



UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE - LILLE 2  
**FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG**  
Année 2018

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT  
DE DOCTEUR EN MEDECINE

**Marche en double tâche chez le sujet traumatisé crânien modéré à sévère : caractéristiques des troubles et retentissement**

Présentée et soutenue publiquement le 25 mai 2018 à 16h00  
au Pôle Formation  
**Par Laurine Abadie**

---

**JURY**

**Président :**

**Monsieur le Professeur André Thevenon**

**Assesseurs :**

**Monsieur le Professeur Luc Defebvre**

**Monsieur le Docteur Arnaud Delval**

**Madame le Docteur Odile Kozlowski**

**Directeur de Thèse :**

**Monsieur le Docteur Etienne Allart**

---

## **Avertissement**

**La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.**



## Liste des abréviations

ABC-Scale : Activities-specific Balance Confidence Scale

BREF : Batterie Rapide d'Efficienc e Frontale

GCS : *Glasgow coma scale* ou Score de Glasgow

MoCA : Montreal Cognitive Assessment

TC : Traumatisme crânien, traumatisé crânien

## Table des matières

RESUME .....	1
INTRODUCTION .....	3
I - Le Traumatisme Crânien : Epidémiologie et Conséquences .....	3
A - Epidémiologie .....	3
B - Conséquences du Traumatisme crânien .....	4
1 - Séquelles cognitivo-comportementales et retentissement sur la qualité de vie .....	4
2 - Séquelles physiques .....	5
3 - Difficultés lors de la marche, problème des ressources attentionnelles .....	5
4 - Impact du déficit en double tâche sur l'autonomie .....	6
II - La double tâche : définition, modèles théoriques attentionnels et rôle des fonctions exécutives .....	7
A - Définition .....	7
B - Modèles théoriques attentionnels .....	9
C - Rôles des fonctions exécutives .....	13
III - Caractéristiques de la marche en double tâche chez les sujets cérébrolésés .....	14
A - Chez les patients avec un accident vasculaire cérébral .....	14
B - Chez les patients avec un traumatisme crânien .....	15
V - Synthèse et Objectifs .....	19
SUJETS ET METHODES .....	21
I - Sujets .....	21
II - Protocole expérimental .....	22
A - Conditions de marche .....	22
B - Conditions de double tâche .....	23
C - Paramètres évalués .....	24
1 - Paramètres de marche .....	24
a - Marche sur terrain plat .....	24
b - Franchissement d'obstacle .....	25
2 - Mesures cognitives en simple et double tâche .....	27
3 - Analyse des paramètres .....	28
III - Autres évaluations .....	29
A - Test de double tâche de Baddeley .....	29
B - MoCA .....	29
C - BREF .....	29
D - Echelle ABC-Scale .....	30
IV - Analyses statistiques .....	30
RESULTATS .....	32
I - Population .....	32
II - Marche sur terrain plat .....	35
A - Vitesse de marche .....	35
B - Cadence .....	36
C - Longueur du pas .....	37

D - Largeur du pas et variabilité de largeur du pas .....	37
E - Caractéristiques du cycle de marche .....	38
III - Marche avec obstacle .....	41
A - Temps de parcours .....	41
B - Longueur du cycle de marche et largeur du pas .....	42
C - Durée de la phase de simple appui.....	44
IV - Priorisation des tâches .....	47
V - Coût de la double tâche et score de Baddeley .....	48
VI - Relations entre coût de la double tâche lors de la marche et les autres paramètres d'évaluation.....	48
A - Coût de la double tâche sur la marche .....	48
B - Coût de la double tâche sur les performances cognitives .....	49
DISCUSSION .....	50
I - Effet sur les paramètres spatio-temporels de marche .....	51
A - Marche sur terrain plat .....	51
1 - Vitesse de marche, cadence et longueur de pas .....	51
2 - Largeur du pas et variabilité de largeur du pas.....	54
3 - Temps de simple appui et temps de double appui.....	55
B - Marche avec franchissement d'obstacle .....	56
1 - Temps de parcours.....	56
2 - Longueur du cycle de marche, largeur de pas, durée d'appui du membre d'attaque et du membre d'impulsion .....	57
II - Priorisation des tâches .....	59
III - Spécificité du coût de la double tâche et relations avec les autres paramètres d'évaluation.....	61
IV - Réflexions autour des tâches concurrentes .....	63
V - Limites.....	65
VI - Perspectives de recherche.....	67
CONCLUSION.....	69
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	70
ANNEXES.....	80
Annexe 1 : Test de la double tâche de Baddeley.....	80
Annexe 2 : BREF .....	81
Annexe 3 : Echelle ABC-Scale .....	82

## RESUME

**Introduction :** Les patients traumatisés crâniens (TC) présentent souvent des troubles cognitifs et des troubles multimodaux de la posture et de la marche. Ces troubles sont d'autant plus importants lors d'une situation de double tâche. Les objectifs principaux de ce travail étaient d'évaluer et de caractériser le coût de l'ajout de 3 types de tâches cognitives sur les paramètres de marche et d'étudier le lien entre le coût de la double tâche et les difficultés lors de la marche dans la vie quotidienne.

**Patients et méthode :** Les paramètres spatio-temporels de marche ont été évalués à l'aide d'un tapis GaitRITE chez 22 sujets victimes d'un traumatisme crânien modéré à sévère et 26 sujets contrôles appariés en âge. Le coût de l'ajout de 3 tâches cognitives (Back Task, décompte, conversation) a été mesuré lors d'épreuves de marche sur terrain plat et de franchissement d'un obstacle. Nous avons également mesuré les liens entre le coût de la double tâche de marche et les performances dans un autre type de double tâche motrice (double tâche de Baddeley) ainsi qu'avec la confiance perçue par le patient dans son équilibre et sa marche lors de la vie quotidienne (ABC-Scale).

**Résultats :** La vitesse de marche sur terrain plat était altérée en double tâche, étant d'avantage liée à la réduction de la longueur du pas (et moins à la cadence). Nous n'avons pas mis en avant de différence sur les autres paramètres spatio-temporels de la marche. Lors du passage d'obstacle, les différences entre sujets TC et contrôles n'étaient pas significatives. Le coût cognitif était plus important dans le groupe TC pour la tâche de marche sur terrain plat et les tâches de Back Task et de conversation avec l'examineur.

Par ailleurs, le coût de la double tâche de marche était corrélé à celui de la double tâche de Baddeley lors de la Back Task ( $p=0,330$  ;  $p=0,022$ ) et lors de la conversation ( $p=0,415$  ;  $p=0,03$ ), mais pas au score total de l'ABC-Scale. Il n'existait pas de corrélation entre le coût de la double tâche de marche et les tests cognitifs réalisés (BREF et MoCA).

**Discussion :** Les sujets TC adoptaient une stratégie conservatrice de marche et avaient tendance à prioriser la tâche cognitive par rapport à la tâche motrice. Le coût de la double tâche ne semble pas spécifique à la marche. Enfin le niveau de confiance en leur équilibre lors de la marche semble être également lié à d'autres facteurs chez les personnes TC.

## INTRODUCTION

### I - Le Traumatisme Crânien : Epidémiologie et Conséquences

#### A - Epidémiologie

Le traumatisme crânien (TC) est une cause de lésion cérébrale non dégénérative, non congénitale, induite par une force mécanique externe, pouvant entraîner des déficiences des fonctions cognitives, physiques et psycho-sociales, permanentes ou temporaires (1).

Le traumatisme crânien constitue un problème majeur de santé publique de part d'importantes mortalité et morbidité. L'incidence annuelle est comprise en 150 et 300 pour 100 000 habitants (2). La sévérité du traumatisme crânien est évaluée entre autre avec le Score de Glasgow (ou Glasgow coma scale, GCS), évaluant l'état de conscience ainsi que sur la durée de l'amnésie post-traumatique (3). Un TC léger correspond à un GCS compris entre 13 et 15 avec une durée d'amnésie post-traumatique de moins de 1 jour. Un TC modéré correspond à un GCS compris entre 9 et 12 et une amnésie post-traumatique de 1 à 7 jours et un TC grave correspond à un GCS inférieur ou égal à 8 et une amnésie post-traumatique supérieure à 7 jours (3). Dix pourcents des traumatisés crâniens sont considérés comme grave, 10% comme modérés et 80 % comme légers (2).

Les principales causes sont les accidents de la voie publique (50-60 %), les chutes (20-30 %), les accidents de sport et loisirs (10-20 %), et enfin les actes de violence et les agressions (10 %) (4). L'incidence est marquée par deux pics : la catégorie d'âge la plus touchée se situe entre 15 et 25 ans avec les accidents de la voie publique et une prédominance masculine (sex ratio 2 à 3/1) ; à l'opposé, les sujets de plus de 75 ans sont également concernés et la cause la plus fréquente est alors la survenue d'une chute à

domicile (5).

## **B - Conséquences du Traumatisme crânien**

### 1 - Séquelles cognitivo-comportementales et retentissement sur la qualité de vie

Dans les suites d'un traumatisme crânien et malgré une prise en charge adéquate, les sujets traumatisés crâniens peuvent présenter des séquelles à la fois physiques et cognitivo-comportementales. Une prise en charge rééducative et réadaptative le plus précoce possible est importante mais il est montré que chez des patients ayant une amélioration de leur état de conscience après rééducation, les trois quarts peuvent présenter au moins un déficit neuropsychologique sévère (6).

Les difficultés cognitives sont essentiellement représentées par des troubles de l'attention et des fonctions exécutives (inhibition, gestion de tâches non-routinières, planification, flexibilité...). Les difficultés cognitives et comportementales les plus fréquemment constatées sont l'impulsivité, la désinhibition, les problèmes de planification, la distractibilité et les difficultés à prendre des décisions (7). Les troubles des fonctions exécutives entravent les capacités de l'individu à se concentrer et à s'organiser pour accomplir des tâches. Ces fonctions sont essentielles pour réaliser les activités simples et élaborées de la vie quotidienne, avoir une efficacité satisfaisante au travail, assurer une bonne participation sociale et leur altération participe à celle de la qualité de vie. Le patient traumatisé crânien présente ainsi des troubles entraînant une gêne dans l'accomplissement de tâches de la vie quotidienne et ces troubles peuvent influencer sa qualité de vie, pouvant créer un véritable handicap social (8,9). La qualité de vie est notamment altérée par les limitations d'activités dans les activités élaborées de la vie quotidienne nécessitant la présence d'une tierce personne. Par ailleurs, les séquelles intellectuelles, affectives et comportementales semblent avoir une plus grande influence

que les séquelles physiques sur la qualité de vie (10). Il faut enfin prendre en compte la qualité de vie des proches, atteinte par les troubles affectifs et comportementaux et par la dépendance (10).

## 2 - Séquelles physiques

Les séquelles physiques dépendent des lésions cérébrales consécutives au traumatisme : déficit moteur plus ou moins spastique, troubles sensoriels, ataxiques... La récupération physique est en général meilleure que la récupération cognitive, et il est même possible de trouver des patients avec des troubles cognitivo-comportementaux majeurs sans troubles importants de la locomotion (11).

## 3 - Difficultés lors de la marche, problème des ressources attentionnelles

Beaucoup de traumatisés crâniens se plaignent de troubles de l'équilibre et d'une atteinte de leur marche avec des conséquences physiques, émotionnelles et fonctionnelles sur leur vie quotidienne (12). Certains patients récupèrent une marche autonome mais gardent des séquelles pouvant affecter leur habileté à naviguer dans les différents environnements rencontrés. Les sujets traumatisés crâniens présentent en effet une capacité réduite à modifier rapidement leur coordination motrice en réponse à un changement environnemental (13). L'adaptation à une nouvelle demande environnementale est perturbée chez ces sujets même si la vitesse de marche a été récupérée (13). Par ailleurs, malgré une récupération d'une autonomie de marche, les patients TC peuvent présenter des difficultés dans des tâches locomotrices plus complexes comme la course (14) ou la montée des escaliers, le changement de direction et la marche en arrière (15).

Plus précisément, les patients traumatisés crâniens modérés à sévères peuvent présenter des difficultés en station debout et à la marche. Il peut ainsi exister des troubles

physiques (troubles sensoriels, ataxie, atteinte de la motricité...) à l'origine de ces difficultés mais les difficultés en multitâches peuvent également les expliquer. La mobilité au sein des environnements complexes dans la vie quotidienne requiert des capacités physiques et cognitives combinées (16). Le traumatisme crânien peut affecter la capacité d'attribuer une attention suffisante à chaque composante d'une double tâche, ce qui entraînerait la perturbation du contrôle de l'équilibre. Lors de la marche, les sujets TC utilisent une stratégie en adaptant les mouvements de leur centre de masse afin de contrôler leur équilibre dynamique mais ne peuvent garder cette stratégie lorsque leur attention est divisée en situation de multitâches ou lors de la survenue d'événements imprévus. La vitesse de marche et les mouvements médio-latéraux du centre de masse sont diminués afin de maintenir une stabilité dans les limites de la faisabilité (17).

#### 4 - Impact du déficit en double tâche sur l'autonomie

Les difficultés en double tâche ont un impact sur l'autonomie du patient. En effet, les conditions de marche dans la vie de tous les jours sont fréquemment des conditions de double tâche. Par exemple, marche et parler au téléphone ou marcher et porter une charge sont des situations fréquentes en double tâche (18). Les patients traumatisés crâniens se plaignent d'un ralentissement mental, de troubles de la concentration et d'une impossibilité de réaliser deux choses en mêmes temps. De telles difficultés peuvent interférer avec les exigences de la vie quotidienne dont le retour au travail (19), qui est d'ailleurs corrélé à l'importance des troubles cognitifs (20). Les sujets traumatisés crâniens ayant des difficultés de marche liées à leur atteinte cognitive sont davantage sujets à des pertes d'équilibre avec un risque de chute plus élevé. Leur réponse motrice face à un déséquilibre est plus longue à obtenir (21). Ces situations où leur équilibre est mis à défaut peuvent être rencontrées par exemple dans les foules, les passages d'obstacle ou dans les changements rapides de direction.

## **II - La double tâche : définition, modèles théoriques attentionnels et rôle des fonctions exécutives**

### **A - Définition**

La situation de double tâche correspond à la réalisation concomitante de deux tâches ayant des buts bien distincts et séparés (22). Chaque tâche doit avoir un but propre, dans l'idéal facilement dissociable et mesurable, même si cela n'est pas toujours possible, et peut être exécutée seule ou en association à une variété d'autres tâches. Le niveau de complexité entre plusieurs tâches doit être corrélé à la valeur des interférences cognitivo-motrices. La complexité est décrite comme une caractéristique de la tâche désignant le nombre d'éléments la composant ainsi que la demande attentionnelle ou exécutive attribuée à cette tâche. Pour déterminer le niveau de complexité, il faut ainsi tenir compte des contraintes de la tâche, du contexte environnemental et de la présence de troubles cognitifs. Une même tâche ne sera, en effet, pas traitée de la même façon entre un sujet sain et un sujet cérébrolésé (22).

La consigne donnée au sujet revêt une importance primordiale. En effet, il existe deux types de paradigmes de double tâche : soit le sujet doit prioriser la tâche cognitive, soit il doit réaliser chacune des deux tâches au mieux de ses capacités sans priorisation (18).

