Inc., Watertown, MA, États-Unis). Les composantes de force et de moment sont amplifiées et transmises par un logiciel (conversion A/D sur 12-bits) à un ordinateur. Tous les signaux sont enregistrés à 500 Hz. La figure 3 est une illustration de la cinétique obtenue lors du mouvement de pointage.

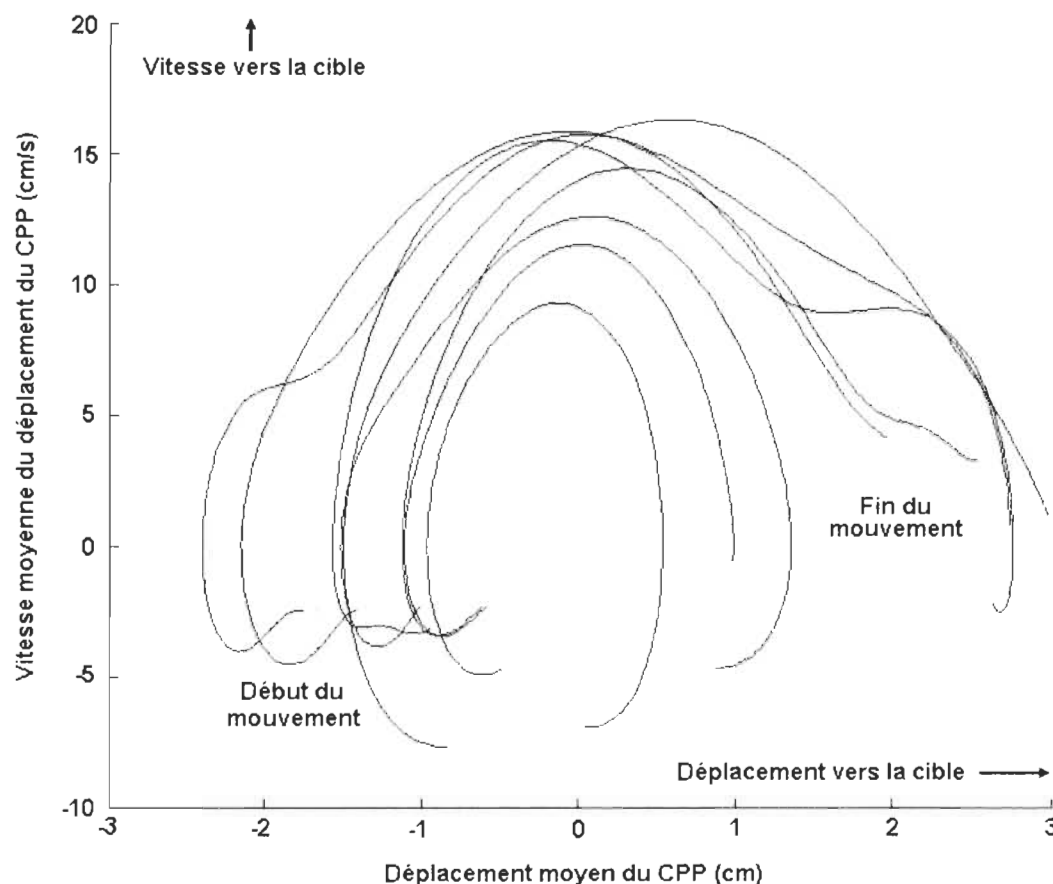


Figure 3: Cinétique du mouvement de pointage chez un enfant sain vers une cible de 2,5 cm. Cette représentation graphique est l'expression visuelle de la cinétique au niveau du CPP des mouvements de pointage. Ce plan de phase entre le déplacement moyen (cm) et la vitesse moyenne du déplacement (cm/s) du CPP correspond au début du mouvement de la main jusqu'à l'atteinte de la cible par le stylet.

La plate-forme de force permet de mesurer la position et le déplacement du centre des pressions plantaires (CPP). Les caractéristiques du déplacement du CPP reflétant les oscillations posturales sont obtenues par les coordonnées médio-latérales (X) et antéro-postérieures (Y) du CPP. Les paramètres qui permettent de quantifier la stabilité posturale sont évalués par la vitesse du CPP (vitesse moyenne du déplacement du CPP durant la période évaluée qui représente une sommation de tous les déplacements divisée par la période de

temps) et par la magnitude des déplacements du CPP en X et en Y (point d'excursion maximal du CPP) (Maki, 1993).

Analyses statistiques

Des 840 essais réalisées (40 essais×21 sujets), 722 ont été retenus pour l'analyse statistique. Les 118 essais omis (14%) en raison de l'une des trois conditions suivantes: 1) l'enfant réagissait avec anticipation au signal sonore (i.e., mouvement de pointage débutant avant le signal sonore), 2) l'enfant montrait un TR excessivement supérieur à la moyenne (i.e. soit plus de 2 écarts-types) et 3) l'enfant était en mouvement sur la plate-forme de force avant le signal sonore (contre la consigne d'être stable avant le signal sonore).

Toutes les données ont été traitées avec le logiciel Statistica software 7.0 (Statsoft, Inc, Tulsa, OK). Toutes les variables dépendantes du mouvement de pointage au niveau de la main (TR, TM, durée des phases d'accélération et de décélération) et du déplacement du CPP (vitesse CPP et amplitude en Y) ont été soumises à des analyses de variance à mesures répétées sur chaque facteur. Le plan expérimental est A x B. A possède 2 niveaux représentés par les groupes TAC et témoin. B possède 4 niveaux représentés par la précision des cibles, soit une largeur de 0,5, 1,0, 2,5 ou 5,0 cm. Le facteur B est répété (r) car les sujets effectuent 4 niveaux de toutes les conditions. Le test utilisé vérifiant l'hypothèse nulle est le Lambda de Wilk. Un test à postériori effectuant des comparaisons deux à deux, le Newman-Keuls, a été employé afin de déterminer le niveau des effets d'interaction entre les facteurs inter-sujets et

intra-sujets. Le seuil de significativité induisant un écart significatif est fixé à $\alpha < 0,05$. Toutes les valeurs sont exprimées en fonction de leur moyenne \pm 95% de l'intervalle de confiance (Moyenne \pm 95%IC).

CHAPITRE 4

Résultats

Paramètres cinématiques de la main lors du pointage

L'analyse de la cinématique de la main pendant la tâche de pointage illustre plusieurs différences de groupe.

Temps de réaction. L'ANOVA ne révèle aucun effet d'interaction Groupes × ID pour le temps de réaction ($F(3, 57)=1.95, p=0.13$). Aucun effet principal n'est révélé, que ce soit un effet Groupes ($F(1, 19)=0.50, p=0.49$) ou un effet ID ($F(3, 57)=1.37, p=0.26$). Ces résultats indiquent que les enfants TAC et sains réagissent d'une manière similaire à un signal sonore en vue de produire un mouvement finalisé de pointage réalisé en posture debout. Autrement dit, le TAC n'affecte pas le traitement de l'information, de l'intégration d'une afférence auditive jusqu'à l'exécution d'une commande motrice planifiée.

Temps de mouvement. La figure 4 illustre les TMs moyens réalisés pour chaque groupe et pour chaque ID de cible. L'ANOVA ne révèle aucun effet d'interaction Groupes × ID pour le TM ($F(3, 57)=1.98, p=0.13$). Par contre, une différence significative est relevée entre les deux groupes ($F(1, 19)=27.04, p<0.001$). Les enfants TAC ont des TM significativement plus élevés et ce, pour chaque largeur de cible, comparés aux enfants du groupe contrôle, en moyenne de 142 ms (481 *versus* 339 ms, respectivement). Conformément à la loi de Fitts, un effet principal ID significatif est relevé ($F(3, 57)=5.16, p<0.01$). Une décomposition de cet effet principal montre que les TMs sont significativement

différents entre les cibles 0.5 et 2.5 cm ($p < 0.05$), 0.5 et 5.0 cm et 1.0 et 5.0 cm ($p < 0.05$). Ces résultats suggèrent que le TAC augmente la difficulté à réaliser la tâche de pointage et requiert chez ces enfants d'augmenter leur TM lorsque l'ID augmente (petites cibles de 0,5 et 1,0 cm versus grosses cibles de 2,5 et 5,0 cm).

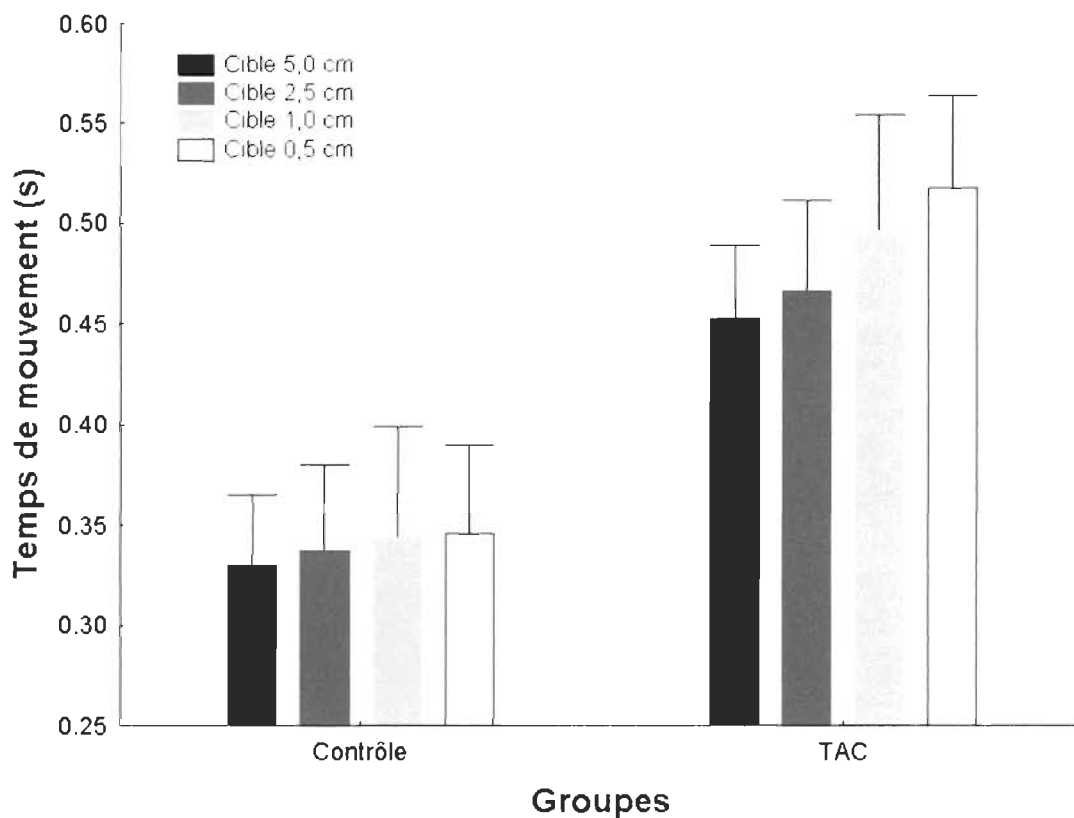


Figure 4: Temps de mouvement exprimé en secondes pour chacun des groupes et pour chaque ID (grosseur des cibles). Les valeurs sont exprimées en fonction de la moyenne et de 95% de l'intervalle de confiance.