Dans la littérature, il existe plusieurs méthodes pour calculer les performances en double tâche (Tableau 1).

L'Index d'Attribution de l'Attention (AAI ou *Attention Allocation Index*) est utilisé pour examiner l'attention accordée à une tâche plutôt qu'à une autre en réponse à une

instruction ou condition indiquant un compromis au sein de la tâche. Cet index montre à quel point l'attention est déplacée vers la tâche prioritaire ou se détourne de cette tâche prioritaire vers la tâche secondaire. Par exemple, lors de la marche, une augmentation de la charge cognitive (via une seconde tâche) peut diminuer l'attention attribuée à la marche (avec une altération de ses paramètres) (23).

Le calcul de l'Effet de la Double Tâche (DTE ou *Dual task effect*) est bidirectionnel et permet de caractériser la double tâche en termes d'atteinte ou de gain de performance. Un résultat positif illustre des variables ayant une relation positive, c'est-à-dire avec une amélioration des performances des deux tâches. Un résultat avec un multiplicateur négatif illustre une relation négative entre les variables, c'est-à-dire qu'une atteinte des performances dans une tâche est associée une amélioration des performances dans l'autre tâche (22).

Une autre méthode a été décrite, l'utilisation des Caractéristiques du fonctionnement Performance-Ressource, permettant un calcul du coût de la double tâche basé sur une limitation de traitement entraînant une interférence d'une tâche sur une autre. Des courbes sont réalisées, représentant les performances en fonction des ressources et les tracés montrent comment deux tâches interagissent et indiquent si une tâche est priorisée sur une autre (notion de compromis entre les tâches) (22,24). Par exemple, les performances de discrimination temporelle (différence entre 2 durées) et de discrimination auditive (différence entre 2 intensités de sons) subissent un partage d'attention avec diminution de l'attention attribuée à une tâche et augmentation du nombre d'erreur de discrimination. Lorsque moins d'attention est attribuée à la discrimination temporelle, la durée perçue a tendance à être la plus courte (25).

Enfin nous pouvons calculer le coût de la double tâche. Deux méthodes sont décrites : la comparaison des paramètres bruts (paramètres de marche ou scores cognitifs) en simple et double tâche, ou le calcul du coût relatif défini par la formule  $(DT-ST)/ST$  (où  $DT =$

performance lors de la double tâche et ST = performance lors de la simple tâche) (26,27).

**Tableau 1** : Méthodes communes de mesures des performances en double tâche. Adapté de McIsaac et al. (22)

Nom	Mesure	Description
<b>Index d'Attribution de l'Attention</b>	(P-S) / N, avec P = tâche prioritaire S = tâche secondaire N = tâche d'intérêt quand les priorités sont égales	<i>Compromis au sein des tâches</i> Le chiffre 1 indique une attribution totale de l'attention à la tâche prioritaire et -1 indique un détournement complet de la tâche prioritaire.
<b>Effet de la Double Tâche</b>	(Double-simple)/simple $\times \pm 100\%$ (+) multiples pour les variables avec un rapport positif (-) multiples pour les variables avec un rapport négatif	Une altération due à une double tâche est représentée par un résultat (-) et une amélioration par un résultat (+).
<b>Caractéristiques du fonctionnement Performance - Ressource</b>	Représentation graphique montrant les échelles de performance de chaque tâche individuelle réalisée en parallèle d'une seconde tâche	<i>Compromis entre les tâches</i> Zone où est montrée la distribution de l'attention pour deux tâches ; l'influence d'une tâche sur une autre est visualisée.
<b>Coût de la Double Tâche</b>	Utilisation des paramètres bruts <u>ou</u> Coût relatif : (DT-ST)/ST DT = performance lors de la double tâche ST = performance lors de la simple tâche	Pour un paramètre dont une diminution de valeur indique une diminution de performance (ex : la vitesse de marche), le coût relatif aura une valeur négative.

## B - Modèles théoriques attentionnels

L'attention a été définie en 1890 par James comme « la prise de possession par l'esprit [...] d'un objet ou d'une suite de pensées parmi plusieurs qui semblent possibles.

[...] Elle implique le retrait de certains objets afin de traiter plus efficacement les autres »

(28). L'attention est une fonction permettant à l'individu de diriger ses actions sur des

objets spécifiques et de maintenir certaines informations ou certains objets à un haut niveau de traitement, dans la mémoire de travail, ou encore dans la conscience (29). Une variété de processus cognitifs supérieurs vont réguler la répartition de l'attention entre deux tâches effectuées simultanément (30). Le traitement de différentes tâches s'effectue en parallèle, mais l'intensité ou l'efficacité de ce traitement dépendra de la charge attentionnelle disponible pour chaque tâche (31). Par exemple, lors de la marche en double tâche, la demande attentionnelle associée au contrôle postural, varie en fonction de la complexité de chaque tâche concurrente (32). Les facteurs impliqués dans ce contrôle postural sont la charge attentionnelle, la nature, la complexité, le caractère prioritaire ou non de la tâche, la nature des informations sensorielles disponibles, l'âge et les capacités sensori-motrices du sujet (33).

Plusieurs dimensions font partie du modèle attentionnel : l'*attention soutenue* (capacité à maintenir un niveau d'attention adéquat et stable au cours d'une activité d'une certaine durée), l'*attention sélective* (focalisation des ressources attentionnelles sur un stimulus, en inhibant les stimuli distrayants) et l'*attention divisée* (partage des ressources entre plusieurs tâches à traiter simultanément) (34). La double tâche renvoie à la notion d'attention divisée (35).

Différentes théories neuropsychologiques ont été proposées pour expliquer les interférences produites par la double tâche.

La *théorie de la ressource limitée* (ou « *capacity-sharing theory* ») énonce que les ressources attentionnelles sont limitées en capacités et que la réalisation de deux tâches exigeantes entraînera une détérioration d'au moins une des tâches. Si la tâche primaire (prioritaire en termes de réalisation) exige plus d'attention que la tâche secondaire et que l'association à la tâche secondaire dépasse les capacités des ressources attentionnelles, la réalisation de la tâche primaire se fera aux dépens de la tâche secondaire en puisant

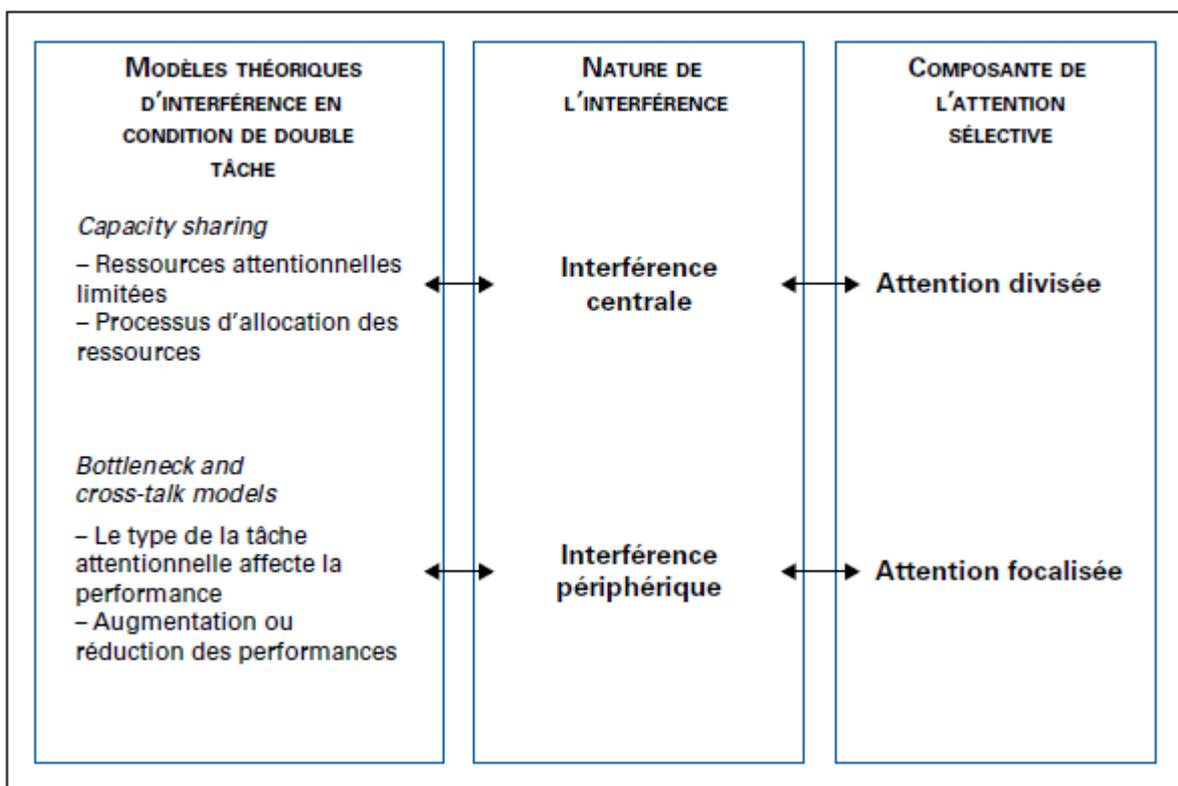
dans la charge attentionnelle qu'elle met en jeu. Donc quand une tâche devient prioritaire à réaliser, avec nécessité d'augmenter les ressources attentionnelles pour elle, elle sera réalisée au détriment de la seconde tâche. Il serait possible d'attribuer une ressource attentionnelle à une tâche spécifique même si les deux tâches réalisées ont été initialement travaillées ou sont automatiques. Sur ce modèle, il est mis en avant des interférences par dépassement des capacités attentionnelles de niveau dit « central » avec nécessité d'une nouvelle répartition de l'attention entre deux tâches (36,37). Ce modèle fait référence à l'attention divisée (cf. Figure 1).

Appartenant au modèle des ressources multiples, une deuxième théorie, la *théorie de l'entonnoir* (ou « *bottleneck theory* »), formule que si deux tâches sont traitées par le même réseau neuronal, un engorgement se crée dans le traitement des informations. Certaines tâches ne nécessitent qu'un seul domaine de traitement qui leur est dédié pour une période de temps afin d'être correctement réalisées. Si deux tâches, traitées par le même réseau, sont réalisées en même temps, l'engorgement sera à l'origine d'un retard ou de l'altération de la réalisation d'une ou des deux tâches. Le traitement de la tâche secondaire peut être dégradé, induisant un retard jusqu'à ce que le traitement de la tâche prioritaire soit terminé. Mais le traitement peut également être accéléré avec une amélioration des performances sur cette tâche secondaire. L'interférence est ici structurelle, dépendante de la nature de la tâche réalisée et elle témoigne d'un dépassement des capacités attentionnelles de niveau « périphérique ». Ainsi la réalisation d'une autre tâche pendant la marche pourrait entraîner un ralentissement de la marche ou une moins bonne performance dans la tâche cognitive, seulement si les réseaux neuronaux impliqués se chevauchent (36–38).

A l'inverse de la précédente, la *théorie du « cross-talk »* développée également dans le modèle des ressources multiples, stipule que si deux tâches proviennent d'un domaine similaire et utilisent les mêmes populations neuronales, elles ne se perturberont

pas l'une et l'autre (39). L'interférence dépendrait du contenu de l'information à traiter (par exemple, le type d'entrée sensorielle, les réponses déjà produites) et non pas du type d'activité réalisée. Il serait plus facile de réaliser deux tâches simultanément lorsqu'elles impliquent des entrées similaires avec un traitement par un même réseau neuronal (37). Ces théories témoignent d'un dépassement des capacités attentionnelles, au niveau « périphériques », limitées à un canal de traitement de l'information. Ce modèle des ressources multiples fait référence à l'attention focalisée (18) (Figure 1).

Outre ces trois théories, il a été proposé une hypothèse de *time-sharing* qui postule que le temps doit être partagé entre deux tâches. Dans le cas d'une activation d'une nouvelle zone cérébrale, la tâche surajoutée n'enlève pas de temps à l'autre tâche et les deux tâches partagent le temps afin de permettre l'accès aux ressources. De plus, l'activation cérébrale surajoutée par la double tâche est due à des étapes de traitement supplémentaires (40).



**Figure 1** : Relations entre les modèles théoriques attentionnels explicatifs de la double tâche, nature des interférences et composantes de l'attention sélective. D'après Beauchet (17).

Aucun consensus n'existe pour savoir quelle théorie explique le mieux le processus de traitement de l'information et le coût de la double tâche chez le sujet cérébrolésé. Il faut noter que même chez le sujet sain, la double tâche entraîne une diminution des performances dans une des tâches, et plus particulièrement une diminution de la vitesse de marche même si les autres aspects de la marche restent identiques (35).

### **C - Rôles des fonctions exécutives**

Les fonctions exécutives contrôlent la réalisation d'activités complexes et non routinières. Elles englobent les notions suivantes : la volonté et l'initiation d'une action, la formulation d'un but, la planification, l'organisation de l'action et la vérification (41). Une association entre la marche et les fonctions exécutives a été démontrée (35). Ces fonctions exécutives incluent des composantes cognitives et comportementales permettant la réalisation d'actions ciblées et le contrôle des ressources attentionnelles afin de gérer au mieux les activités de la vie quotidiennes. Une atteinte d'une de ses composantes peut donc avoir une incidence sur la capacité à marcher de façon efficace et sécurisée. L'atteinte de la volonté entraîne une diminution de la mobilité. L'atteinte de la planification entraîne un déficit dans la capacité de prise de décision en marchant dans un environnement complexe. L'atteinte de l'inhibition d'une réponse ou de l'organisation de l'action rend plus difficile la gestion des nombreuses distractions rencontrées au cours de la marche. L'atteinte de l'attention divisée a des conséquences dans la marche en double tâche (35). Les performances de marche sont corrélées aux fonctions exécutives lors d'une interférence en double tâche (42). L'association entre les fonctions exécutives et la marche est d'autant plus importante que la tâche locomotrice est difficile (exemple : lors le passage d'obstacle) (35).

### **III - Caractéristiques de la marche en double tâche chez les sujets cérébrolésés**

Les patients cérébrolésés présentent des troubles en situation de marche en double tâche.

#### **A - Chez les patients avec un accident vasculaire cérébral**

Les études chez les patients ayant été victimes d'un accident vasculaire cérébral montrent que la double tâche induit des conséquences sur leur marche : diminution de la vitesse de marche, diminution de la longueur d'enjambée, augmentation du temps de double appui, qui sont des paramètres déjà observés lors de la marche mais dont l'altération est encore plus importante en double tâche chez les patients comparativement aux sujets contrôles (43,44). De plus, les deux types de tâches concurrentes (motrice et cognitive) ont encore plus d'impact chez les sujets avec une atteinte sensorimotrice et un équilibre altéré (44).

L'interférence cognitivo-motrice entraîne une diminution de l'exécution d'une des deux tâches, les patients ayant tendance à privilégier la tâche cognitive par rapport à la tâche motrice (45). Différents types de tâches concurrentes ont été utilisées, certaines de nature physique (comme « porter un verre d'eau sans en renverser le contenu ») (44), d'autres cognitives : réaliser un « décompte par -3 à voix haute » (44), une tâche de « Back Task » auditive (répondre par « oui » ou « non » selon qu'une lettre entendue est la même que la précédente) (43,46), répondre à une « Clock Task » auditive sur une heure donnée (par « oui » ou « non » selon que les aiguilles de l'heure sont du même côté du cadran) (43,46) ou une tâche de « conversation » (46).

## **B - Chez les patients avec un traumatisme crânien**

Le traumatisme crânien est à l'origine d'un déficit de l'attention avec ralentissement du traitement de l'information engendrant également une atteinte en situation de double tâche (48). Dans le cas d'un paradigme mettant en jeu la marche et une autre tâche, l'interférence reposerait sur la mise en jeu conjointe de l'attention. Cela se traduit dans la mesure des paramètres spatio-temporels de la marche.

Le tableau 2 illustre une revue de la littérature sur les différents travaux sur l'effet de la double tâche sur la marche chez le patient TC. Il illustre diverses tâches de déambulation et tâches cognitives avec des critères de jugement qui sont variables d'une étude à l'autre.

Tester la marche, conjointement avec une tâche cognitive a permis de détecter de subtils déficits chez des sujets après TC modéré. Catena et al. ont ainsi démontré que les sujets TC adoptaient une stratégie de marche plus conservatrice par rapport à des sujets contrôles afin de maintenir leur stabilité lorsqu'ils réalisaient une tâche cognitive comme « épeler un mot », réaliser un « décompte » ou une « récitation des mois de l'année », en marchant (49). Parker et al. ont étudié la stabilité de la marche en condition de double tâche en utilisant le « décompte » et une tâche verbale à haute voix (« épeler un mot à l'envers »). Ces auteurs ont mis en évidence des vitesses de marche plus lentes et une majoration des oscillations du centre des pressions afin de maintenir l'équilibre dynamique (17). Martini et al. ont utilisé le test cognitif visuospatial de Brooks en condition de marche « sur terrain plat » et de « franchissement d'obstacle » pour montrer que les sujets TC adoptaient une nouvelle stratégie de marche avec un schéma de marche plus prudent, en particulier dans une tâche d'évitement d'obstacle (50). Enfin des tâches cognitives de « Stroop visuel » ou « Stroop auditif » ont été utilisées pour illustrer l'atteinte en double tâche chez le sujet TC en condition de « marche sur terrain plat » et « franchissement

d'obstacle » (16,51).

La tendance globale retrouve un effet de la double tâche sur les paramètres spatio-temporels de la marche comme la vitesse de marche (17,50–52), la cadence, la longueur et largeur du pas ainsi que sur les temps de simple et double appui (50,53). Il a également été montrée un effet sur les déplacements médio-latéraux du centre de masse, illustrant une capacité réduite à contrôler l'équilibre en marchant (17,54,55). La double tâche peut également être complexifiée en utilisant le « franchissement d'obstacle » qui permet de mesurer les paramètres du pas précédant et suivant l'obstacle et de mesurer la clairance de passage d'obstacle (grâce à une Analyse Quantifiée de la Marche) (16,51). Les sujets traumatisés crâniens ont des clairance de passage d'obstacle plus élevées pour le membre d'attaque et plus faibles pour le membre d'impulsion lors du passage d'obstacle en double tâche (16,51).

Dans la littérature peu d'auteurs ont étudié le coût de la double tâche. Cosette et al. ont étudié le coût de la double tâche sur la vitesse de marche, qui est augmenté chez les sujets avec TC (52). Sinopoli et al. ont étudié le coût de la double tâche via l'IRM fonctionnelle avec une tâche visuo-spatiale de mémoire de travail (n-back) et une autre tâche motrice que la marche (« appuyer sur des boutons »). Ils ont pu mettre en évidence le recrutement anormal de structures cérébrales impliquées à la fois dans la mémoire de travail et dans la double tâche (56). McFayen et al. ont étudié le coût de la double tâche en utilisant le temps de réaction lors d'un test de Stroop, montrant un coût attentionnel accru pour la modalité visuelle par rapport à la modalité auditive (16). Sambavisan et al. ont étudié le coût de la double tâche chez des enfants avec TC et n'ont pas mis en évidence de différence de coût par rapport aux contrôles (57).

Les études réalisées portent pour la majorité sur de faibles effectifs de population avec peu de sujets TC modérés à sévères. L'âge des participants n'est pas homogène

puisque certaines études portent sur des sujets jeunes (adolescents voir enfants), d'autres sur des adultes. De plus, les protocoles sont très diversifiés d'une étude à l'autre, que ce soit sur le type de tâche cognitive ou sur le type de tâche motrice utilisés, avec des modalités d'enregistrement différentes (GaitRITE, AQM).

**Tableau 2** : revue de la littérature sur l'effet de la double tâche sur la marche du sujet TC

Auteur	Population	Tâches de déambulation	Tâches cognitives	Résultats
<b>Parker 2005</b>	10 TC légers 10 contrôles	Marche sur terrain plat (AQM)	Soustraction par -7 Epellation inverse Enumération mois de l'année à l'envers	Diminution de la vitesse de marche Majoration des oscillations médio-latérales du CdM
<b>Vallée 2006</b>	9 TC modérés à sévères 9 contrôles	Marche sur terrain plat Franchissement d'obstacle (AQM)	Test de Stroop (barres et mots)	Diminution de la vitesse de marche en DT et passage d'obstacle Augmentation des marges de franchissement de l'obstacle
<b>Catena 2006</b>	14 TC modérés 14 contrôles	Marche sur terrain plat Franchissement d'obstacle (AQM)	Epellation inverse Soustraction par -7 Enumération mois de l'année à l'envers	Diminution de la vitesse de marche en DT et passage d'obstacle Diminution des oscillations antéro-postérieures du CdM en tâche cognitive
<b>McFayen 2009</b>	11 TC modérés à sévères 7 contrôles	Marche sur terrain plat Franchissement d'obstacle (AQM)	Test de Stroop visuel (mots) et auditif	Pas de différence de vitesse de marche Augmentation du temps de réaction des TC
<b>Martini 2011</b>	28 TC jeunes sportifs 40 contrôles	Marche sur terrain plat Franchissement d'obstacle (GaitRITE)	Attention spatiale : test de Brooks	Diminution de la vitesse de marche Augmentation de temps de double appui Diminution du temps de simple appui
<b>Cossette 2014</b>	14 TC légers 7 contrôles	Marche sur terrain plat Franchissement d'obstacle Descente d'une marche (AQM)	Test de Stroop visuel Soustraction par -2 Fluence verbale	Diminution de la vitesse de marche dans toutes les conditions de DT
<b>Howell 2015</b>	19 TC jeunes sportifs 19 contrôles	Marche sur terrain plat (AQM)	Test de Stroop auditif	Majoration de l'amplitude des déplacements médio-latéraux du CdM (paramètre plus sensible que les déplacements latéraux)
<b>Sambasivan 2015</b>	26 enfants TC modérés 22 contrôles	Marche sur terrain plat Franchissement d'obstacle (GaitRITE)	Soustraction par -3	Diminution de la vitesse de marche, augmentation de temps de double appui, diminution du temps de simple appui avec l'obstacle

Légende : TC = traumatisé crânien ; AQM = Analyse Quantifiée de la marche ; CdM = Centre de Masse ; DT = double tâche.

## V - Synthèse et Objectifs

Les difficultés en double tâche rencontrées par les traumatisés crâniens sont à l'origine de difficultés dans leur vie de tous les jours. Les plaintes concernant leur marche et leur équilibre seraient attribuées à leurs troubles cognitifs, d'autant plus qu'ils se trouvent dans une situation de la vie quotidienne contraignantes. Leur marche serait affectée par la double tâche, avec un effet plus important selon le niveau de complexité de chaque tâche. La revue de la littérature montre des articles étudiant de faibles effectifs de patients avec des tâches de déambulation et des tâches cognitives diverses et des critères de jugements variables. Il existe par ailleurs peu d'études évaluant le coût relatif de la double tâche. Nous nous demandons par ailleurs si la perception par le patient de troubles de l'équilibre et de marche dans la vie quotidienne serait liée au coût de la double tâche et si ce dernier serait spécifique à la marche ou en relation avec les perturbations observées dans d'autres paradigmes de double tâche cognitivo-motrice.

Les objectifs de ce travail étaient les suivants :

- évaluer et caractériser le coût de l'ajout d'une tâche cognitive sur les paramètres spatio-temporels de marche du traumatisé crânien.
- étudier la relation entre le coût de la double tâche lors de la déambulation et lors d'une autre tâche motrice (tâche de cheminement à l'écrit), pour mesurer le caractère spécifique à la marche du coût en double tâche.
- étudier la relation entre le coût de la double tâche et les difficultés en situation de marche perçues par les sujets traumatisés crâniens dans leur vie quotidienne, afin de faire rattacher ce coût au ressenti du sujet sur la vie quotidienne.

- étudier la relation entre le coût de la double tâche et les performances cognitives globales du sujet.

Notre hypothèse principale était que le coût de la double tâche sur la marche serait plus important chez des patients traumatisés crâniens. Par ailleurs, les performances en double tâche pourraient être associées aux difficultés de marche rencontrées par le patient, et seraient non spécifiques à la marche.

## SUJETS ET METHODES

Il s'agit d'une étude expérimentale contrôlée et monocentrique.

### I - Sujets

Les sujets traumatisés crâniens ont été recrutés dans la région des Hauts-de-France dans le service de Rééducation Neurologique Cérébrolésion de l'Hôpital Pierre Swynghedauw (CHRU de Lille), auprès du Service médico-social Auprès-TC à La Bassée, de la Maison d'Accueil Spécialisée « Résidence Le Havre de Galadriel » à Loos et du Centre Sainte Barbe (Fondation Hopale) à Fouquières-lès-Lens.

Les sujets traumatisés crâniens inclus devaient être majeurs, avoir présenté un traumatisme crânien unique de gravité modérée à sévère depuis au moins 2 mois. Les sujets devaient également savoir marcher sans aide technique et avoir les capacités cognitives pour comprendre les consignes et suivre le protocole.

Les sujets étaient exclus s'ils présentaient un ou des antécédents neurologiques autres que le TC et s'ils avaient dans leurs antécédents une pathologie de l'appareil locomoteur ayant des conséquences sur la marche.

Pour permettre une comparaison à une population contrôle, nous avons recrutés des sujets indemnes de toute pathologie neurologique ou de pathologie de l'appareil locomoteur. Ils étaient appariés aux patients sur le sexe et sur l'âge.

Tous les sujets devaient donner leur consentement écrit sur la base d'une information écrite complétée si nécessaire oralement par l'investigateur.

## II - Protocole expérimental

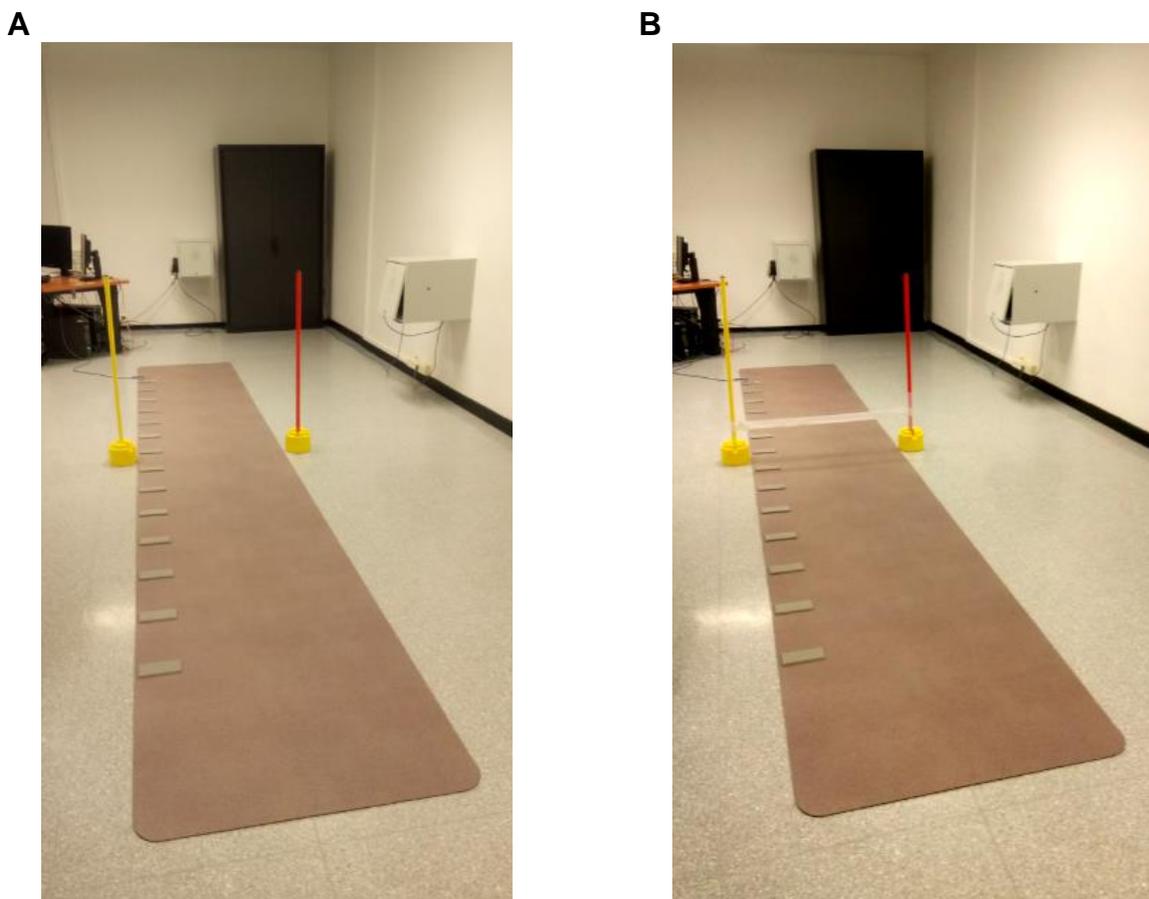
L'étude a été réalisée dans la salle d'Analyse de la Marche de l'Hôpital Pierre Swynghedauw au Centre Hospitalier et Régional Universitaire de Lille lors d'une session unique.

Chaque sujet devait marcher à vitesse confortable, dans une salle fermée et éclairée afin de minimiser les interférences auditives et visuelles, dans deux conditions différentes, « terrain plat » puis « obstacle », en simple tâche puis lors de 3 modalités de double tâche : « Back Task », « décompte » et « conversation » (cf. infra). Dans chaque condition de marche, l'ordre des passages en double tâche était randomisé. Une moyenne sur 4 passages était réalisée pour chaque modalité (simple tâche et chacune des doubles tâches), les sujets devaient donc effectuer 16 passages par condition de marche (« terrain plat » et « obstacle »). Des temps de pause étaient aménagés entre les essais si nécessaire.

### A - Conditions de marche

Dans les deux conditions, les sujets devaient se déplacer en ligne droite sur une distance de huit mètres à vitesse confortable, avec leurs chaussures habituelles. Un tapis électronique d'analyse de la marche GAITRite (CIR Systems Inc., Sparta, NJ, Etats-Unis) était disposé 1,50 mètres après le départ. Il s'agit d'un tapis de marche mesurant la position et la pression exercée par les pieds sur le sol à l'aide de capteurs de forces répartis sur sa surface (58). Le tapis utilisé mesurait 5,18m de longueur totale dont 4,27m de longueur active pour une largeur de 90 cm et disposait de 16 128 capteurs résistifs de 1,27 x 1,27 cm<sup>2</sup> avec une fréquence d'échantillonnage de 120Hz. Le tapis GAITRite était employé avec le logiciel GAITRite V3.8A (BIOMETRICS France).