Phases d'accélération et de décélération. Les durées des phases d'accélération et de décélération permettent d'analyser comment le contrôle du

mouvement de pointage varie en fonction de l'ID et entre les deux groupes (figures 5A et B).

Concernant la phase d'accélération (figure 5A), l'ANOVA ne révèle aucun effet d'interaction Groupes \times ID ($F(3, 57)=0.01$, $p=1.0$). Par contre, une différence significative est relevée entre les deux groupes ($F(1, 19)=32.23$, $p<0.001$). Les enfants TAC ont des durées de phase d'accélération significativement plus élevées et ce, pour chaque largeur de cible, que les enfants du groupe contrôle, la différence étant de 56 ms (235 *versus* 179 ms, respectivement). Enfin, aucun effet principal ID significatif n'est relevé ($F(3, 57)=0.06$, $p=0.98$).

Concernant la phase de décélération (figure 5A), l'ANOVA révèle un effet d'interaction Groupes \times ID ($F(3, 57)=4.12$, $p<0.05$). La décomposition de cette interaction montre que les deux effets principaux, Groupes ($F(1, 19)=15.19$, $p<0.001$) et ID ($F(3, 57)=10.68$, $p<0.001$), sont significatifs. Par contre, une différence significative est relevée entre les deux groupes ($F(1, 19)=32.24$, $p<0.001$). Les enfants TAC ont des durées de phase de décélération significativement plus élevées ($p<0.01$) et ce, pour chaque largeur de cible que les enfants du groupe contrôle, en moyenne de 86 ms (246 *versus* 160 ms, respectivement). Conformément à la loi de Fitts, un effet principal ID significatif est relevé. La décomposition de cet effet principal montre que les durées des phases de décélération sont significativement différentes et plus importantes entre les cibles 0.5, 1.0 et 2.5 et 5.0 cm ($p<0.05$).

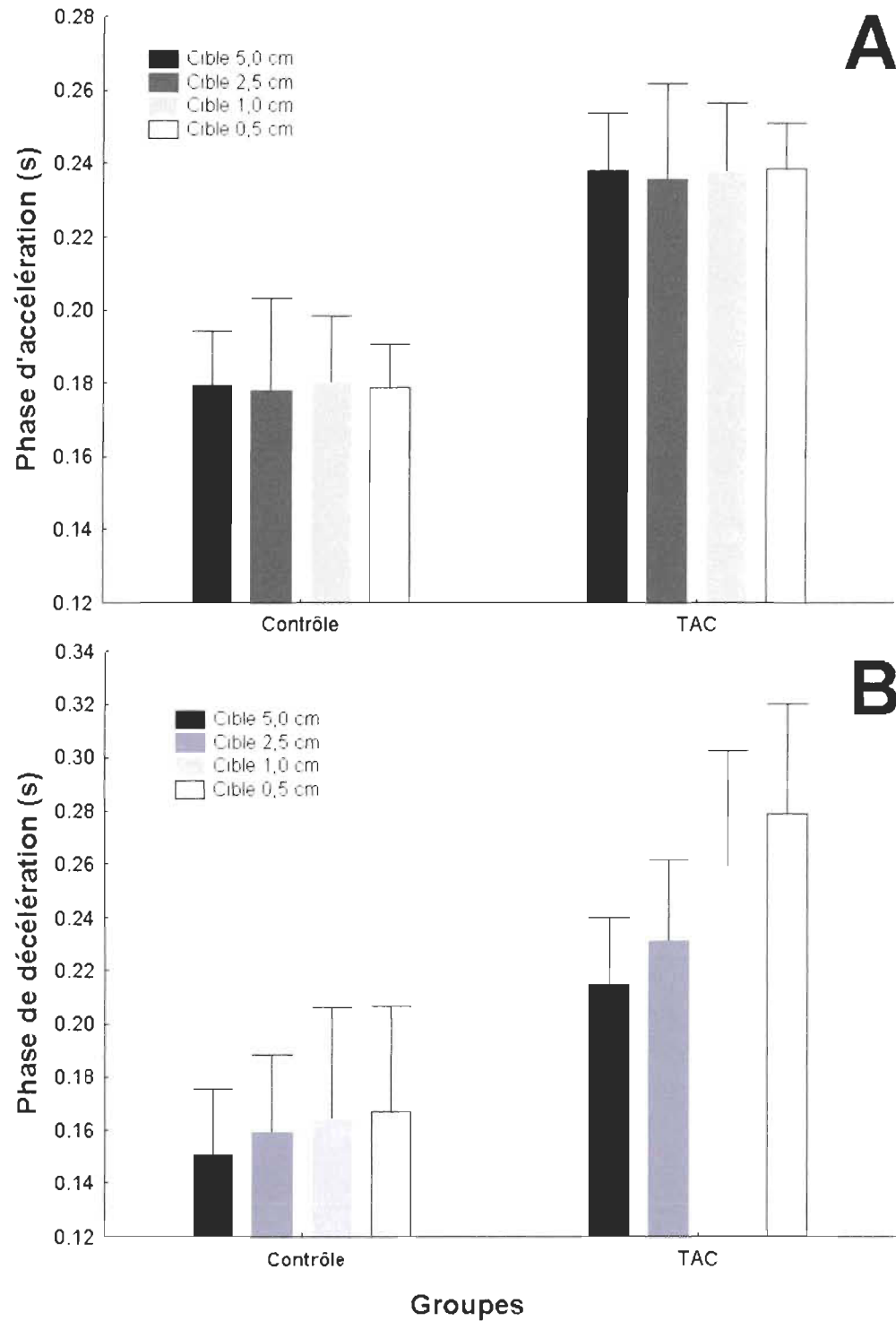


Figure 5: Durée des phases d'accélération (A) et de décélération (B) exprimée en secondes pour chacun des groupes et pour chaque ID (grosesse des cibles). Les valeurs sont exprimées en fonction de la moyenne et de 95% de l'intervalle de confiance.

Paramètres cinétiques du déplacement du CPP lors du pointage.

L'analyse de la cinétique du contrôle postural de la posture debout pendant la tâche de pointage montre plusieurs différences de groupe.

Vitesse moyenne du déplacement du CPP pendant le temps de mouvement. La figure 6 illustre les vitesses moyennes du déplacement du CPP pendant les temps de mouvements moyens réalisés pour chaque groupe et pour chaque ID de cible. L'ANOVA ne révèle aucun effet d'interaction Groupes \times ID pour le temps de mouvement ($F(3, 57)=0.22, p=0.88$).

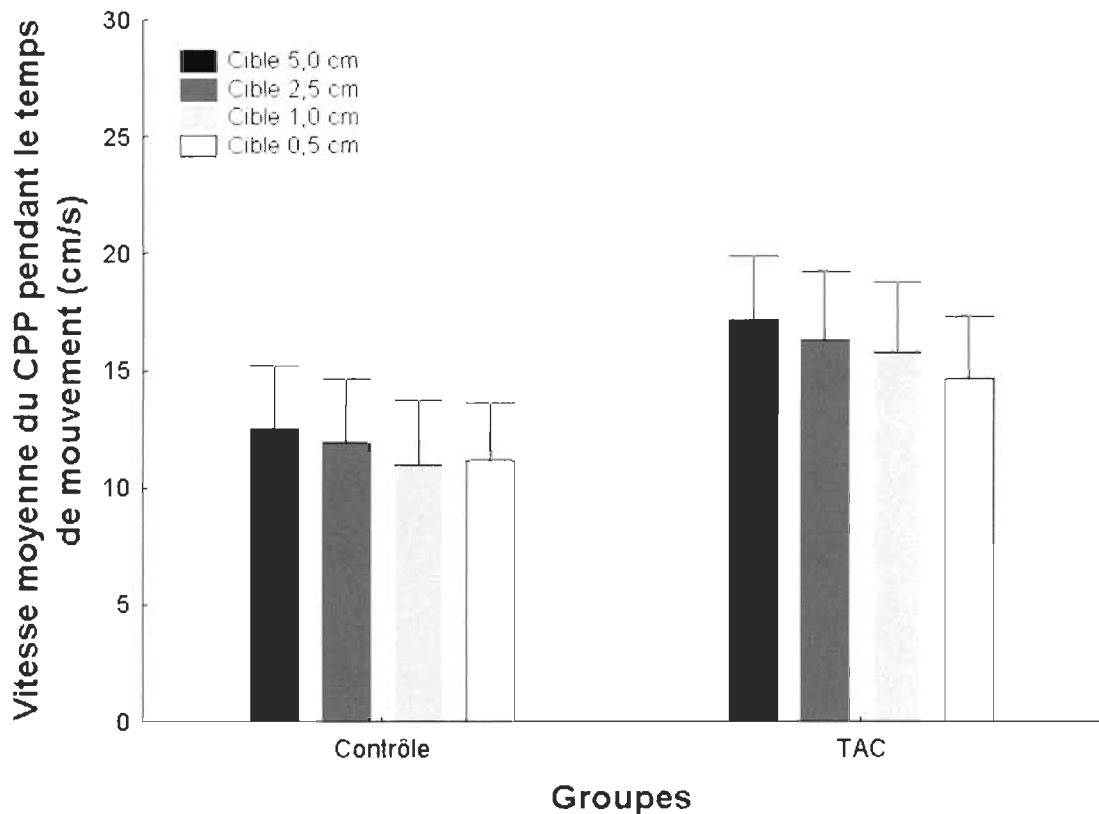


Figure 6: Vitesse moyenne du déplacement du CPP pendant le temps de mouvement exprimée en cm/s pour chacun des groupes et pour chaque ID (grosueur des cibles). Les valeurs sont exprimées en fonction de la moyenne et de 95% de l'intervalle de confiance.