Dans la condition «terrain plat » (Figure 2A), les sujets devaient marcher jusqu'à l'extrémité du couloir de marche ; dans la modalité « obstacle » (Figure 2B), ils devaient franchir un obstacle situé à mi-parcours, matérialisé par une bande souple placée à une hauteur de 25% de la longueur grand trochanter-sol (51).



**Figure 2** : Modalité de marche sans obstacle (A) et avec obstacle (B)

### **B - Conditions de double tâche**

Trois tâches cognitives concurrentes étaient testées :

- *Back Task* : il était diffusé un enregistrement sonore de lettres ne suivant pas l'ordre de l'alphabet via une enceinte portable au rythme de 1 lettre toutes les deux secondes. Le sujet devait répondre par « OUI » ou « NON » selon que la

lettre entendue était la même ou non que la précédente (27,59).

- *Tâche de décompte* : un nombre, compris au hasard entre 90 et 100, était donné au sujet qui devait alors réaliser des soustractions par 3 (44,60).
- *Tâche de conversation* : le sujet marchait en répondant à plusieurs questions, en rapport avec des éléments de son historique personnelle (famille, loisirs, vacances...) (46).

Les épreuves de « Back Task » et de « décompte » étaient également réalisées en simple tâche.

## **C - Paramètres évalués**

### 1 - Paramètres de marche

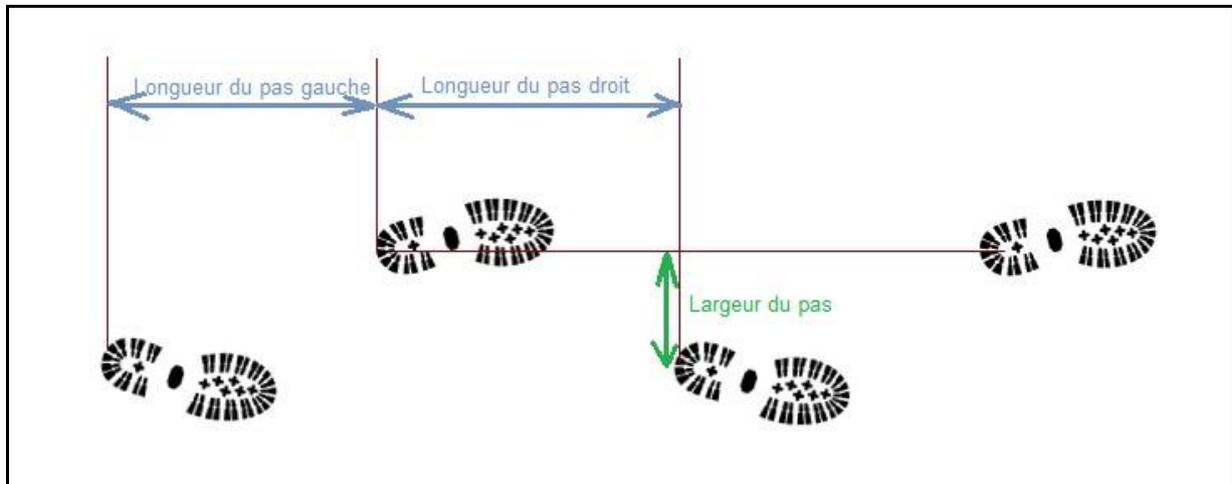
#### *a - Marche sur terrain plat*

Lors de la marche sur terrain plat, les paramètres suivants étaient recueillis :

- la vitesse de marche (en mètres par seconde),
- la cadence (nombre de pas par seconde),
- la longueur du pas (en centimètres), correspondant à la distance de progression du pied oscillant par rapport à l'autre (Figure 3),
- la largeur du pas (en centimètres), correspondant à la distance entre la partie postérieure du talon projeté sur une perpendiculaire à l'axe de progression du pied, (Figure 3), la variabilité de ce paramètre était également prise en compte,
- la durée de simple et de double appui (en pourcentage de la durée du cycle de marche) (50).

Les paramètres spatio-temporels propres à chaque membre (longueur, largeur de

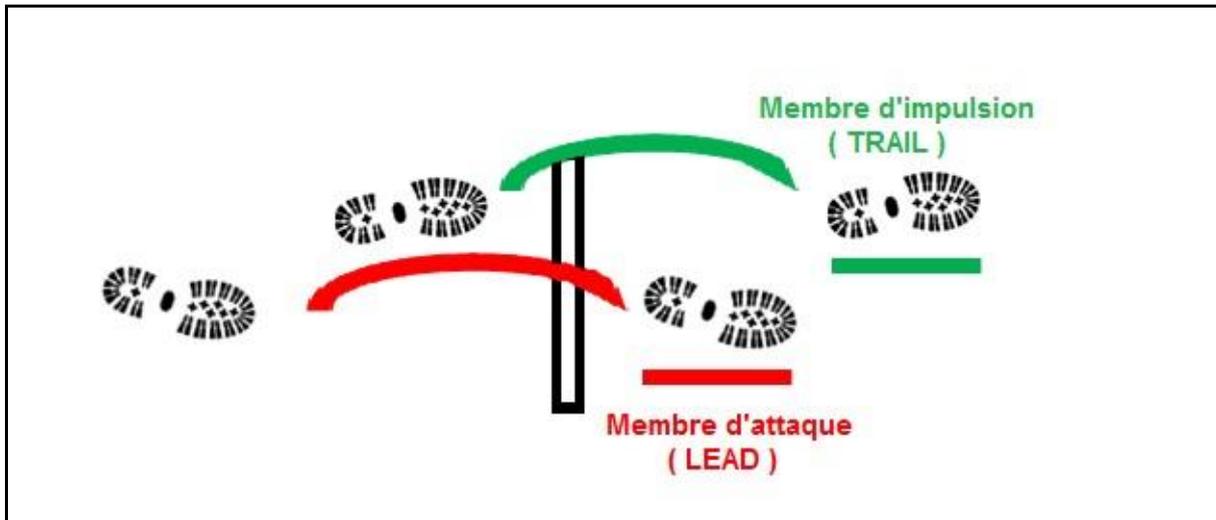
pas et temps de cycle et d'appui) étaient moyennés entre les deux membres. Chaque enregistrement était reconstruit automatiquement via le logiciel GAITRite V3.8A ou manuellement en cas d'impossibilité de traitement ou d'erreur du logiciel.



**Figure 3** : Représentation des paramètres : longueur et largeur du pas

#### *b - Franchissement d'obstacle*

Lors de la marche avec l'obstacle, nous avons définis un membre d'attaque (membre « LEAD »), correspondant au membre qui enjambe l'obstacle en premier et un membre d'impulsion (membre « TRAIL »), correspond au membre qui est le dernier à franchir l'obstacle (51) (Figure 4).

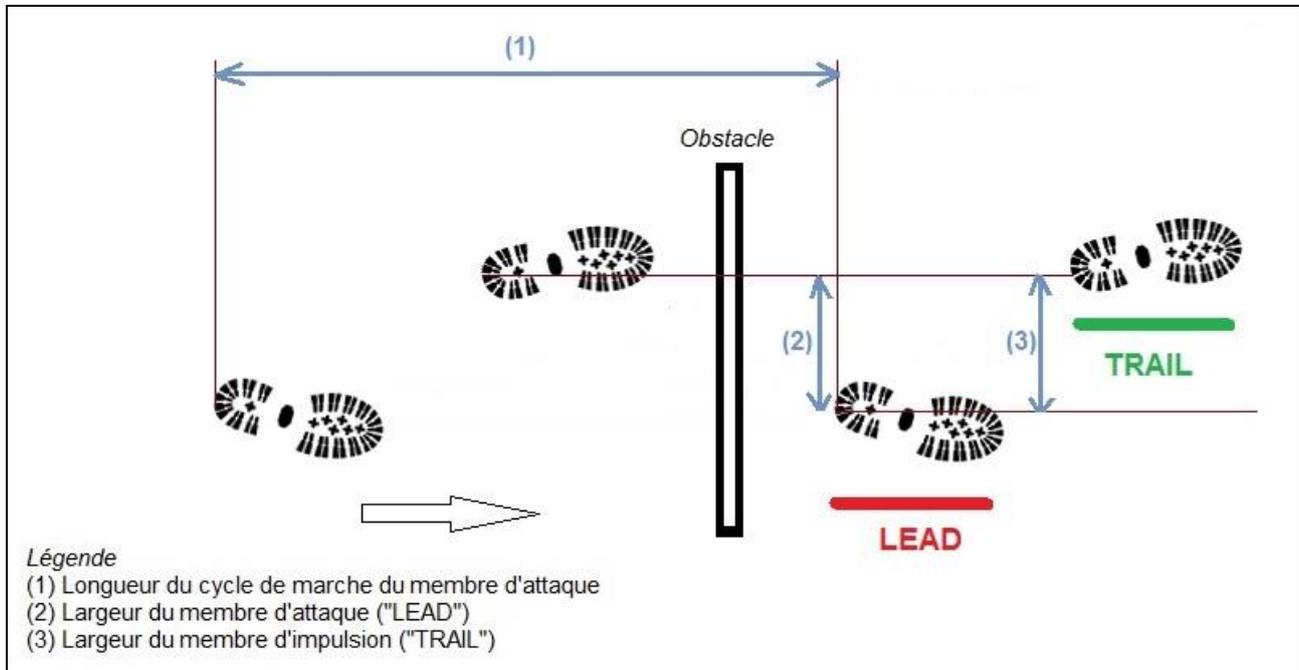


**Figure 4 :** Distinction entre « membre d'attaque » et « membre d'impulsion » lors du passage d'obstacle

Les paramètres recueillis lors de la marche avec obstacle étaient les suivants (Figure 5) :

- le temps de réalisation des 4 passages (en secondes), chronométrée dès le décolllement du premier pas. En effet, la vitesse ne pouvait être analysée via le GAITRite, comme pour la marche sur terrain plat, car le passage de l'obstacle faisait perdre le caractère constant de la vitesse sur un essai.
- la longueur d'un cycle de marche pour le membre d'attaque et le membre d'impulsion (en centimètres), correspondant à la distance entre deux contacts successifs du même membre inférieur au sol, par le talon.
- la largeur du pas pour le membre d'attaque et le membre d'impulsion (en centimètres), correspondant respectivement à la distance orthogonale entre le centre du talon du membre qui s'écrase (membre d'attaque) et le centre du talon du pied controlatéral et à la distance entre le centre du talon du membre qui s'écrase (membre d'impulsion) et le centre du talon du pied controlatéral.
- la durée de la phase de simple appui (en secondes) lorsque le membre d'attaque franchissait l'obstacle (c'était alors le membre d'impulsion qui était

en simple appui) et la durée de la phase de simple appui lorsque le membre d'impulsion le franchissait (c'était alors le membre d'attaque qui était en simple appui).



**Figure 5 :** Représentation des paramètres longueur du cycle et largeur du pas lors du franchissement d'obstacle

2 - Mesures cognitives en simple et double tâche

Lors de la Back Task, le nombre de bonnes réponses était noté durant une minute en simple tâche et durant la durée des passages en double tâche. L'absence de réponse à une lettre entendue était assimilée à une réponse fausse. Le nombre de réponses était rapporté au temps pour harmoniser les échelles de temps entre les évaluations en simple et double tâche.

La même méthode de recueil était utilisée pour la tâche de décompte. Une faute de calcul était comptée comme une erreur et la validité des réponses suivantes étaient basées sur le dernier nombre énoncé.

La tâche de conversation n'étant pas quantifiable par nos moyens de mesures et

étant variable dans la longueur des réponses, nous n'avions pas pu la quantifier en simple et double tâche.

### 3 - Analyse des paramètres

Les paramètres recueillis ont été analysés de deux manières :

- En utilisant les paramètres bruts, permettant une analyse comparative intra- et intergroupes de l'évolution de chaque paramètre.
- En mesurant le coût relatif de la double tâche sur les paramètres de marche et sur les performances cognitives (27,61,62), ce qui permet des comparaisons intergroupes et inter modalités. Pour cela, la formule suivante a été appliquée :

$$\frac{(\text{Valeur du paramètre en Double tâche} - \text{Valeur en Simple tâche})}{\text{Valeur en Simple tâche}}$$

Les résultats étaient obtenus en pourcentage. Pour la vitesse, les autres paramètres de marche et le nombre de bonnes réponses en tâche cognitive, une valeur négative indiquait une diminution des performances en double tâche avec un coût plus élevé. Pour le temps de parcours et la largeur du pas, une valeur positive indiquait une diminution des performances en double tâche avec un coût plus élevé.

### III - Autres évaluations

#### A - Test de double tâche de Baddeley

Le test de Baddeley a été réalisé pour étudier du coût de la double tâche sur une autre tâche motrice que la marche (63) (Annexe 1). Dans ce test, la tâche motrice consiste à écrire un maximum de croix dans des cases en suivant un parcours imposé. La tâche cognitive est une épreuve d'empan direct de chiffres. Le sujet réalisait chaque épreuve séparément durant deux minutes, puis les deux tâches en même temps. Un score de performance était calculé à la fin selon la formule, quantifiant le coût de la tâche d'empan sur la tâche motrice. Plus le score était bas, moins bonne était la performance.

#### B - MoCA

Nous avons effectué une évaluation globale rapide par l'échelle de *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA), validée pour l'évaluation des sujets avec TC (64). Il s'agit d'une évaluation cognitive rapide évaluant l'attention, la concentration, les fonctions exécutives, la mémoire, le langage, les capacités visuoconstructives, les capacités d'abstraction, le calcul et l'orientation (65). Le nombre de points maximal est de 30 avec une valeur considérée comme normale si elle est supérieure ou égale à 26.

#### C - BREF

La Batterie Rapide d'Efficienc e Frontale (BREF) (ou *Frontal Assessment Battery*) a été utilisée pour évaluer globalement les fonctions exécutives (66) (Annexe 2). Elle comporte 6 sous-tests évaluant la conceptualisation et le raisonnement abstrait, la flexibilité mentale, la programmation motrice et le contrôle exécutif de l'action, la

résistance à l'interférence, l'autorégulation et le contrôle de l'inhibition et l'autonomie vis-à-vis de l'environnement. Le nombre de points maximal est de 18 et un score inférieur à 16 est considéré comme anormal.

#### **D - Echelle ABC-Scale**

Enfin, La version simplifiée de l'échelle ABC-Scale (*Activities-specific Balance Confidence Scale*) a également été utilisée. Il s'agit d'un autoquestionnaire évaluant la confiance de la personne en son équilibre et sa marche lors de la réalisation de tâches de la vie quotidienne (12) (Annexe 3). Elle comprend 15 items cotés de 0 à 3. Le score global est sur 45, ramené ensuite en pourcentage (Annexe 3).

### **IV - Analyses statistiques**

Les paramètres quantitatifs continus sont présentés en moyenne et écart-type, les autres paramètres en effectifs et pourcentages.

La comparabilité des paramètres démographiques des deux groupes a fait appel à un test de Mann-Whitney ou un test du Chi2 selon le type de variable.

En ce qui concerne l'étude des effets de la double tâche dans chacune des modalités de marche (terrain plat et franchissement d'obstacle), les paramètres bruts ont été comparés en utilisant une ANOVA pour mesure répétées (ANOVAmr) avec pour variables intra-sujets les 4 conditions (simple tâche et chacune des modalités de double tâche) et comme variable inter-sujets le groupe (TC et groupe contrôle). Pour le coût de la double tâche, l'ANOVAmr a inclus les 3 conditions de double tâche (ration ST/DT) et les deux groupes. Les critères d'homoscédasticité et de normalité des résidus étaient vérifiés. Les effets *post-hoc* ont été testés en prenant en compte le caractère répété des mesures

par une correction de Bonferroni.

Les relations entre coût de la double tâche de marche et les évaluations cognitives, la tâche de Baddeley et la confiance dans la marche (ABC-Scale) a été réalisée à l'aide d'un test de corrélation de Spearman.

Le seuil de significativité a été fixé à  $p < 0,05$ . Le logiciel SPSS V20 (IBMcorp, Armonk, Etats-Unis) a été utilisé pour toutes les analyses.

## RESULTATS

### I - Population

Au total, 47 sujets ont été recrutés dans le protocole d'étude dont 22 sujets avaient présenté un traumatisme crânien modéré à sévère et 26 sujets contrôles. Parmi les sujets traumatisés crâniens, il y avait 19 hommes (86,4%) et l'âge moyen était de  $32,5 \pm 11,6$  ans. Parmi les sujets contrôles, il y avait 23 hommes (88,5%) et l'âge moyen était de  $34,8 \pm 12,8$  ans. Il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes pour le sexe et l'âge.

Au sein du groupe des traumatisés crâniens (Tableau 1), huit sujets avaient présenté un TC modéré (36,4%) et 14 sujets un TC sévère (66,4%). Il n'y avait pas de différence significative entre les TC modérés et sévères pour le délai post-traumatisme crânien mais il existait une variabilité importante. Nous n'avons pas noté de différence significative pour la durée du coma et le type de lésion. De la même façon, il n'y avait pas de différence dans la répartition des types de lésion entre les groupes.

La BREF a été réalisée chez 14 sujets TC : 8 sujets (57%) avaient un score considéré comme anormal (inférieur ou égal à 15) et 6 sujets avaient un score normal (Figure 6). Les 4 sujets avec TC modéré ayant répondu à la BREF avaient un score anormal. Parmi les 10 sujets avec TC sévère, 4 sujets (40%) avaient un score anormal.

Le MoCA, réalisé chez tous les sujets TC, était pathologique (inférieur ou égal à 25) chez 13 d'entre eux (59%) (Figure 7). Parmi les 8 sujets avec TC modéré ayant répondu au MoCA, 5 sujets (62,5%) avaient un score pathologique. Parmi les 14 sujets avec TC sévère, 8 sujets (57,1%) avaient un score pathologique.

L'ABC-scale a été réalisée chez les 22 sujets TC. Les sujets avec TC modéré avaient une confiance en leur équilibre de 78,58% en moyenne et les sujets avec TC sévère avaient une confiance de 82,43% en moyenne (différence non significative). Ces valeurs témoignent d'une altération peu importante de la confiance dans la marche.

**Tableau 3** : Caractéristiques du groupe des patients traumatisés crâniens

	<b>TC n = 22</b>	<b>TC modérés n = 8</b>	<b>TC sévères n = 14</b>
<b>Délai TC (mois)</b>	38,7 ± 66,2	44,3 ± 77,8	35,5 ± 61,5
<b>Médiane Délai TC (mois)</b>	13	18	10,5
<b>Type de lésion</b>			
- Lésion extracérébrale	9 (40,9%)	3 (37,5%)	6 (42,8%)
- Lésion intracérébrale focale	15 (68,1%)	6 (75%)	9 (64,3%)
- Lésions encéphaliques diffuses	17 (77,2%)	7 (87,5%)	10 (71,4%)
<b>BREF (/18)</b>	14,71 ± 2,2	14,25 ± 1,5	14,9 ± 2,6
<b>MoCA (/30)</b>	23,27 ± 4,6	24,75 ± 3,1	22,43 ± 5,1
<b>ABC-S ± SD (%)</b>	81,03 ± 17,2	78,58 ± 21,1	82,43 ± 15,3

*Légende : TC = traumatisé crânien ; Délai TC = délai post-traumatisme crânien ; BREF = Batterie Rapide d'Efficiency Frontale ; MoCA = Montreal Cognitive Assessment ; ABC-S = Activities-specific Balance Confidence Scale*

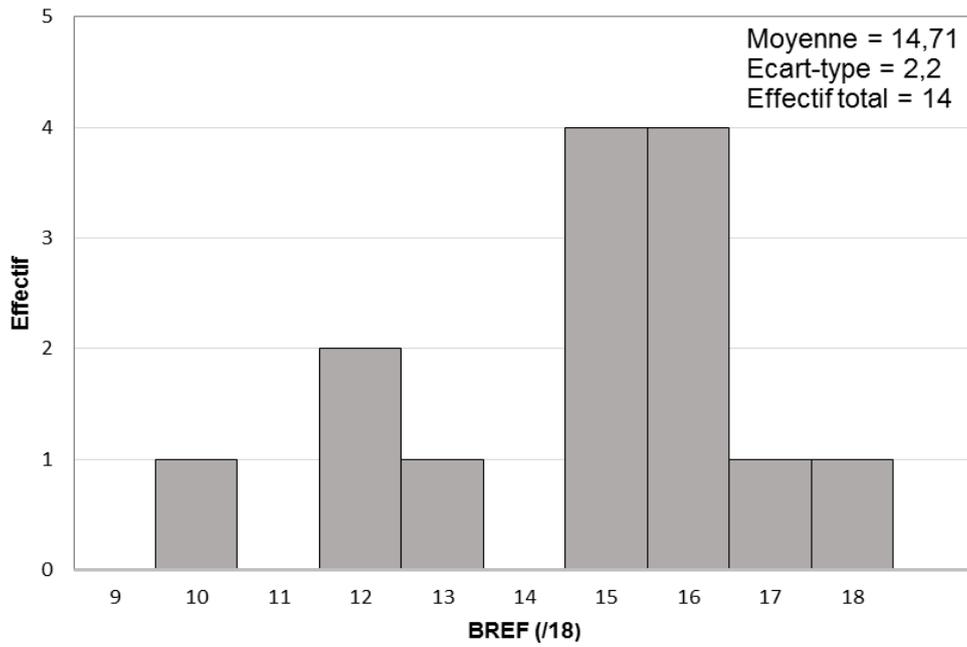


Figure 6 : Répartition des résultats à la BREF chez les patients TC

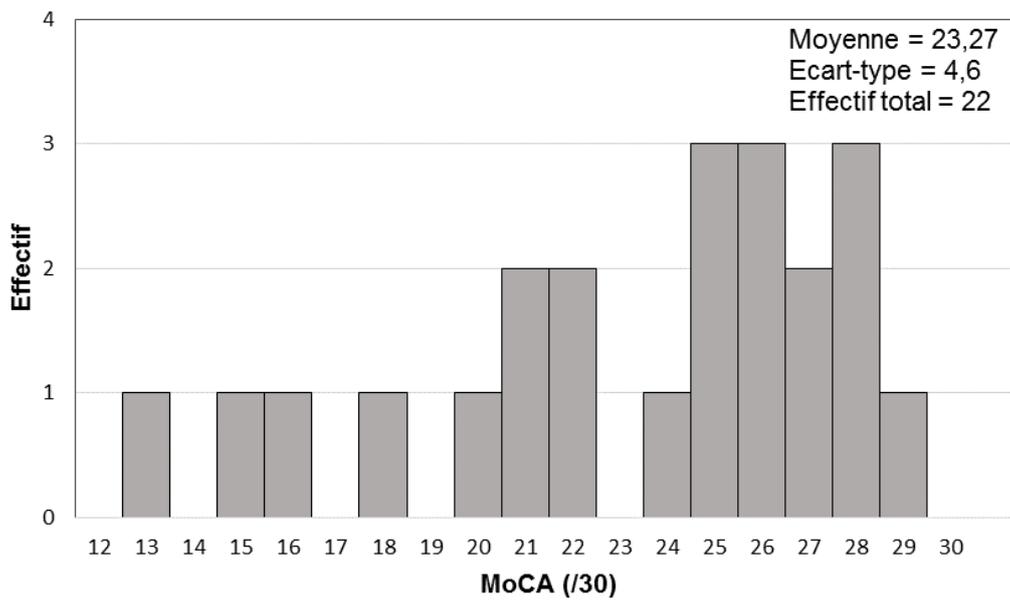


Figure 7 : Répartition des résultats à l'échelle MoCA chez les patients TC

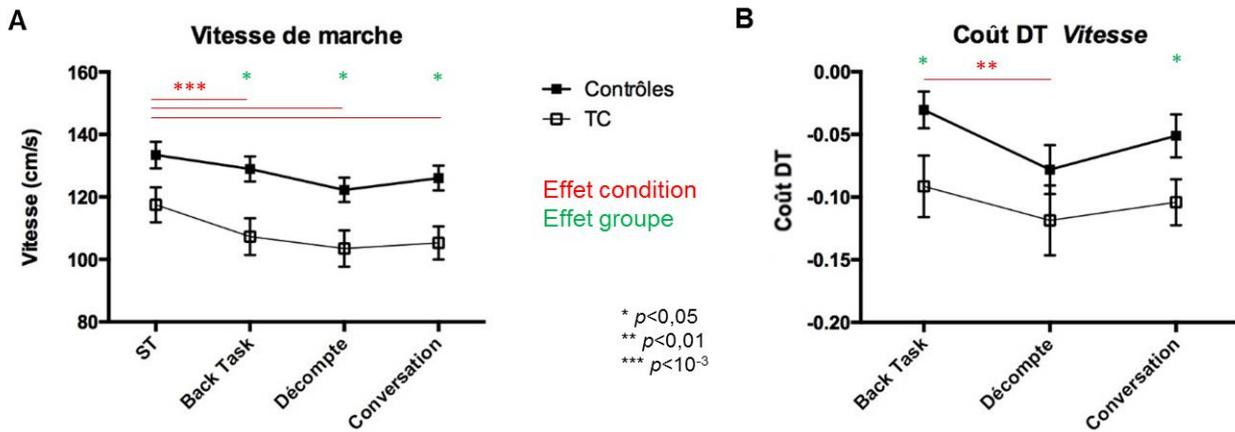
## II - Marche sur terrain plat

Un tableau synthétisant les résultats est présenté en fin de ce chapitre (tableau 4) pour permettre au lecteur d'avoir une vision synthétique des résultats détaillés ci-après.

### A - Vitesse de marche

Pour la vitesse de marche, il existait un effet de la condition ( $F_{(2.65, 121.7)} = 20,72 ; p < 10^{-3}$ ) et un effet du groupe ( $F_{(1, 46)} = 8,89 ; p = 0,005$ ). Les tests *post-hoc* ont montré que la vitesse de marche était altérée dans chacune des modalités de double tâche ( $p < 10^{-3}$ ) et qu'elle était également moins importante chez les sujets TC que chez les contrôles ( $p < 10^{-3}$ ) (Figure 8A).

Concernant le coût de la double tâche sur la vitesse de marche, il existait un effet de la condition ( $F_{(2, 92)} = 5,22 ; p = 0,007$ ) avec lors des tests *post-hoc*, une différence significative entre la Back Task et la tâche de décompte ( $p = 0,009$ ). Il existait également un effet du groupe ( $F_{(1, 46)} = 4,03 ; p = 0,049$ ) : le coût était plus important pour les traumatisés crâniens, significativement pour les tâches de Back Task ( $p = 0,041$ ) et de conversation ( $p = 0,060$ ). Le coût était le plus important pour la tâche de décompte mais ne permettait pas de discriminer significativement les sujets contrôles et les sujets TC (Figure 8B).



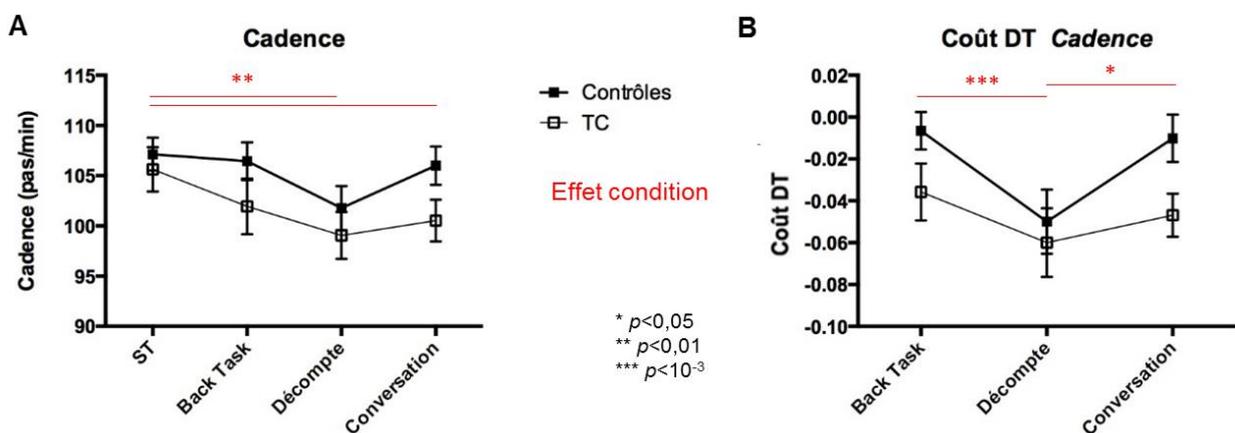
**Figure 8 :** Vitesse de marche et coût de la double tâche sur la vitesse de marche

**Légende :** DT = double tâche ; ST = simple tâche

**B - Cadence**

Pour la cadence de marche, il existait un effet de la condition ( $F_{(2,27, 104.5)} = 14,6 ; p < 10^{-3}$ ) mais pas d'effet du groupe ( $p = 0,21$ ). Les tests *post-hoc* ont montré que la cadence était altérée en tâche de décompte ( $p < 10^{-3}$ ) et tâche de conversation ( $p = 0,03$ ) par rapport à la simple tâche (Figure 9A).

Concernant le coût de la double tâche sur la cadence, il existait un effet de la condition ( $F_{(2, 92)} = 9,69 ; p < 10^{-3}$ ) mais pas d'effet du groupe ( $p = 0,11$ ). Les tests *post-hoc* ont montré qu'il y avait une différence significative entre le décompte et la Back Task ( $p < 10^{-3}$ ) et entre le décompte et la conversation ( $p = 0,021$ ) (Figure 9B).