Par contre, une différence significative est relevée entre les deux groupes ($F(1, 19)=7.84, p<0.05$). Les enfants TAC ont des vitesses du déplacement du CPP pendant le mouvement significativement plus élevées et ce, pour chaque largeur de cible, que les enfants du groupe contrôle, la différence étant de 4,4 cm/s (16,0 *versus* 11,6 cm/s, respectivement). Enfin, même si les valeurs moyennes de la vitesse du déplacement du CPP pendant les TMs augmentent avec l'ID de cible, aucun effet principal ID significatif n'est relevé ($F(3, 57)=2.02, p=0.12$).

Vitesse moyenne du déplacement du CPP pendant les phases d'accélération et de décélération. Les vitesses moyennes du déplacement du CPP pendant les durées des phases d'accélération et de décélération du mouvement de pointage permettent d'analyser comment le contrôle de la posture debout varie en fonction de l'ID chez les deux groupes (figures 7A et B).

Concernant la vitesse moyenne du déplacement du CPP pendant la phase d'accélération (figure 7A), l'ANOVA ne révèle aucun effet d'interaction Groupes \times ID ($F(3, 57)=0.49, p=0.69$). Par contre, une différence significative est relevée entre les deux groupes ($F(1, 19)=8.67, p<0.01$). Les enfants TAC ont des vitesses moyennes du déplacement du CPP pendant les phases d'accélération significativement plus élevées et ce, pour chaque largeur de cible que les enfants du groupe contrôle, en moyenne de 4,8 cm/s (16,5 *versus* 11,7 cm/s, respectivement). Enfin, aucun effet principal ID significatif n'est relevé ($F(3, 57)=1.97, p=0.13$).

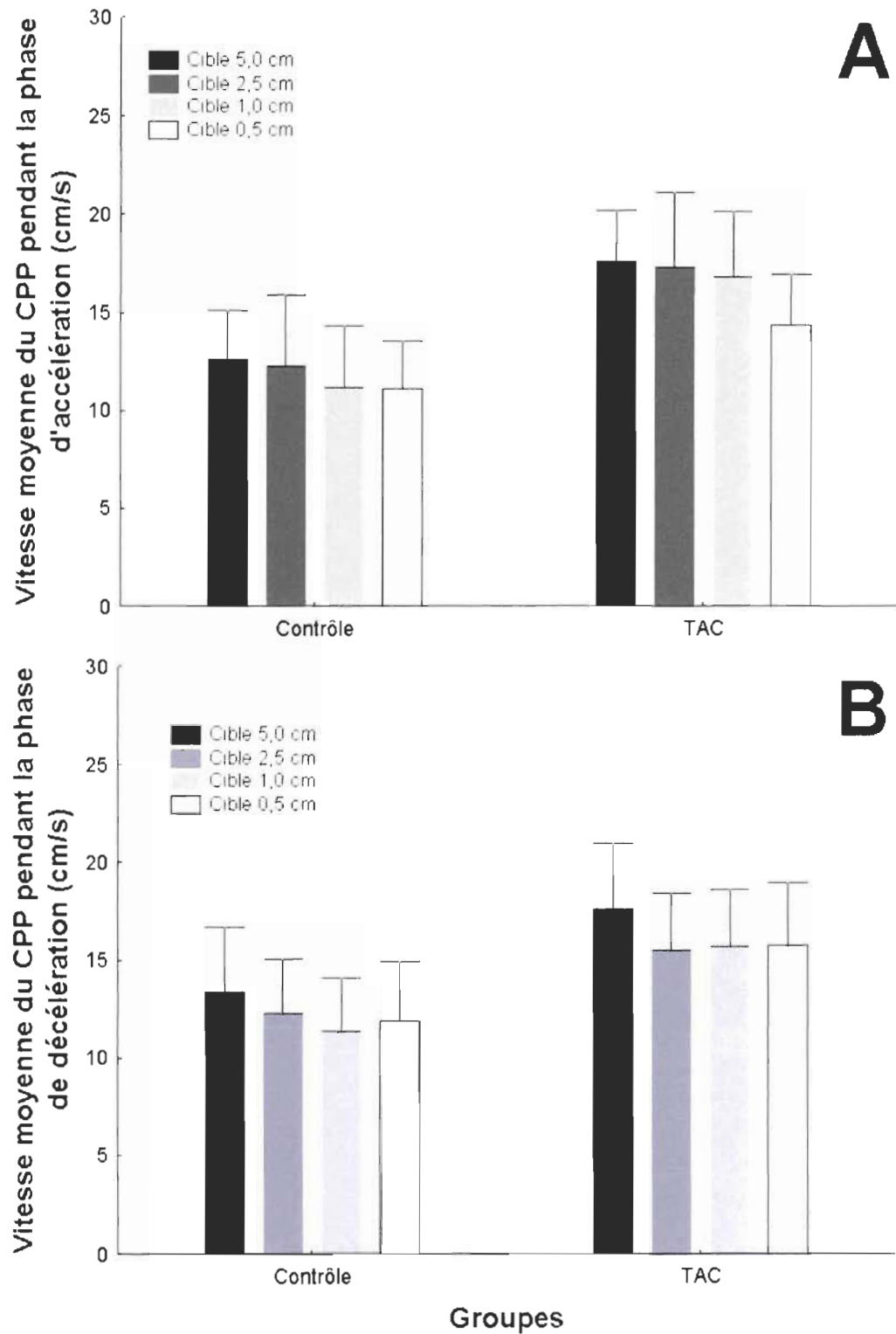


Figure 7: Vitesse moyenne du déplacement du CPP pendant les phases d'accélération (A) et de décélération (B) exprimée en cm/s pour chacun des groupes et pour chaque ID (grosesse des cibles). Les valeurs sont exprimées en fonction de la moyenne et de 95% de l'intervalle de confiance.

Concernant la vitesse moyenne du déplacement du CPP pendant la phase de décélération (figure 7B), l'ANOVA ne révèle aucun effet d'interaction Groupes \times ID ($F(3, 57)=0.13, p=0.94$). Par contre, une différence significative est relevée entre les deux groupes ($F(1, 19)=5.53, p<0.05$). Les enfants TAC ont des vitesses moyennes du déplacement du CPP pendant les phases de décélération significativement plus élevées et ce, pour chaque largeur de cible, que les enfants du groupe contrôle, la différence étant de 3,9 cm/s (16,1 *versus* 12,2 cm/s, respectivement). Enfin, aucun effet principal ID significatif n'est relevé ($F(3, 57)=1.65, p=0.188$).

Amplitude moyenne antéropostérieure du déplacement du CPP pendant le temps de mouvement. La figure 8 illustre l'amplitude moyenne antéropostérieure du déplacement du CPP pendant le TM moyen réalisé pour chaque groupe et pour chaque ID de cible. L'ANOVA ne révèle aucun effet d'interaction Groupes \times ID pour le TM ($F(3, 57)=0.59, p=0.62$). Par contre, une différence significative est relevée entre les deux groupes ($F(1, 19)=7.78, p<0.05$). Les enfants TAC ont des amplitudes moyennes antéropostérieures du déplacement du CPP pendant les TMs moyens significativement plus élevées et ce, pour chaque largeur de cible, que les enfants du groupe contrôle, la différence étant de 3 cm (8,9 *versus* 5,9 cm, respectivement). Enfin, aucun effet principal ID significatif n'est relevé ($F(3, 57)=0.47, p=0.70$).