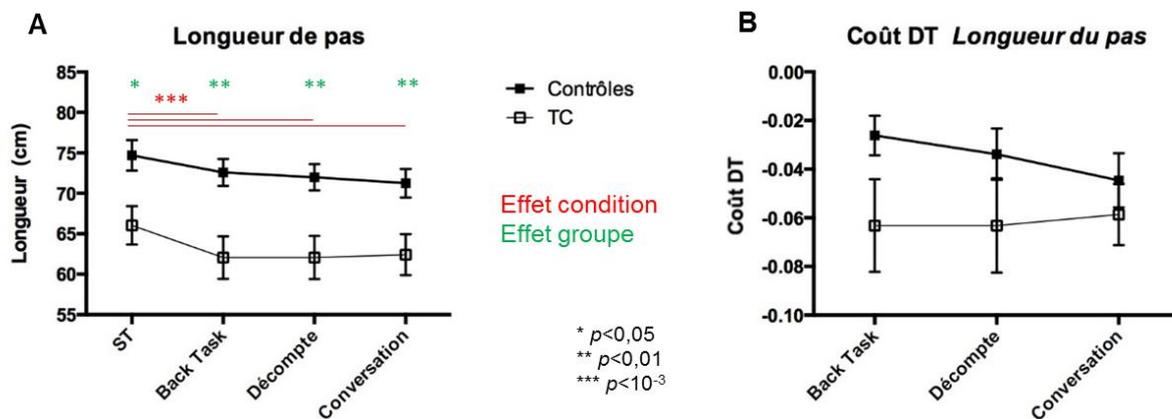
**Figure 9 :** Cadence et coût de la double tâche sur la cadence

**Légende :** DT = double tâche ; ST = simple tâche

### C - Longueur du pas

Pour la longueur du pas, il existait un effet de la condition ( $F_{(2,68, 123,3)} = 13,9 ; p < 10^{-3}$ ) et un effet du groupe ( $F_{(1, 46)} = 10,6 ; p = 0,02$ ). Les tests *post-hoc* pour la condition ont montré que la longueur du pas marche était altérée dans chacune des modalités de double tâche ( $p < 10^{-3}$ ) sans différence entre chacune d'elles. Elle était également moins importante chez les sujets TC que chez les contrôles, y compris en simple tâche (Figure 10A).

Concernant le coût de la double tâche sur la longueur du pas, il n'existait pas d'effet de la condition ni d'effet du groupe (Figure 10B).



**Figure 10 :** Longueur du pas et coût de la double tâche sur la longueur du pas  
**Légende :** DT = double tâche ; ST = simple tâche

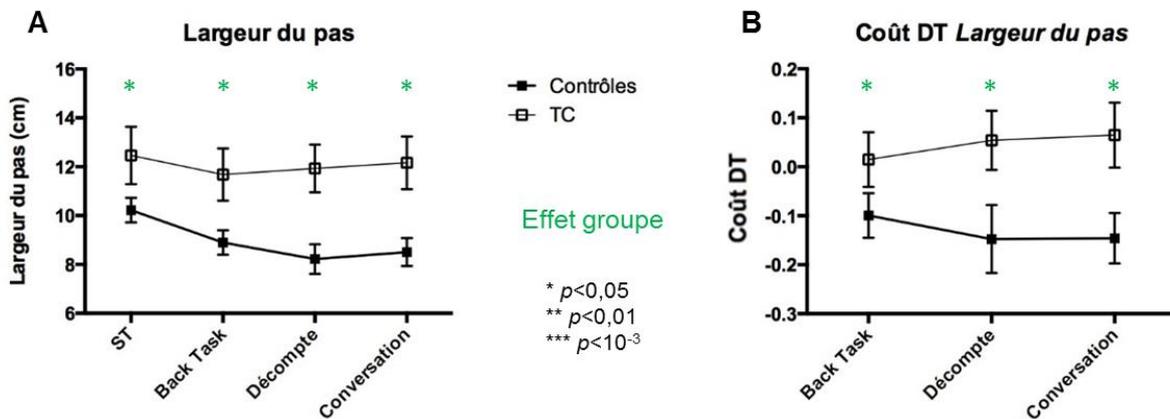
Au total, la diminution de la vitesse de marche en double tâche semble prioritairement liée à une baisse de la longueur de pas et au second plan de la cadence de marche.

### D - Largeur du pas et variabilité de largeur du pas

Pour la largeur du pas, il n'existait pas d'effet de la condition mais un effet du groupe ( $F_{(1, 44)} = 8,3 ; p = 0,006$ ) (Figure 11A), les patients TC ayant une largeur de pas plus importante que les sujets sains. Il a été mis en évidence une interaction entre les

variables ( $F_{(3, 132)} = 2,89 ; p = 0,045$ ) témoignant d'un profil évolutif différent entre sujets contrôles et TC : alors que les premiers avaient tendance à réduire la largeur du pas, les sujets TC ne la modifiaient pas.

Concernant le coût de la double tâche sur la largeur du pas, il n'existait pas d'effet de la condition ( $p = 0,75$ ) mais un effet du groupe ( $F_{(1, 44)} = 6,3 ; p = 0,016$ ), le coût de la double tâche étant moins importants chez les sujets TC pour les 3 conditions (Figure 11B).

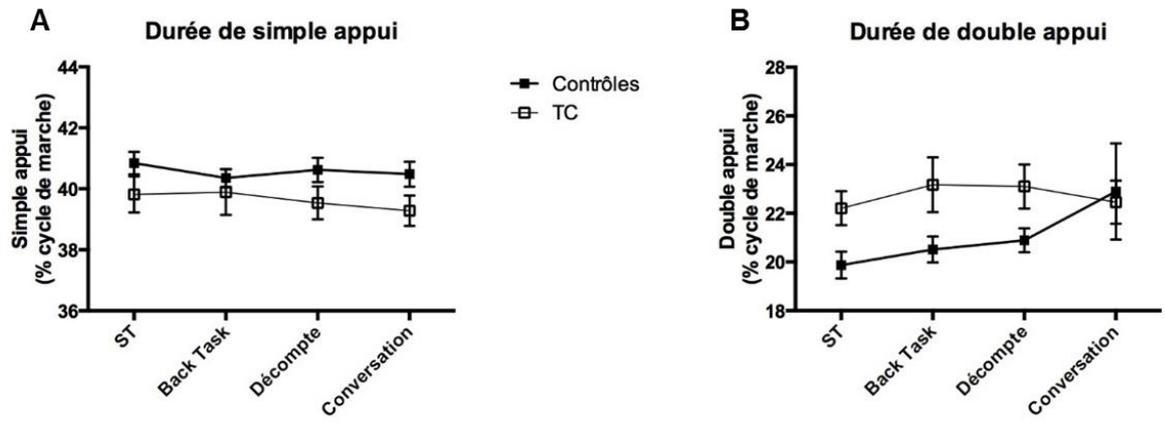


**Figure 11** : Largeur du pas et coût de la double tâche (DT) sur la Largeur du pas  
**Légende** : DT = double tâche ; ST = simple tâche

Pour la variabilité de largeur du pas et le coût associé, il n'existait pas d'effet de la condition, du groupe, ni d'interaction.

### E - Caractéristiques du cycle de marche

Chez les sujets TC, le temps de simple appui avait tendance à être réduit, celui de double appui allongé, mais pour ces paramètres, il n'existait pas d'effet significatif de la condition, du groupe ni d'interaction (Figures 12A et 12B). Il en était de même pour les analyses sur le coût de la double tâche concernant ces paramètres.



**Figure 12** : Durée simple appui et double appui en fonction de chaque modalité

*Légende* : ST = simple tâche

**Tableau 4** : Synthèse des résultats sur terrain plat

<b><u>Paramètre étudié</u></b>	<b><u>Principaux résultats</u></b>
<b>Vitesse de marche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altérée en DT lors des 3 modalités, davantage chez les sujets TC que chez les contrôles,</li> <li>- CDT plus important pour la tâche de décompte (effet condition),</li> <li>- CDT plus important pour les TC lors de la Back Task et de la conversation (effet du groupe).</li> </ul>
<b>Cadence</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altérée en DT dans les 2 groupes pour le décompte et la conversation,</li> <li>- CDT plus important dans les 2 groupes pour la Back Task et la conversation par rapport au décompte.</li> </ul>
<b>Longueur du pas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altérée en DT lors des 3 modalités, davantage chez les sujets TC que chez les contrôles,</li> <li>- Réduction plus importante relativement que celle de la cadence de marche,</li> <li>- Pas d'altération du CDT dans les 2 groupes.</li> </ul>
<b>Largeur du pas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentée chez les sujets TC</li> <li>- CDT plus important chez les sujets TC pour les 3 conditions</li> </ul>
<b>Variabilité largeur du pas</b>	- NS
<b>Durée simple appui</b>	- NS
<b>Durée double appui</b>	- NS

*Légende : DT = double tâche ; CDT = coût de la double tâche ; NS = non significatif*

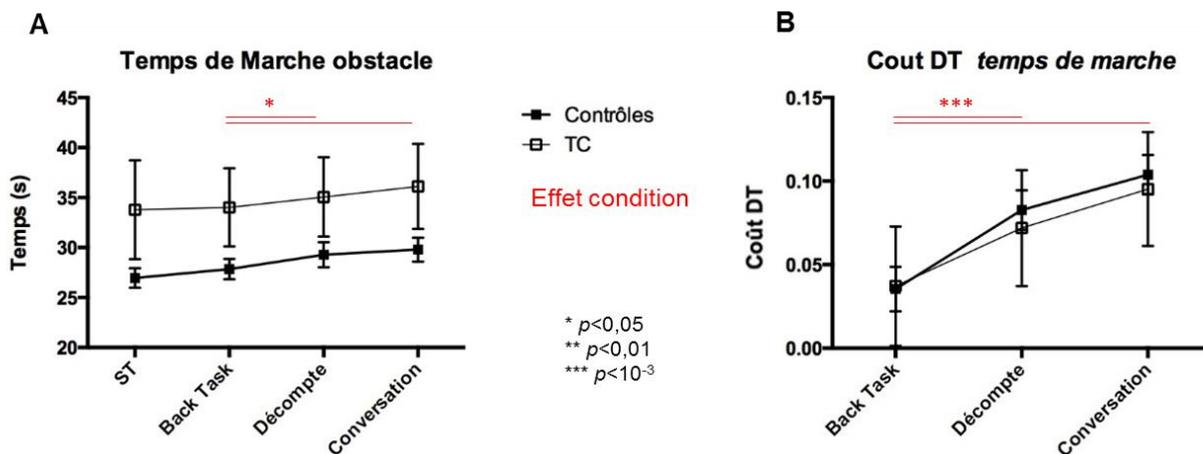
### III - Marche avec obstacle

Un tableau synthétisant les résultats est présenté en fin de chapitre (tableau 5).

#### A - Temps de parcours

Pour le temps de parcours, il existait un effet de la condition ( $F_{(1.23, 55.4)} = 4,3 ; p = 0,035$ ) mais pas d'effet du groupe ni d'interaction. Les tests *post-hoc* ont montré que la vitesse de marche était altérée entre les tâches de Back Task et de décompte ( $p = 10^{-3}$ ) et entre les tâches de Back Task et de conversation ( $p < 10^{-3}$ ) (Figure 13A).

Concernant le coût de la double tâche sur le temps de passage, il existait un effet de la condition ( $F_{(2, 90)} = 23,8 ; p < 10^{-3}$ ) mais pas d'effet du groupe ni d'interaction. Les tests *post-hoc* ont montré que le coût associé à la tâche de Back Task était plus important que dans les deux autres conditions ( $p < 10^{-3}$ ) (Figure 13B).



**Figure 13 :** Temps de parcours et coût de la double tâche sur le temps de parcours

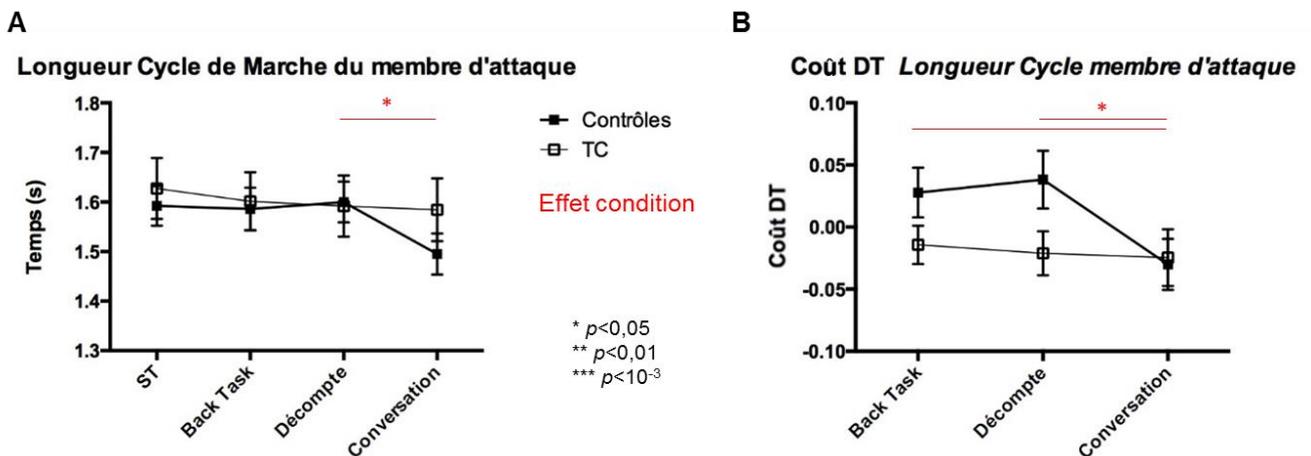
**Légende :** DT = double tâche ; ST = simple tâche

### B - Longueur du cycle de marche et largeur du pas

Les résultats sont présentés d'abord pour le membre d'attaque, puis pour le membre d'impulsion.

Il existait un effet de la condition sur la longueur du cycle de marche du membre d'attaque ( $F_{(2.7, 120.4)} = 3,3$  ;  $p = 0,027$ ) sans effet du groupe ni d'interaction. Les tests *post-hoc* ont montré que la longueur du cycle de marche du membre d'attaque était moins importante dans la tâche de conversation par rapport au décompte ( $p = 0,027$ ), principalement chez les sujets contrôles (Figure 14A).

Concernant le coût de la double tâche sur la longueur du cycle de marche du membre d'attaque, il existait un effet de la condition ( $F_{(2, 88)} = 5,8$  ;  $p = 0,004$ ) sans effet du groupe ni d'interaction. Les tests *post-hoc* ont montré que le coût était plus important pour la tâche de conversation par rapport aux autres tâches ( $p < 0,05$ ). (Figure 14B).