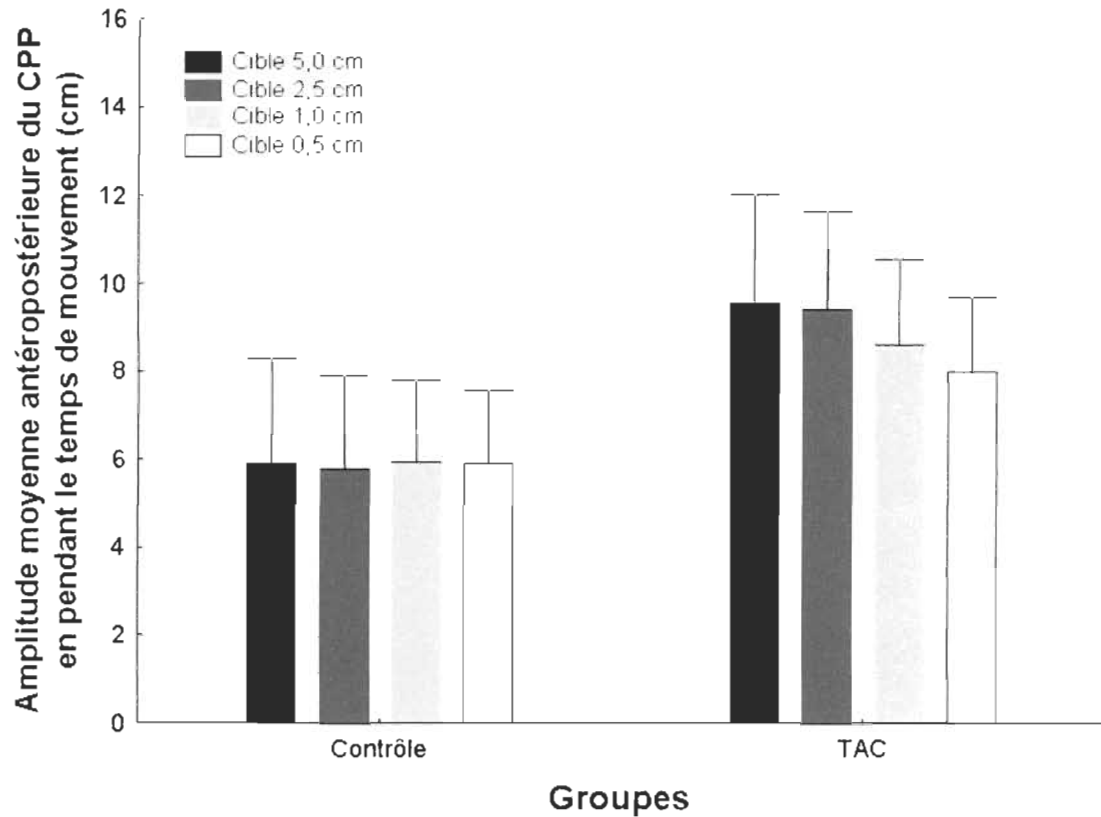


Figure 8: Amplitude moyenne antéropostérieure du déplacement du CPP pendant le temps de mouvement exprimée en cm pour chacun des groupes et pour chaque ID (grosseur des cibles). Les valeurs sont exprimées en fonction de la moyenne et de 95% de l'intervalle de confiance.

Amplitude moyenne antéropostérieure du déplacement du CPP pendant les phases d'accélération et de décélération. Les amplitudes moyennes antéropostérieures du déplacement du CPP pendant les durées des phases d'accélération et de décélération du mouvement de pointage permettent d'analyser comment le contrôle de la posture debout varie en fonction de l'ID et entre les deux groupes (figures 9A et B). Concernant l'amplitude moyenne antéropostérieure du déplacement du CPP pendant la phase d'accélération (figure 9A), l'ANOVA ne révèle aucun effet d'interaction Groupes \times ID ($F(3, 57)=0.72, p=0.55$).

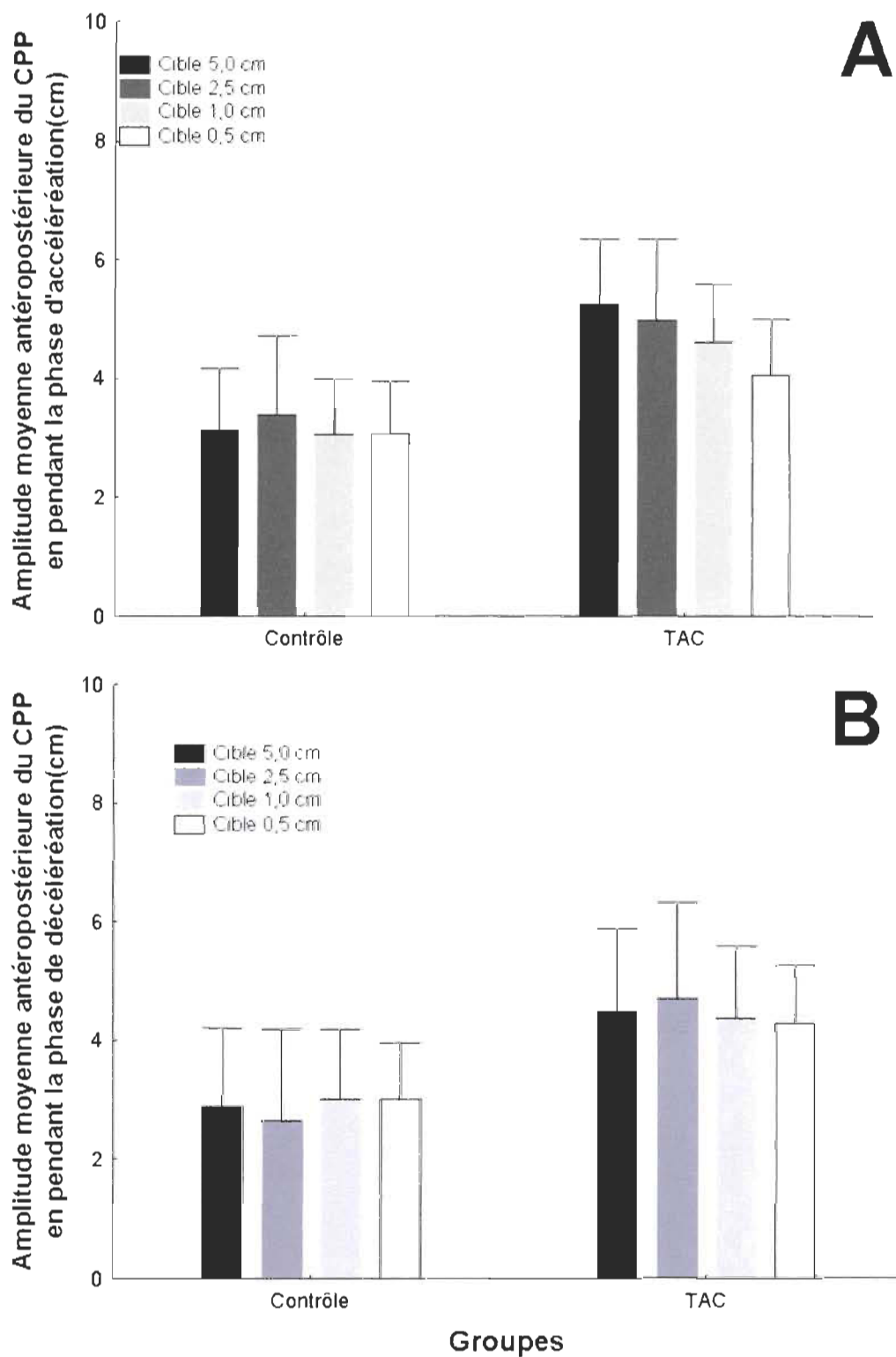


Figure 9: Amplitude moyenne du déplacement du CPP pendant les phases d'accélération (A) et de décélération (B) exprimée en cm pour chacun des groupes et pour chaque ID (grosseur des cibles). Les valeurs sont exprimées en fonction de la moyenne et de 95% de l'intervalle de confiance.

Par contre, une différence significative est relevée entre les deux groupes ($F(1, 19)=7.64, p<0.05$). Les enfants TAC ont des amplitudes moyennes antéropostérieures du déplacement du CPP pendant les phases d'accélération significativement plus élevées et ce, pour chaque largeur de cible, que les enfants du groupe contrôle, la différence étant de 1,6 cm (4,7 *versus* 3,1 cm, respectivement). Enfin, aucun effet principal ID significatif n'est relevé ($F(3, 57)=1.22, p=0.31$).

L'amplitude moyenne antéropostérieure du déplacement du CPP pendant la phase de décélération (figure 9B), ne révèle aucun effet d'interaction Groupes \times ID ($F(3, 57)=0.30, p=0.82$). Par contre, une différence significative est relevée entre les deux groupes ($F(1, 19)=5.47, p<0.05$). Les enfants TAC ont des amplitudes moyennes antéropostérieures du déplacement du CPP pendant les phases de décélération significativement plus élevées et ce, pour chaque largeur de cible que les enfants du groupe contrôle, la différence étant de 1,7 cm (4,6 *versus* 2,9 cm, respectivement). Enfin, aucun effet principal ID significatif n'est relevé ($F(3, 57)=0.00, p=1.0$).

CHAPITRE 5

Discussion

L'objectif principal de cette étude était de quantifier les stratégies d'exécution motrice dans un contexte de double tâche chez des enfants TAC et asymptotiques âgés de 9 à 10 ans. L'épreuve de pointage exige une planification et une exécution motrice qui permettent d'évaluer la vitesse et la précision lors d'un mouvement finalisé avec le membre supérieur. À cet effet, les paramètres de TM, de TR et la durée des phases d'accélération et de décélération ont été étudiés. La tâche de pointage s'exécutant en posture debout, l'enfant devait parallèlement maintenir une stabilité posturale adéquate. La vitesse et les amplitudes de déplacement du CPP ont fait l'objet d'analyses afin de quantifier la stabilité posturale.

Dans notre étude, aucun effet groupe ou effet cible significatif n'est relevé pour la variable TR. Donc, les enfants TAC n'éprouvent pas plus de difficultés que les enfants sains dans la phase de préparation du mouvement. En effet, les enfants TAC amorcent leur mouvement de pointage dans un laps de temps similaire aux enfants sains. Nos résultats concernant le TR divergent de ceux de l'étude de Smits-Engelsman (2003), où des enfants sains et TAC devaient effectuer des pointages mais en posture assise. Leurs résultats montrent que les enfants TAC sont plus rapides ($p < 0.01$). Par contre, plusieurs études rapportent des TR plus longs tant pour un stimulus visuel que proprioceptif chez

les enfants TAC comparativement aux enfants sains (Henderson, L., Rose et Henderson, 1992). Toutefois, l'étude de Williams et al. (1998) portait sur les différences dans le temps d'amorce dans une tâche de pointage uni- ou bi-manuelle vers une cible entre les enfants TAC et sains. Les mouvements symétriques impliquaient que les deux mains se déplaçaient vers une seule cible. Dans le cas des mouvements asymétriques, les deux mains se déplaçaient vers des cibles situées à des distances différentes. Globalement, les résultats montrent que, pour les deux types de mouvement, les enfants TAC avaient des TRs plus longs et beaucoup plus variables (Huh, Williams et Burke, 1998). Dans notre tâche, une explication possible pour une absence de différence réside dans la nature de la tâche, le pointage initié à la suite d'un stimulus sonore en posture debout. Ce degré de complexité est moindre que la tâche bi-manuelle asymétrique et ne sollicite pas autant les processus de traitement de l'information pour l'exécution.