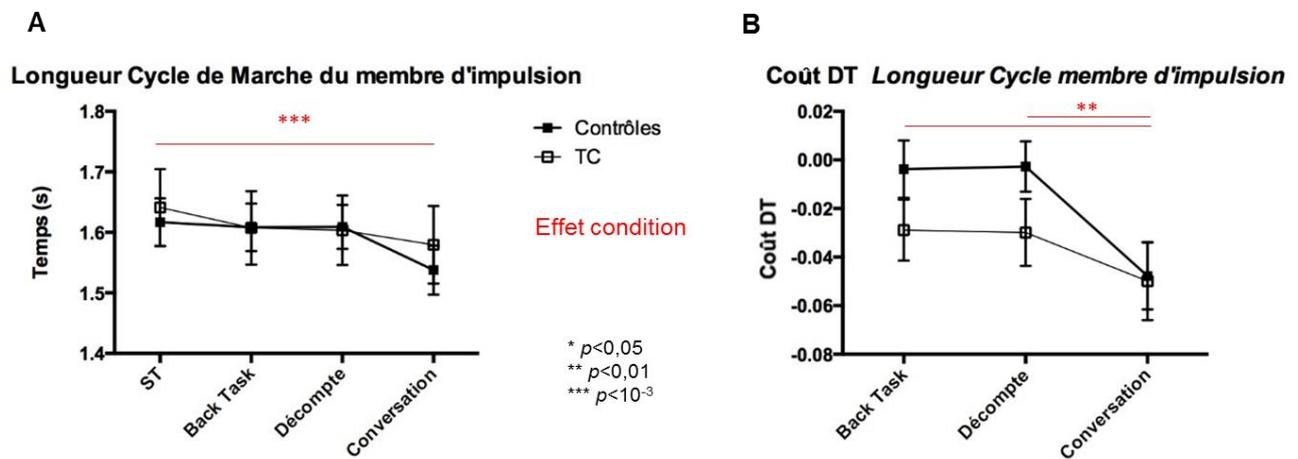
**Figure 14 :** Longueur du cycle de marche du membre d'attaque et coût de la double tâche sur la longueur du pas

**Légende :** DT = double tâche ; ST = simple tâche

Pour la largeur de pas membre d'attaque (valeur brute et coût de la double tâche), il n'existait pas d'effet condition, du groupe ou d'interaction.

Concernant le membre d'impulsion, il existait un effet de la condition sur la longueur du cycle de marche ( $F_{(3, 129)} = 10,2 ; p < 10^{-3}$ ) sans effet du groupe. Les tests *post-hoc* ont montré que la longueur du cycle de marche du membre d'impulsion était altérée en tâche de conversation par rapport à la marche en simple tâche ( $p < 10^{-3}$ ) (Figure 15A).

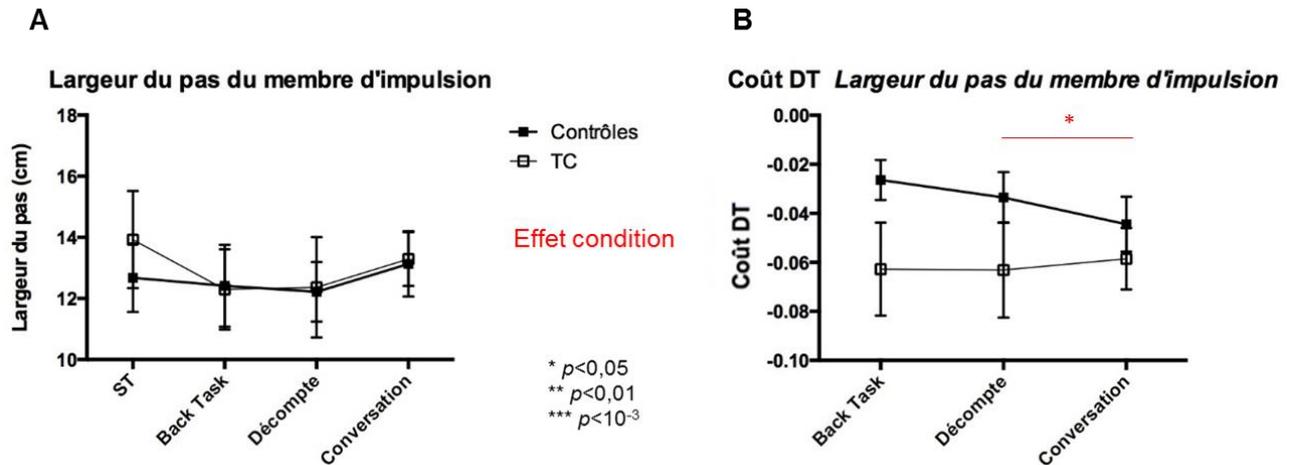
Concernant le coût de la double tâche, il existait un effet de la condition ( $F_{(2, 85)} = 8,7 ; p < 10^{-3}$ ) sans effet du groupe ( $p = 0,25$ ) ni d'interaction. Les tests *post-hoc* ont montré que le coût était plus important pour la tâche de conversation par rapport à la Back Task ( $p < 10^{-3}$ ) et au décompte ( $p = 0,006$ ) (Figure 15B).



**Figure 15 :** Longueur du cycle de marche du membre d'impulsion et coût de la double tâche sur la longueur du pas  
**Légende :** DT = double tâche ; ST = simple tâche

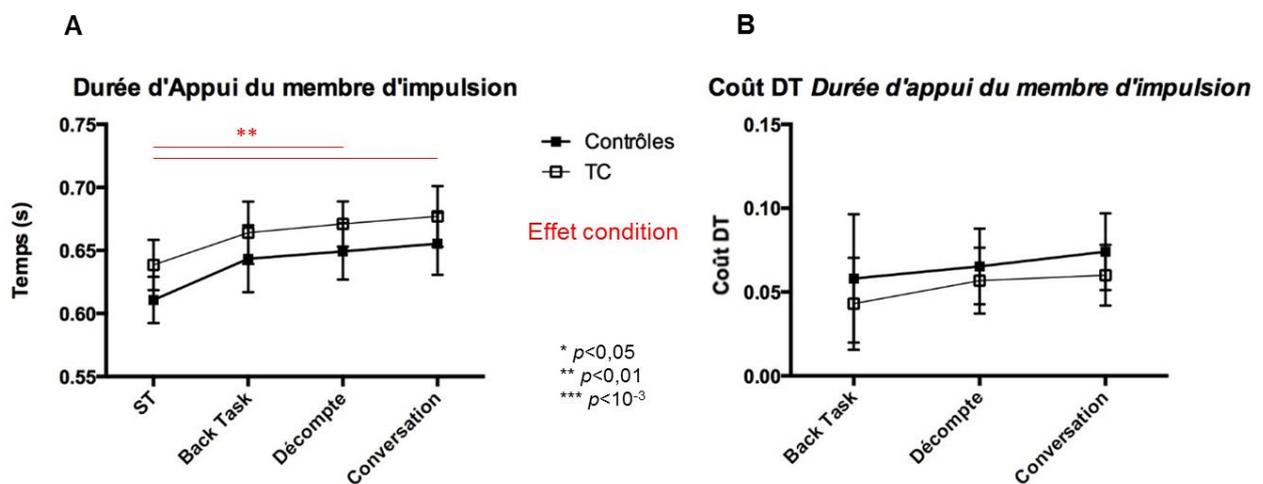
Pour la largeur du membre d'impulsion, il n'existait pas d'effet de la condition, du groupe ni d'interaction (Figure 16A).

Concernant le coût de la double tâche sur la largeur du pas du membre d'impulsion, il existait un effet de la condition ( $F_{(1.8, 64.5)} = 3,5 ; p = 0,037$ ) sans effet du groupe ni d'interaction. Les tests *post-hoc* ont montré que le coût était plus important pour la tâche de conversation par rapport au décompte ( $p = 0,05$ ) (Figure 16B).



**Figure 16 :** Largeur du cycle de marche du membre d'impulsion et coût de la double tâche sur la largeur  
**Légende :** DT = double tâche ; ST = simple tâche

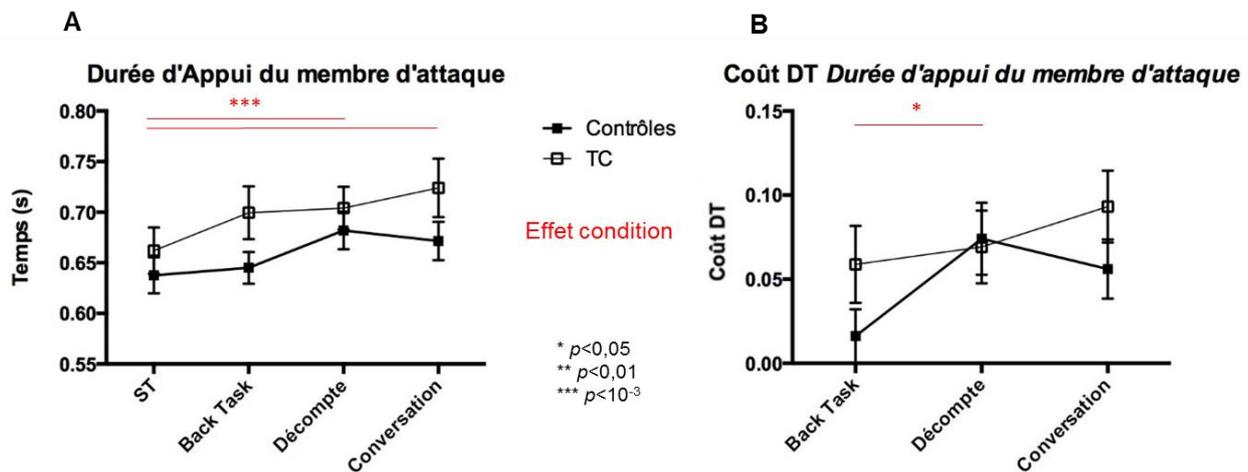
Il existait un effet de la condition sur la durée d'appui du membre d'impulsion lors du passage d'obstacle par le membre d'attaque ( $F_{(2,3, 102.7)} = 5,25 ; p = 0,04$ ) sans effet du groupe ni d'interaction. Les tests *post-hoc* ont montré que la durée d'appui du membre d'impulsion était augmentée lors des tâches de décompte ( $p = 0,007$ ) et de conversation ( $p = 0,001$ ) comparativement aux valeurs observées en simple tâche (Figure 17A). Concernant le coût de la double tâche, il n'existait ni d'effet condition ni d'effet du groupe (Figure 17B).



**Figure 17 :** Durée d'appui du membre d'impulsion et coût de la double tâche sur la durée d'appui (lors du passage d'obstacle par le membre d'attaque)  
**Légende :** DT = double tâche ; ST = simple tâche

Il existait un effet de la condition sur la durée d'appui du membre d'attaque lors du passage d'obstacle par le membre d'impulsion ( $F_{(3, 132)} = 10,7 ; p < 10^{-3}$ ) sans effet du groupe ni d'interaction. Les tests *post-hoc* ont montré que la durée d'appui du membre d'attaque était augmentée lors des tâches de décompte ( $p < 10^{-3}$ ) et de conversation ( $p < 10^{-3}$ ) par rapport à la simple tâche (Figure 18A).

Concernant le coût de la double tâche, il existait un effet de la condition ( $F_{(2, 88)} = 34,4 ; p = 0,015$ ) sans effet du groupe ni d'interaction. Les tests *post-hoc* ont montré que le coût était plus important pour la Back Task par rapport au décompte ( $p = 0,023$ ) (Figure 18B).



**Figure 18 :** Durée d'appui du membre d'attaque et coût de la double tâche sur la durée d'appui

**Légende :** DT = double tâche ; ST = simple tâche

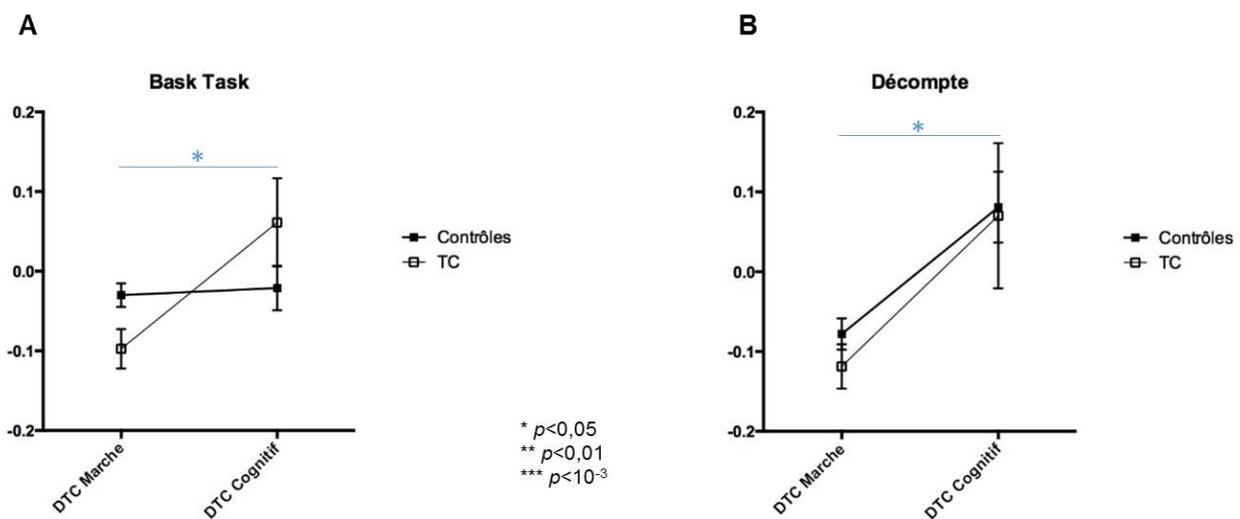
**Tableau 5** : Synthèse des résultats avec le passage d'obstacle

<b><u>Paramètre étudié</u></b>	<b><u>Principaux résultats</u></b>
<b>Temps de parcours</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentée en DT pour la Back Task versus décompte et conversation, sans différence entre les 2 groupes</li> <li>- CDT plus important pour la Back Task par rapport aux deux autres conditions, sans différence entre les 2 groupes</li> </ul>
<b>Longueur du cycle membre d'attaque</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altérée en DT pour la tâche de conversation par rapport au décompte, sans différence entre les 2 groupes</li> <li>- CDT plus important pour la conversation par rapport aux deux autres conditions, sans différence entre les 2 groupes</li> </ul>
<b>Largeur de pas du membre d'attaque</b>	- NS
<b>Longueur du cycle membre d'impulsion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altérée en DT pour la tâche de conversation, sans différence entre les 2 groupes</li> <li>- CDT plus important pour la conversation par rapport aux deux autres conditions, sans différence entre les 2 groupes</li> </ul>
<b>Largeur de pas du membre d'impulsion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- NS pour la valeur brute</li> <li>- CDT plus important pour la conversation par rapport au décompte, sans différence entre les 2 groupes</li> </ul>
<b>Durée appui membre d'impulsion (passage d'obstacle par membre d'attaque)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentée en DT lors des tâches de décompte et de la conversation par rapport à la simple tâche, sans différence entre les 2 groupes</li> <li>- NS pour le CDT</li> </ul>
<b>Durée appui membre d'attaque (passage obstacle par membre d'impulsion)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentée en DT lors des tâches de décompte et de conversation par rapport à la simple tâche, sans différence entre les 2 groupes</li> <li>- DTC était plus important pour la Back Task par rapport au décompte, sans différence entre les 2 groupes</li> </ul>

*Légende : DT = double tâche ; CDT = coût de la double tâche ; NS = non significatif*

### IV - Priorisation des tâches

En comparant le coût de la double tâche sur la vitesse de marche et sur la performance cognitive (au cours de la Back Task et du décompte, seuls paramètres cognitifs quantifiable en simple tâche), le coût de la marche sur la tâche cognitive était moins important que le coût de la tâche cognitive sur la marche chez les patients traumatisés crâniens dans les modalités Back Task ( $p = 0,033$ ) et décompte ( $p = 0,05$ ) (Figure 19). Les sujets contrôles adoptaient cette stratégie pour le décompte mais pas pour la Back Task.