Globalement les analyses cinématique et cinétique de notre étude relèvent un déficit chez les enfants TAC lors du pointage. Effectivement, les enfants TAC réussissent à exécuter la tâche de pointage mais plus lentement que les enfants sains. Ce temps supplémentaire nécessaire à la bonne réalisation de la tâche suggérerait que le TAC induirait des lacunes au niveau de la correction et de la finalisation du geste moteur. D'ailleurs, le TM augmente au fur et à mesure que la largeur de la cible diminue et cet écart est plus grand chez les enfants TAC. Maruff et al. (1999) suggèrent que cette augmentation du TM pourrait être attribuable à un déficit au niveau de la copie d'efférence chez

les enfants TAC à chaque étape de la tâche motrice. Dans notre étude, l'interaction relevée pour la phase de décélération selon l'indice de difficulté lors du mouvement de pointage amène plusieurs éléments de réflexion. Une étude de Smits-Engelsman et al. (2003) montre que les enfants TAC ont tendance à exécuter le mouvement de pointage plus vite que les sujets sains mais compensent en diminuant la précision. En effet, la longueur de la trajectoire est plus grande chez les enfants TAC et la cible est souvent dépassée. De plus, les enfants TAC montrent deux fois plus d'erreurs dans le geste moteur en comparaison aux sujets sains. Leurs résultats confirment que les enfants TAC sont incapables d'utiliser une stratégie qui contrôle l'ajustement terminal du geste de pointage. Une autre étude de Bourgeois (2003) concernant des enfants sains souligne que la durée relative de la phase d'accélération diminue avec l'âge. Ceci indique que les enfants TAC ont besoin de plus de temps pour développer une planification motrice efficace que les sujets sains du même âge.

Par ailleurs, les enfants TAC montrent des lacunes majeures durant la période de décélération; cette phase joue un rôle primordial dans la précision de l'atteinte de la cible. Nos résultats indiquent que nos enfants TAC réussissent à réaliser correctement la tâche de pointage mais qu'un temps supérieur de mouvement est requis. Notre tâche de pointage en posture debout poserait plus de difficulté dans sa réalisation à notre groupe expérimental. Ce constat est en adéquation avec les résultats de l'étude de Zoia et al (2005). Lors d'une tâche de pointage, leurs enfants TAC ont montré une phase de décélération plus longue que celle des enfants sains et cet écart est plus grand chez les enfants

TAC de 7-8 ans que les 9-12 ans. De plus les enfants TAC obtenaient des longueurs de trajectoires plus grandes et davantage de déviations (Zoia et al., 2005). Donc, les enfants TAC auraient de la difficulté à exécuter un freinage terminal précis pour atteindre la cible. Ces résultats montrent aussi que les enfants TAC auraient besoin de plus de temps pour apprendre à calibrer et raffiner l'action durant la phase de décélération que les enfants sains du même âge. Ces résultats peuvent aussi être expliqués par une difficulté des enfants TAC à utiliser la stratégie en boucle ouverte, associée à un geste balistique efficace (Smits-Engelsman et al., 2003). En somme, nos résultats montrent de la même manière que les enfants TAC utilisent des stratégies différentes des enfants sains pour exécuter le mouvement de pointage.

Concurremment, les résultats des paramètres cinétiques de notre étude indiquent moins de stabilité posturale chez les enfants TAC. Des études montrent que les enfants TAC possèdent une stabilité posturale identique à celle des enfants sains mais que, lors d'une complexification de la condition sensorielle en posture debout, une augmentation des oscillations posturales est observée (Cherng et al., 2007; Geuze, 2003, 2005b). Notre étude met en évidence que les enfants TAC sont affectés au niveau de la posture par l'exigence de la tâche. En effet, pointer une cible en posture debout exige de faire une action avec le bras tout en coordonnant plusieurs degrés de liberté afin de maintenir une orientation posturale adéquate lors de l'exécution du geste (Berrigan, 2008). Autant la tâche de pointage que la tâche de stabilité posturale présentent des déficiences au niveau des paramètres cinématiques et

cinétiques chez les enfants TAC en comparaison au groupe contrôle. Une étude de Johnston et al. (2002) observait en situation de double tâche des enfants TAC et sains (pointage vers une cible verticale en posture debout). Les auteurs ont quantifié les TRs, les TMs et les délais de latence de l'activation de muscles posturaux du tronc et de l'épaule pendant l'exécution du pointage. Globalement, leurs résultats indiquent que les enfants TAC n'anticipent pas les effets déstabilisateurs du mouvement de pointage. Ces résultats suggèrent que les enfants TAC ne peuvent corriger et finaliser le mouvement de pointage correctement et dans le même laps de temps que les sujets sains. Nos résultats confortent cette suggestion puisque nous observons des durées de la phase de décélération significativement plus longues lors de l'atteinte de la cible. Parallèlement, au niveau de la gestion de la posture, la décélération est plus importante chez les enfants TAC, ce qui permettrait de favoriser l'atteinte de la cible avec le membre supérieur pendant la phase de décélération.

Plusieurs limites peuvent être formulées quant à l'interprétation des résultats de notre étude. Premièrement, une non-homogénéité du groupe contrôle est présente et pourrait induire un biais expérimental. En effet, quatre enfants du groupe contrôle ont un diagnostic de TDH/A et parmi ceux-ci un enfant était sous médication lors de l'expérimentation. Ces conditions augmentent la variabilité des résultats obtenus pour le groupe contrôle et, se faisant, n'autorise pas de conclure absolument sur les différences inter-groupes observées. Deuxièmement, les enfants n'ont pas été testés en position standard de référence pour la posture debout. Cette limite réduit l'importance des

résultats obtenus. En effet, si le comportement postural en station debout diffère entre les groupes, l'ajout d'une tâche de pointage ne devrait qu'amplifier l'importance des perturbations à maintenir une base stabilisée pour l'exécution du pointage. Enfin, en raison des caractéristiques propres au groupe expérimental, une condition expérimentale en posture assise n'a pas été proposée. Cette évaluation manquante aurait permis réellement de comparer la contrainte attentionnelle de la tâche de pointage entre les deux groupes sur le contrôle de la posture et reliée directement au TAC.

CHAPITRE 6

Conclusion

Le but de notre étude était d'évaluer les enfants ayant un trouble de l'acquisition de la coordination dans un paradigme de double tâche. Le protocole expérimental utilisé a été une tâche de pointage nécessitant vitesse et précision en posture debout.

Les enfants TAC ont réussi à exécuter correctement le mouvement de pointage mais dans un intervalle de temps plus important que les enfants sains. Peu importe la difficulté de la tâche, les enfants TAC ont adopté une stratégie de compromis entre la vitesse d'exécution du mouvement et la précision du pointage. Cette stratégie influence le contrôle postural puisque les enfants TAC, comparativement aux enfants sains, éprouvent plus de difficultés à contrôler la phase de support du mouvement.

Plus spécifiquement, les enfants TAC ont besoin de plus de temps alloué à la phase de correction du mouvement lors de l'approche d'une cible à atteindre. Dans ce contexte de double tâche, le traitement central nécessaire au contrôle du mouvement nécessite plus de ressources attentionnelles. Ce coût cognitif supplémentaire se traduit par une diminution de l'attention allouée au contrôle de la posture et aboutit à une diminution de la stabilité posturale.

L'identification des enfants TAC apparaît essentielle pour orienter les parents, les éducateurs physiques, les enseignants et les intervenants à agir rapidement afin que le comportement moteur de l'enfant se développe à son

plein potentiel. Pour ce faire, le test MABC est un outil simple à utiliser, valable et qui demande peu de matériel.

En conclusion et malgré certaines limites, nos résultats montrent que le trouble de l'acquisition de la coordination a un impact direct au niveau éducatif et fonctionnel à l'école, pendant les activités de loisirs et les activités de la vie quotidienne. Une meilleure compréhension de cette condition permettrait de mieux orienter les intervenants à dépister et surtout à bâtir des plans d'interventions efficaces pour favoriser un développement harmonieux des enfants TAC.

Pour des études futures, il serait intéressant d'évaluer l'impact d'un feedback visuel ou venant d'un intervenant entre deux blocs d'essais. Aussi, on pourrait vérifier l'efficacité d'un plan d'intervention axé sur les déficiences individuelles au niveau d'une évaluation pré et post intervention.. En dernier lieu, il serait souhaitable que les enseignants au niveau scolaire primaire soient informés sur la condition TAC, ses effets et ses conséquences, afin d'aider au dépistage précoce et à la prise en charge des enfants TAC.

RÉFÉRENCES

- APA. (1994). MINI DSM-IV Critères diagnostiques. *American Psychiatric Association* (Washington DC, traduction française par J.-D. Guelfi *et al.*, Masson, Paris, 1996, 384 pages.).
- Assaiante, C. (1998). Development of locomotor balance control in healthy children. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 22 (4), 527-532.
- Assaiante, C., Mallau, S., Viel, S., Jover, M. et Schmitz, C. (2005). Development of postural control in healthy children: a functional approach. *Neural Plasticity*, 12 (2-3), 109-118.
- Bair, W.-N., Kiemel, T., Jeka, J. J. et Clark, J. E. (2007). Development of multisensory reweighting for posture control in children. *Experimental Brain Research*.
- Bates, B., Bickley, L. S. et Hoekelman, R. A. (2001). Guide d'examen clinique, 3ième édition. (Arnette, Paris), 739.
- Berrigan, F. (2008). Obésité et stabilité posturale: impact sur la relation vitesse-précision d'un mouvement de pointage. *Thèse, Université Laval*, 1-204.
- Berrigan, F., Simoneau, M., Tremblay, A., Hue, O. et Teasdale, N. (2006). Influence of obesity on accurate and rapid arm movement performed from a standing posture. *International journal of Obesity*, 1-8.
- Bioulac, B., Burbaud, P., Cazalets, J.-R. et Gross, C. (2005). Fonctions motrices. *EMC-Kinésithérapie, Elsevier*, 183-233.
- Cherng, R.-J., Hsu, Y.-W., Chen, Y.-J. et Chen, J.-Y. (2007). Standing balance of children with developmental coordination disorder under altered sensory conditions. *Human Movement Science*, 26, 913-926.
- Choudhury, S., Charman, T., Bird, V. et Blakemore, S.-J. (2007). Adolescent development of motor imagery in a visually guided pointing task. *Consciousness and cognition*, 16, 886-896.
- Duysens, J., Clarac, F. et Cruse, H. (2000). PLoad-Regulating Mechanisms in Gait and posture: Comparative Aspects. *Physiological Reviews*, 80, 84-133.
- First, M. B. et Tasman, A. (2004). *DSM-IV-TR mental disorders*. Chichester, Angleterre; Hoboken, N.J. J. Wiley.

- Fitts, P. (1954). The information capacity of the human motor system controlling the amplitude of the movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Geldhof, E., Cardon, G., De Bourdeaudhuij, I., Danneels, L., Coorevits, P., Vanderstraeten, G. et al. (2006). Static and dynamic standing balance: test-retest reliability and reference values in 9 to 10 year old children. *European Journal Of Pediatrics*, 165 (11), 779-786.
- Geuze, R. (2003). Static balance and developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 22 (4-5), 527-548.
- Geuze, R. (2005a). *Le trouble de l'acquisition de la coordination*. Marseille, SOLAL,.
- Geuze, R. (2005b). Postural control in children with developmental coordination disorder. *Neural Plasticity*, 12 (2-3), 183.
- Henderson, L., Rose, P. et Henderson, S. (1992). Reaction time and movement time in children with developmental coordination disorder. *Journal of Child and Psychology and Psychiatry*, 33 (5), 895-905.
- Henderson, S. E. et Sugden, D. A. (1992). The Movement Assessment Battery for children. *The Psychological Corporation*.
- Horak, B. F., Shupert, L. C. et Mirka, A. (1989). Components of Postural Dyscontrol in the elderly: A Review. *Neurobiology of Aging*, 10, 727-738.
- Hue, O., Simoneau, M., Marcotte, J., Berrigan, F., Doré, J., Marceau, P. et al. (2007). Body weight is a strong predictor of postural stability. *Gait & Posture*, 26 (1), 32-38.
- Huh, J., Williams, H. et Burke, J. (1998). Development of bilateral motor control in children with developmental coordination disorders. *Developmental medicine and child neurology*, 40 (7), 474-484.
- Ivanenko, Y., Grass, R., Israël, I. et Berthoz, A. (1997). Spatial orientation in humans: perception of angular whole-body displacement in two-dimensional trajectories. *Experimental Brain Research*, 117 (3), 419-427.
- Johnson, D. C. et Wade, M. G. (2007). Judgment of action capabilities in children at risk for developmental coordination disorder. *Disability & Rehabilitation*, 29 (1), 33-45.
- Johnston, L. M., Burns, Y. R., Brauer, S. G. et Richardson, C. A. (2002). Differences in postural control and movement performance during goal directed reaching in children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 21 (5-6), 583-601.

- Jongmans, M. J., Linthorst-Bakker, E., Westenberg, Y. et Smits-Engelsman, B. C. M. (2003). Use of a task-oriented self-instruction method to support children in primary school with poor handwriting quality and speed. *Human Movement Science*, 22 (4-5), 549-566.
- Lambert, J. et Bard, C. (2005). Acquisition of visuomanual skills and improvement of information processing capacities in 6- to 10-year-old children performing a 2D pointing task. *Neuroscience Letters*, 377 (1), 1-6.
- Losse, A., Henderson, S. E., Elliman, D., Hall, D., Knight, E. et Jongmans, M. (1991). Clumsiness in children-do they grow out of it ? A 10-year follow-up study. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 33, 55-68.
- Maki, B. E. (1993). Biomechanical approach to quantifying anticipatory postural adjustments in the elderly *Medical & Biological Engineering & Computing*, 31, 355-362.
- Maruff, P., Wilson, P., Trebilcock, M. et Currie, J. (1999). Abnormalities of imagined motor sequences in children with developmental coordination disorder. *Neuropsychologia*, 37 (11), 1317-1324.
- Massion, J. (1994). Postural control system. *Neurobiology*, 4, 877-887.
- Mon-Williams, M., Tresilian, J. R., Bell, V. E., Coppard, V. L., Nixdorf, M. et Carson, R. G. (2005). The preparation of reach-to-grasp movements in adults, children, and children with movement problems. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 58 (7), 1249-1263.
- Mon-Williams, M., Wann, J. P. et Pascal, E. (1999). Visual-proprioceptive mapping in children with developmental coordination disorder. *Developmental medicine and child neurology* 41, 247-254.
- Nashner, L., Shupert, C., Horak, F. et Black, F. (1989). Organization of posture controls: an analysis of sensory and mechanical constraints. *Prog Brain Res*, 80, 411-418.
- Nolan, L., Grigorenko, A. et Thorstensson, A. (2005). Balance control: sex and age differences in 9- to 16-years olds. *Developmental Medicine And Child Neurology*, 47 (7), 449-454.
- Pless, M., Carlsson, M., Sundelin, C. et Persson, K. (2000). Effects of Group Motor Skill Intervention on Five-to Six-Year-old Children with Developmental Coordination Disorder. *Pediatric Physical Therapy*, 12, 183-189.

- Pless, M., Carlsson, M., Sundelin, C. et Persson, K. (2002). Preschool children with developmental coordination disorder: a short-term follow-up of motor status at seven to eight years of age. *Acta Paediatrica (Oslo, Norway: 1992)*, 91 (5), 521-528.
- Polatajko, H. J., Macnab, J. J., Anstett Bev, Malloy-Miller Theresa, Murphy Kathleen et Samuel, N. (1995). A Clinical Trial Of The Process-Oriented Treatment Approach For Children With Developmental Coordination Disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 37, 310-319.
- Rintala, P., Pienimäki, K., Ahonen, T., Cantell, M. et Kooistra, L. (1998). The effects of a psychomotor training programme on motor skill development in children with developmental language disorders. *Human Movement Science*, 17 (4-5), 721-737.
- Rival, C., Ceyte, H. et Olivier, I. (2005). Developmental changes of static standing balance in children. *Neurosciences Letters*, 376, 133-136.
- Saavedra, S., Woollacott, M. et Donkelaar, V. P. (2007). Effects of postural support on eye hand interactions across development. *Experimental Brain Research*, 180, 557-567.
- Saunders, A. J. et Knill, C. D. (2003). Humans use continuous visual feedback from the hand to control fast reaching movements. *Experimental Brain Research*, 152, 341-352.
- Saunders, A. J. et Knill, C. D. (2005). Humans use continuous visual feedback from the hand to control both the direction and distance of pointing movements. *Experimental Brain Research*, 162, 458-473.
- Schmid, M., Conforto, S., Lopez, L., Renzi, P. et D'aleccio, T. (2005). The development of postural strategies in children: a factorial design study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 1-11.
- Shumway-Cook, A. et Woollacott, M. H. (2001). Motor control theory and practical applications. *Lippincott Williams et Wilkins*, 192-248.
- Smits-Engelsman, B. C. M., Wilson, P. H., Westenberg, Y. et Duysens, J. (2003). Fine motor deficiencies in children with developmental coordination disorder and learning disabilities: An underlying open-loop control deficit. *Human Movement Science*, 22, 495-513.
- Teasdale, N., Hue, O., Marcotte, J., Berrigan, F., Simoneau, M., DorÃ©, J. et al. (2007). Reducing weight increases postural stability in obese and morbid obese men. *International Journal Of Obesity (2005)*, 31 (1), 153-160.

- Van Waelvelde, H., De Weerd, W., De Cock, P., Janssens, L., Feys, H., C.M, B. et al. (2006). Parameterization of movement execution in children with developmental coordination disorder. *Brain and cognition*, 60, 20-31.
- Wilson, P. H. (2005). Practitioner review: approaches to assessment and treatment of children with DCD: an evaluative review. *Journal Of Child Psychology And Psychiatry, And Allied Disciplines*, 46 (8), 806-823.
- Wilson, P. H., Thomas, P. R. et Maruff, P. (2002). Motor imagery training ameliorates motor clumsiness in children. *Journal Of Child Neurology*, 17 (7), 491-498.
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, 3 (4), 193-214.
- Zoia, S., Castiello, U., Blason, L. et Scabar, A. (2005). Reaching in children with and without developmental coordination disorder under normal and perturbed vision. *Developmental Neuropsychology*, 27 (2), 257-273.

ANNEXES

ANNEXE A

Rang percentile selon le score total au test MABC et l'âge en années

Rang percentile selon le score total au test MABC et l'âge en années

Score total	Percentile équivalent 6-12 ans	Score total	Percentile équivalent 6-12 ans
0	96	13	6
0.5	93	13.5	5
1	89	14	5
1.5	84	14.5	4
2	79	15	3
2.5	70	15.5	3
3	65	16	2
3.5	60	16.5	2
4	54	17	2
4.5	49	17.5	1
5	45	18	1
5.5	40	18.5	1
6	36	19	
6.5	32	19.5	
7	29	20	
7.5	26	20.5	
8	22	21	
8.5	20	21.5	
9	18	22	
9.5	16	22.5	
10	15	23	
10.5	13	23.5	
11	11	24	
11.5	9	24.5	
12	8	25+	
12.5	7		

ANNEXE B

Traduction du questionnaire de psychomotricité MABC

Mouvement ABC

Traduction et adaptation du test : « Movement Assessment Battery for Children » (MABC)

Questionnaire

Par Sheila E. Henderson and David A. Sugden

Traduit et adapté de l'anglais par Claude Dugas, Yves Girouard et Isabelle La Vergne

Nom : _____	Sexe : _____	Date de l'épreuve : _____					
Adresse : _____	Date de naissance : _____						
	Âge : _____	Niveau/année : _____					
École : _____	Évalué par : _____						
Section 1 _____	Section 2 _____	Section 3 _____	Section 4 _____	Total _____	Section 5 F M B	Évaluation complète avec le « Mouvement ABC » est requise ?	OUI NON

Section 1 - Enfant stationnaire et Environnement stable

0	1	2	3
Réussit facilement	Réussit difficilement	Ne réussit pas entièrement	Ne réussit pas du tout

L'enfant est capable :

- De mettre et d'enlever ses vêtements sans aide (chandail, pantalon, bas)
- De se tenir debout stable sur une jambe (pour enfiler un pantalon ou une jupe)
- D'attacher ses lacets, d'attacher sa ceinture et monter sa fermeture éclair
- De faire son hygiène corporelle (laver ses mains, se peigner)
- D'avoir une bonne posture lorsqu'il est assis ou debout (à un bureau, à la table, sur une chaise ou en ligne)
- De tenir correctement des objets (ciseau, crayon, stylo, pinceau) avec la bonne force et la bonne prise
- De dessiner, découper, de tracer avec précision
- De former des lettres, des chiffres et des formes géométriques lisibles et cohérentes
- De prendre des petits objets (casque-tête, bloc, fève)
- D'utiliser les blocs, les casse-tête pour compléter une tâche correctement
- De tourner les pages d'un livre, de prendre une feuille à la fois dans un paquet de feuilles
- De reconnaître les parties de son corps et de faire la différence entre sa droite et sa gauche

Section 1 Total

Section 2 - Enfant en mouvement et Environnement stable

0	1	2	3
Réussit facilement	Réussit difficilement	Ne réussit pas entièrement	Ne réussit pas du tout

L'enfant est capable :

- De marcher dans une pièce en évitant des collisions avec des objets ou des personnes stationnaires
- De transporter des objets dans une pièce en évitant des collisions avec des objets ou des personnes stationnaires
- De courir et d'arrêter sans accrocher les objets ou les personnes stationnaires
- De sautiller ou galoper sur une distance de 4,5 m
- De sautiller sur une seule jambe avec aisance
- De sauter par-dessus des obstacles se trouvant dans un environnement de jeu (blocs, cordes, haies peu élevées)
- D'utiliser les éléments fixes d'un terrain de jeu ou d'un gymnase tel que l'espalier, la glissade ou la poutre
- De manœuvrer autour et dans les éléments d'une course à obstacles adaptée à son âge
- De lancer des objets (balle, sac de fèves, anneau) dans un contenant en lançant sous l'épaule, lorsqu'il est en mouvement
- De lancer des objets (balle, sac de fèves, anneau) dans un contenant en lançant par-dessus l'épaule, lorsqu'il est en mouvement
- De courir et de frapper un gros ballon stationnaire
- Démontrer une compréhension des directives comme : devant/derrrière, par-dessus/par-dessous, autour/au travers, dedans/dehors, droite/gauche

Section 2 Total

Section 3. Enfant stable et Environnement qui change

0	1	2	3
Réussit facilement	Réussit difficilement	Ne réussit pas entièrement	Ne réussit pas du tout

L'enfant est capable :

- De passer un objet en ligne d'un enfant à un autre, passer un livre ou un crayon dans la rangée
- De maintenir une position stable durant une activité physique de groupe (de tenir un cerceau pendant que les autres enfants lancent des sacs de fèves dedans)
- D'intercepter et arrêter un objet en mouvement (auto miniature, une balle) qui s'approche de lui
- D'attraper un gros ballon (qui rebondit ou dans son envol) en utilisant les deux mains
- D'attraper une petite balle (qui rebondit ou dans son envol) en utilisant une main
- De frapper avec le pied un ballon qui s'approche en utilisant le pied plutôt que la jambe
- De frapper une balle qui s'approche avec un bâton, une raquette
- De faire rouler une balle vers un enfant qui se déplace et qui doit l'attraper
- De lancer une balle ou un sac de fèves à un enfant qui se déplace et qui doit l'attraper
- De faire rebondir un gros ballon régulièrement sans se déplacer
- De faire tourner une corde à danser avec assez de force pour permettre à un autre enfant de sauter
- De suivre le rythme d'une musique en frappant dans les mains ou avec les pieds

Section 3 Total

Section 4. Enfant en mouvement et Environnement qui change

0	1	2	3
Réussit facilement	Réussit difficilement	Ne réussit pas entièrement	Ne réussit pas du tout

L'enfant est capable :

- De se déplacer dans une pièce en évitant des collisions avec d'autres personnes en mouvement
- D'utiliser les éléments mobiles d'un terrain de jeu ou d'un gymnase, telle une balançoire, sans aide
- De conduire un véhicule avec des pédales, telle une voiturette, un tricycle, une bicyclette, ou une trottinette (selon l'âge de l'enfant)
- De tirer ou pousser un véhicule à roulette, tel une voiturette à pédale, un chariot
- De participer à un jeu de poursuite (ex : la tag)
- De courir et d'attraper une balle
- De courir et de frapper un ballon qui s'approche
- De courir et de frapper une balle qui s'approche avec un bâton ou une raquette
- D'utiliser les habiletés de frapper (avec les pieds, les bras), attraper ou lancer pour participer à un jeu collectif
- De se déplacer et de garder le contrôle d'un ballon qui rebondit
- De synchroniser son entrée dans une corde à danser qui tourne
- De se déplacer dans une variété de directions, de pas et de vitesses en gardant les rythmes d'une musique

Section 4 Total

Section 5. Comportements de l'enfant affectant ses difficultés motrices

0	1	2
Rarement	Occasionnellement	Souvent

L'enfant est :

- Turbulent (gesticule constamment, bouge constamment lorsqu'on lui donne des consignes, tripote ses vêtements)
- Passif (peu intéressé, demande beaucoup d'encouragement pour participer, semble faire peu d'effort)
- Timide (a peur dans les activités comme sauter, grimper, ne veut pas bouger vite, demande toujours de l'aide)
- Tendu (apparaît nerveux, tremble, devient frustré dans les situations exigeantes)
- Impulsif (commence avant la fin de la démonstration ou des explications, impatient)
- Distrait (regarde autour, répond aux bruits ou aux mouvements à l'extérieur de la pièce)
- Désorganisé / confus (a de la difficulté à planifier des séquences de mouvements, oublie ce qu'il doit faire dans une séquence)
- Surestime ses habiletés et essaie d'augmenter le niveau de difficulté, essaie de faire les gestes trop rapidement
- Sous-estime ses habiletés (dit que les tâches sont trop difficiles, trouve des excuses pour ne pas s'appliquer avant même le début de l'activité)
- Manque de persévérance (lâche vite, se choque vite, rêveur)
- Obsédé par l'échec (a les larmes aux yeux facilement, refuse de recommencer une tâche)
- Semble incapable de savourer les réussites (ne donne pas de réponse aux feedbacks, aucune expression faciale)

Section 5 Encerclez le degré avec lequel les comportements de l'enfant affectent ses difficultés motrices (degré : F = Faiblement; M = Moyennement; B = Beaucoup)

ANNEXE C

Traduction du test de psychomotricité MABC

MOUVEMENT ABC ©

Traduction et adaptation du test:
«Movement Assessment Battery for Children» (M:ABC)

Par Sheila E. Hendersen et David A. Sugden

Traduit et adapté de l'anglais par Geneviève Tremblay

TRANCHE D'ÂGE #3

9-10 ANS

Nom: _____	Sexe: _____
Adresse: _____ _____	Date de l'épreuve: _____
_____	Date de naissance: _____
École: _____	Âge: _____
Évalué par: _____	Niveau scolaire: _____
Main dominante (définie comme la main utilisée pour écrire): _____	
Autres informations: _____ _____	

Publié par The Psychological Corporation Limited, 24-28 Oval Road, London NW1 7DX.
Copyright © The Psychological Corporation 1992.

ALIGNER LES PIQUETS

DEXTÉRITÉ MANUELLE

Données quantitatives

Enregistrer le temps (secondes), F : échec ;
D : désistement, 1 : inapproprié

Main dominante		Main non-dominante	
Essai 1		Essai 1	
Essai 2		Essai 2	

9 ans	10 ans	Résultat	9 ans	10 ans
0-12	0-12	0 0	0-14	0-13
13	13	1 1	15	14
14	--	2 2	16	15
15	14	3 3	17	16
16-17	15-16	4 4	18-19	17
18+	17+	5 5	20+	18+

Résultat
de
l'épreuve*

* Résultat de l'épreuve : (main dominante - main non dominante) x 2

Observations qualitatives

Contrôle du corps/posture

Ne regarde pas la planche au moment d'y insérer un piquet
Place son visage trop près de la tâche
Place sa tête dans une position inappropriée

N'utilise pas une pièce digitale pour saisir les piquets
Mouvements exagérés des doigts au moment de relâcher le piquet

N'utilise pas la main non-dominante pour maintenir la planche

La performance est très faible avec une des deux mains (asymétrie très évidente)

Change de main ou utilise les deux mains pour manipuler un piquet lors d'un même essai

Les mouvements de la main sont saccadés

La posture assise est inadéquate
Bouge constamment

Ajustements aux exigences de la tâche

N'aligne pas les piquets en fonction des trous sur la planche
Utilise une force exagérée pour placer les piquets sur la planche

L'enfant est exceptionnellement lent/ ne modifie pas la vitesse d'un essai à l'autre

L'enfant va trop vite pour être suffisamment précis
Autres :

ENFILER DES BOULONS SUR UN ÉCROU

DEXTÉRITÉ MANUELLE

Données quantitatives

Enregistrer le temps (secondes) ; F : échec ;
D : désistement, 1 : inapproprié

Essai 1
Essai 2

Résultat	9 ans	10 ans
0	0-20	0-17
1	21-23	18-19
2	24	20-21
3	25-28	22
4	29-33	23-24
5	34+	25+

Résultat
de
l'épreuve

Observations qualitatives

Contrôle du corps/posture

Ne regarde pas l'écrou et les boulons lors de l'enfilage
Place les objets trop près de son visage
Place sa tête dans une position inappropriée

N'utilise pas une pièce digitale pour saisir les boulons
Ne tient pas l'écrou solidement afin d'y insérer les boulons
Trouve difficile la coordination de ses mains

Change de main pour enfiler les boulons lors d'un même essai

Les mouvements de la main sont saccadés

La posture assise est inadéquate
Bouge constamment

Ajustements aux exigences de la tâche

N'aligne pas les boulons correctement sur l'écrou
L'enfant essaie de forcer sur les boulons lorsqu'ils sont mal alignés

L'enfant est exceptionnellement lent/ ne modifie pas la vitesse d'un essai à l'autre

L'enfant va trop vite pour être suffisamment précis

Autres :

SUIVRE LE TRACÉ DE LA FLEUR

DEXTÉRITÉ MANUELLE

Données quantitatives

Enregistrer le nombre de sorties de tracé (erreurs).
F : échec ; D : désistement ; I : inapproprié

Essai 1

Essai 2

Main utilisée

Résultat	9 ans	10 ans
0	0	0
1	1	1
2	--	--
3	2	2
4	3	--
5	4+	3+

Résultat
de
l'épreuve

Observations qualitatives

Contrôle du corps/posture

Ne regarde pas le tracé
Place son visage trop près de la feuille
Place sa tête dans une position inappropriée

Tient le crayon avec une pince bizarre immature
Tient le crayon trop loin de la pointe
Tient le crayon trop près de la pointe
Ne tient pas la feuille lors du traçage
Change de main pour tracer lors d'un même essai

La posture assise est inadéquate
Bouge constamment

Ajustements aux exigences de la tâche

Progresses dans le tracé par mouvements saccadés
Utilise une force exagérée, pèse trop fort sur le papier
L'enfant est exceptionnellement lent
L'enfant va trop vite pour être suffisamment précis
Autres :

ATTRAPER À DEUX MAINS

HABILITÉS AVEC UNE BALLE

Données quantitatives

Enregistrer le nombre d'attrapés adéquats.
R : refus ; I : inapproprié

Résultat	9 ans	10 ans
0	6-10	8-10
1	5	7
2	4	6
3	3	4-5
4	1-2	1-3
5	0	0

Résultat
de
l'épreuve

Observations qualitatives

Contrôle du corps/posture

Le regard ne suit pas la trajectoire de la balle
Tourne la tête ou ferme les yeux quand la balle s'approche

Les bras ne sont pas levés de façon symétrique pour attraper
Lourde les mains tendues et les doigts raides lorsque la balle s'approche

Les bras et les mains sont tendus au moment de l'impact
Les doigts se referment trop tôt ou trop tard

Le corps semble tendu

Ajustements aux exigences de la tâche

N'ajuste pas la position de son corps pour attraper
N'ajuste pas la position de ses pieds adéquatement
Juge incorrectement la quantité de force à utiliser (trop ou trop peu)
Les mouvements manquent d'aisance
Autres :

LANCER UN SAC DE SABLE DANS UNE BOÎTE

HABILITÉS AVEC UNE BALLE

Données quantitatives

Enregistrer le nombre de réussites.
R : refus, I : inapproprié

Main utilisée

Résultat	9 ans	10 ans
0	5-10	6-10
1	4	5
2	3	--
3	2	4
4	--	3
5	0-1	0-2

Résultat
de
l'épreuve

Observations qualitatives

Contrôle du corps/posture

Ne regarde pas la cible

N'utilise pas un mouvement de pendule avec le bras lanceur
Le bras lanceur ne poursuit pas son mouvement après que
la balle ait quitté sa main

Relâche la balle trop tôt ou trop tard

Change de main pour lancer d'un essai à l'autre

Le tronc et les hanches n'effectuent pas de rotation lorsque
le bras lanceur est en avant

L'enfant effectue une trop grande rotation et perd
l'équilibre

Ajustements aux exigences de la tâche

Les erreurs sont constamment du même côté de la boîte
(asymétrie évidente)

Juge incorrectement la quantité de force à utiliser (trop ou
trop peu)

Le contrôle de la force est variable

Les mouvements manquent d'aisance

Autres

ÉQUILIBRE SUR UNE PLANCHE

ÉQUILIBRE STATIQUE

Données quantitatives

Enregistrer la durée en équilibre (secondes).
R : refus, I : inapproprié

Jambe dominante		Jambe non-dominante		
Essai 1		Essai 1		
Essai 2		Essai 2		
9 ans	10 ans	Résultat	9 ans	10 ans
6-20	9-20	0 0	6-20	8-20
5	6-8	1 1	5	6-7
4	5	2 2	4	5
3	4	3 3	3	4
2	3	4 4	2	3
0-1	0-2	5 5	0-1	0-2
Résultat de l'épreuve*				

Observations qualitatives

Contrôle du corps/posture

Ne garde pas la tête et les yeux stables

Regarde ses pieds

Il n'y a aucun ou très peu de mouvements du bras pour
aider à maintenir l'équilibre

Il y a des mouvements exagérés des bras et du tronc qui
perturbent l'équilibre

Le corps est raide

Oscille beaucoup pour maintenir l'équilibre

La performance sur une des jambes est très faible
(asymétrie évidente)

Autres

ÉQUILIBRE DE LA BALLE

* Répondre à l'épreuve : (marquer des points) 2

Résultat de l'épreuve*

Nombre de tentatives		Essai 1		Essai 2		Essai 3	
9 ans	10 ans	0	0-2	3	4	4	5
Résultat	Résultat	5	4	4	4	4	5
9 ans	10 ans	5	5	5	5	5	5

* Répondre le nombre de sans succès. L : déchet, R : refus, F : inapproprié

Données quantitatives

Observations qualitatives

SALTER DANS LES CARRÉS

ÉQUILIBRE DYNAMIQUE

* Répondre à l'épreuve : (marquer des points) 2

Résultat de l'épreuve*

Nombre de tentatives		Essai 1		Essai 2		Essai 3	
9 ans	10 ans	0	0-2	3	4	4	5
Résultat	Résultat	5	4	4	4	4	5
9 ans	10 ans	5	5	5	5	5	5

* Répondre le nombre de sans succès. L : déchet, R : refus, F : inapproprié

Données quantitatives

Observations qualitatives

ÉQUILIBRE DYNAMIQUE

* Répondre le nombre de fois que la balle tombe. L : déchet, R : refus, F : inapproprié

Main utilisée

Essai 1	Essai 2	Essai 3
0	0	0
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5

Données quantitatives

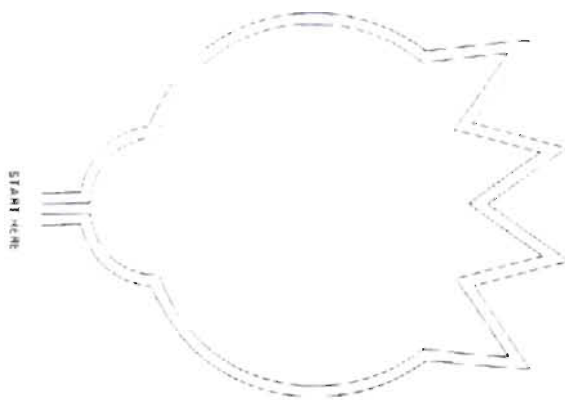
Observations qualitatives

ÉQUILIBRE DYNAMIQUE

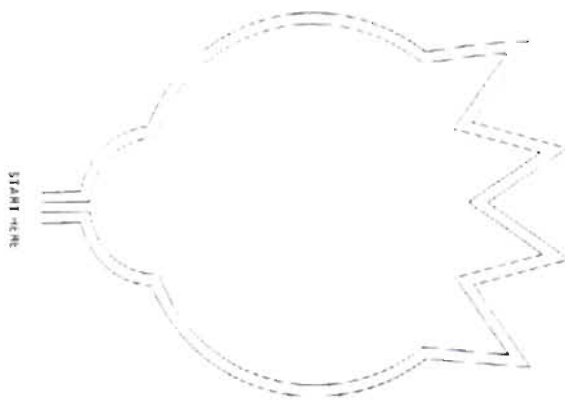
- Ne garde pas la tête stable
- Ne regarde pas au loin
- (orientation du corps) posture
- Il y a des mouvements exagérés des bras qui perturbent l'équilibre
- Le corps semble tendu
- Le corps semble flasque
- Erreur ses pieds, ne les lève pas du sol
- Ajustements aux exigences de la tâche
- Il y a trop rapidement pour contrôler la balle
- Chaque mouvement individuel manque de régularité et d'assurance
- La séquence des pas est saccadée / pauses fréquentes
- Autres

Résultat de l'épreuve		Essai 1		Essai 2		Essai 3	
9 ans	10 ans	0	0	0	0	0	0
Résultat	Résultat	0	0	0	0	0	0
9 ans	10 ans	0	0	0	0	0	0

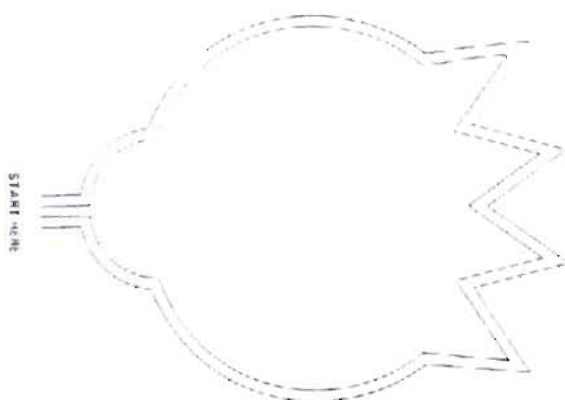
FLOWER TRAIL



FLOWER TRAIL



FLOWER TRAIL



Name

Name

Name