**Figure 19 :** Coût de la double tâche sur la marche et sur les performances cognitives (DTC = Dual Task Cost)

**A :** Comparaison du coût de la double tâche sur la marche et sur la performance en Back Task

**B :** Comparaison du coût de la double tâche sur la marche et sur la performance en décompte

\*  $p < 0,05$  dans le groupe TC

## **V - Coût de la double tâche et score de Baddeley**

Il existait une corrélation entre le coût de la double tâche sur la vitesse de marche et le score de Baddeley lors de la Back Task ( $\rho = 0,330$  ;  $p = 0,022$ ) et lors de la tâche de conversation ( $\rho = 0,415$  ;  $p = 0,03$ ) mais pas lors de la tâche de décompte. Par ailleurs, le coût de la double tâche de Baddeley n'était pas différent de celui observé à la marche (quelle que soit le type de tâche concurrente).

Au contraire, il n'existait pas de corrélation entre le coût de la double tâche sur le temps de parcours lors de la marche avec obstacle (lors des 3 tâches cognitives) et le score de Baddeley.

## **VI - Relations entre coût de la double tâche lors de la marche et les autres paramètres d'évaluation**

### **A - Coût de la double tâche sur la marche**

La vitesse de marche était corrélée à l'ABC-Scale en simple tâche ( $\rho = 0,473$  ;  $p = 0,026$ ) et encore plus en double tâche pour la Back Task ( $\rho = 0,583$  ;  $p = 0,004$ ), le décompte ( $\rho = 0,574$  ;  $p = 0,005$ ) et la conversation ( $\rho = 0,499$  ;  $p = 0,018$ ). Il n'y avait pas de corrélation entre la vitesse de marche en simple et double tâches et à la fois la BREF et le MoCA.

Il n'existait pas de corrélation entre le coût de la double tâche sur la vitesse de marche et la BREF, le MoCA et l'ABC-Scale.

Il n'existait pas de corrélation entre le coût de la double tâche sur le temps de passage d'obstacle (lors des 3 tâches cognitives) et la BREF, le MoCA et l'ABC-Scale

### **B - Coût de la double tâche sur les performances cognitives**

Il existait une corrélation entre le coût de la double tâche sur la performance cognitive en Back Task et le MoCA ( $\rho = 0,444$  ;  $p = 0,038$ ) mais il n'en existait aucune avec la BREF et l'ABC-Scale.

Il n'existait pas de corrélation entre le coût de la double tâche sur la performance cognitive en décompte et la BREF, le MoCA et l'ABC-Scale.

## DISCUSSION

Les objectifs de cette étude étaient d'évaluer et de caractériser le coût de l'ajout d'une tâche cognitive sur les paramètres spatio-temporels de marche chez le traumatisé crânien modéré à sévère, d'étudier la relation entre le coût de la double tâche lors de la déambulation et lors d'une autre tâche motrice et enfin d'étudier le lien entre le coût de la double tâche et (1) les difficultés en situation de marche perçues par les sujets traumatisés crâniens dans leur vie quotidienne et (2) les performances cognitives du sujet.

Les résultats ont montré que la réalisation d'une tâche cognitive concurrente influençait les paramètres de marche chez les sujets traumatisés crâniens. Le coût de la double tâche était majoré chez les sujets TC pour la vitesse de marche. L'altération de cette dernière était d'avantage liée à la réduction de longueur du pas (et moins de la cadence). Nous avons moins mis en avant de différence sur les autres paramètres spatio-temporels de la marche comme les temps de simple et double supports ou la variabilité de la largeur du pas. Lors du passage d'obstacle, les différences entre sujets TC et contrôles étaient moins évidentes, contrairement à ce que nous attendions.

Les sujets TC avaient par ailleurs tendance à prioriser la tâche cognitive par rapport à la tâche motrice. De plus, les processus perturbés ne seraient pas spécifiques à la marche et le coût dans les doubles tâches de marche et écrite (Baddeley) étaient liés. Il n'existait pas de relation directe entre coût en double tâche et la confiance dans la marche et l'équilibre des sujets TC.

## **I - Effet sur les paramètres spatio-temporels de marche**

### **A - Marche sur terrain plat**

#### 1 - Vitesse de marche, cadence et longueur de pas

Nos résultats sur la vitesse de marche sont en accord avec de multiples travaux. En effet, la vitesse de marche est altérée en double tâche avec une différence entre sujets TC (où elle est le plus altérée) et sujets contrôles (49,52). La vitesse de marche est une représentation connue de l'altération des capacités locomotrices et peut être facilement mesurée en clinique. La réduction de la vitesse en condition de double tâche a été mis en rapport avec un dysfonctionnement du système exécutif (17,52) ou à une réduction des capacités d'allocation attentionnelle résultant du traumatisme crânien (67). Parker et al. ont ainsi montré que le changement de la vitesse de marche chez le sujet traumatisé crânien était la manifestation du dysfonctionnement exécutif en raison des exigences de l'équilibre dynamique, de la planification et de l'attention visuelle, en particulier lors de l'adaptation à l'environnement extérieur (17). Le but probable serait alors de sécuriser la marche.

Plusieurs types de tâches concurrentes ont été utilisées dans les travaux précédents illustrant l'effet de différentes situations de double tâche sur la marche (50,52,57). Pour une évaluation des fonctions exécutives en double tâche, nous avons utilisé la Back Task là où d'autres ont utilisé le Stroop visuel et une épreuve de fluence verbale (52). Des tâches d'énumération ont également été utilisées comme l'épellation d'un mot de 5 lettres à l'envers, le décompte par un certain nombre, la récitation des mois de l'année à l'envers (49). Nos résultats étaient similaires à ceux

de Sambasivan et al. qui ont également utilisé la tâche de « décompte par -3 » (57). L'épreuve de la matrice de Brooks a été utilisée pour évaluer la composante cognitive visuo-spatiale. (50). Nous avons en plus utilisé une tâche pseudo-écologique, issu du « Walking when Talking » test qui a déjà été utilisé chez des sujets après un accident vasculaire cérébral (46,68) mais pas jamais chez le traumatisé crânien.

Le coût relatif de la double tâche est une donnée bien moins étudiée que les paramètres bruts jusqu'à présent chez le TC. Il était majoré chez les sujets TC par rapport aux contrôles pour la vitesse de marche en accord avec deux précédents travaux (52,69), mais à l'inverse de l'étude de Sambavisan et al. (57). Cependant, comparativement à cette dernière étude, notre population de patients n'était pas dans la même tranche d'âge puisque nous avons étudié des adultes et non des enfants et adolescents traumatisés crâniens. Les effets d'un TC ne sont pas les mêmes entre de jeunes individus qui sont plus vulnérables et des adultes (70). De plus, nous nous sommes penchés sur les TC modérés à sévères (et non les TC légers) et nous avons utilisé trois tâches cognitives, augmentant la possibilité d'avoir des résultats, par rapport à Sambavisan et al. qui n'ont utilisé qu'une seule tâche cognitive (« décompte par -3 »).

Le coût de la double tâche a été décrit comme permettant une mesure plus directe des coûts associés au fonctionnement exécutif car il est plus sensible pour discriminer les groupes (52), et serait ainsi significativement associé aux symptômes séquellaires du TC (71).

Nos résultats confirment que la vitesse de marche et, en particulier les mesures du coût de la double tâche sur la vitesse de marche pourrait être un paramètre utile pour discriminer les déficits résiduels après un TC (52) et les mettre

en relation avec les plaintes exprimées parfois par les patients en situation écologique de double tâche. Les sujets présentant un TC sont capables de s'adapter à des perturbations cognitives supplémentaires induites par une double tâche en réduisant leur progression vers l'avant lors de leurs déplacements (72).

Dans notre étude, nous avons mesuré les 2 déterminants de la vitesse de marche, la longueur et la cadence du pas, et avons montré que la première était davantage impactée par la double tâche que la seconde.

Concernant la longueur du pas, nos résultats vont dans le sens des données de la littérature (17,51,73,74). Une autre étude a eu les mêmes résultats en marche simple suggérant que les sujets TC réduisaient leur longueur de pas pour compenser la réduction du contrôle postural et de la stabilité (16). Les sujets ayant eu un accident vasculaire cérébral et les sujets âgés présentent également une diminution de leur longueur de pas en double tâche (44,46,75,76). L'adaptation de la longueur de pas pourrait être un mécanisme adaptatif global lors de troubles de la marche ou lors d'atteintes exécutives ou attentionnelles. Il existe une variabilité de la longueur de pas pour n'importe quelle vitesse de marche afin de maintenir l'automatisme de la marche pour que cette dernière soit optimisée en termes d'efficacité énergétique, de cohérence temporelle et spatiale et de demande attentionnelle (77,78).

La cadence de marche était moins perturbée chez les sujets TC et moins impactée par la double tâche que la longueur de pas, elle ne permettait par ailleurs pas de discriminer les sujets TC des sujets contrôles. Dans d'autres populations de sujets (accident vasculaire cérébral ou sujet âgé), il avait été mis en évidence une diminution de la cadence en double tâche par rapport à des sujets contrôles (46,75,76). Cette moindre diminution de la cadence par rapport à la longueur du pas

serait liée à la division de l'attention qui engendre un coût sur la tâche motrice en double tâche (79).

## 2 - Largeur du pas et variabilité de largeur du pas

Nos résultats ont mis en avant une largeur de pas augmentée chez les sujets TC, qui l'était davantage en situation de double tâche comparativement aux sujets sains, sans différence entre les 3 tâches cognitives. Cet effet est surtout lié à un comportement différent entre sujets TC (qui ne modifiaient pas la largeur de leur pas) et les contrôles (qui l'adaptaient en la réduisant). Ce comportement peut être associé à une stratégie de marche plus prudente adoptée lors d'une double tâche afin d'éviter une chute (80). Mais il a également été mis en avant que ce changement de la largeur du pas était associé à un risque futur de chute (81).

Les études mesurant l'effet de l'adjonction d'une tâche concurrente sur la largeur du pas se sont uniquement intéressées à la phase précoce après un TC léger dans le cadre de l'activité sportive, ne montrant pas d'effet de la double tâche et pas de différences entre les sujets TC et les contrôles (17,50,82). Aucune étude n'a porté sur les TC plus sévères, qui peuvent présenter davantage de déficiences physiques. De plus la largeur de pas a été considérée comme une caractéristique principale de la démarche ataxique (83). Ces éléments peuvent expliquer la majoration de la largeur du pas présente dès la marche en simple tâche chez les sujets traumatisés crâniens modérées à sévères.

Dans une étude sur les personnes âgées, il était suggéré que les modifications de largeur de pas lors d'une double tâche pourraient être liés au risque futur de chute et que, selon la nature de la deuxième tâche, le coût de la double tâche indiquerait soit un risque accru de chute, soit une stratégie de protection pour

éviter de chuter (81). Chez les sujets ayant eu un accident vasculaire cérébral, Wong et al. ont par ailleurs démontré une bonne fiabilité du GAITRite pour la mesure des paramètres spatio-temporels de la marche en dehors de la largeur du pas (84). L'absence de différence de variabilité pourrait être ainsi liée à la limitation de résolution spatiale du système GAITRite (1,27cm) (53,58,84).

Pour le coût relatif de la double tâche sur la largeur du pas, nos résultats étaient contradictoires avec ceux de Howell et al. qui ne trouvaient pas de différence entre sujets contrôles et sujets TC (82), mais là encore il s'agissait d'enfants et adolescents sportifs ayant présenté un KO, tableau qui diverge de celui de nos sujets. Nous n'avons de même pas utilisé la même tâche cognitive que dans cette étude (test de Stroop auditif) mais cela ne semble pas expliquer la différence car cette tâche semble être de difficulté au moins équivalente (probablement supérieure) aux trois tâches que nous avons proposées.

Concernant la variabilité de largeur du pas, nos résultats vont dans le sens d'autres travaux qui n'avaient pas trouvé de différence entre TC et contrôles sur une marche à vitesse confortable sans double tâche (53). Une étude antérieure avait suggéré que la variabilité de la largeur du pas pouvait être un indicateur d'instabilité dynamique et être prédictif d'un risque de chute chez des sujets âgés (85).

### 3 - Temps de simple appui et temps de double appui

Nous avons pourtant mis en évidence une tendance à l'augmentation du temps de double appui chez les sujets TC dans toutes les conditions (en dehors du « décompte »), mais ce résultat n'était pas significatif. Nos résultats vont dans le sens d'autres travaux qui ne trouvaient pas de différence significative entre sujets TC

et sujets contrôles pour le temps de double appui sur terrain plat (57,74). Mais ils sont contradictoires avec d'autres (50,86) qui montraient une augmentation du temps de double appui et une diminution du temps de simple appui en double tâche chez les traumatisés crâniens. Hors condition de double tâche, une augmentation du temps de double appui chez les traumatisés crâniens, témoignant d'une stratégie de marche conservatrice, a déjà été mis en évidence (73,87,88). Cette stratégie serait à mettre en relation avec le côté stabilisateur de cette phase du cycle de marche qui assure une régulation sécuritaire de la marche en limitant les conditions de déséquilibre (89,90). La demande attentionnelle de nos tâches n'était peut-être pas assez élevée pour induire une adaptation du temps de double appui chez nos sujets.

## **B - Marche avec franchissement d'obstacle**

### 1 - Temps de parcours

Nous avons choisi d'utiliser le temps de parcours car la vitesse ne pouvait pas être analysée via le GAITRite, le passage de l'obstacle faisait perdre le caractère régulier du cycle de marche (et biaisant donc la vitesse moyenne de marche mesurée par le tapis). Nos résultats montraient un temps de parcours augmenté en double tâche mais sans différence entre les 2 groupes. Ils vont dans le sens de l'étude de Cossette et al. qui mettaient en évidence une diminution de la vitesse de marche en double tâche lors du passage d'obstacle dans l'ensemble de sa population en utilisant des tâches cognitives différentes des nôtres (Stroop visuel, fluence verbale et décompte (69)). Nos résultats étaient contradictoires avec ceux de Vallée et al. qui révélaient une vitesse de marche diminuée (donc un temps de passage augmenté) en double tâche chez les sujets TC par rapport aux sujets contrôles sur deux types d'obstacles différents (51). Ils avaient également utilisé des

tâches cognitives différentes des nôtres : test de Stroop avec des barres et avec des mots. De plus l'effectif des sujets TC recrutés était plus faible que le nôtre (8 avec TC modérés à sévères (51)). McFadyen et al. n'avaient également pas mis en évidence de différence intergroupes, mais dans ce travail le temps de parcours avait tendance à diminuer (16). Cela peut s'expliquer par la population incluse : comme dans ce travail, nous avons étudié des sujets TC modérés à sévères mais notre effectif était plus élevé et la répartition entre TC modérés et TC sévères était plus homogène.

Concernant le coût relatif de la double tâche, nos résultats vont dans le sens de plusieurs travaux qui avaient déjà montré que le coût de la double tâche était plus important lors d'une tâche de fluence verbale mais sans différence entre les sujets TC et contrôles (57,69).

## 2 - Longueur du cycle de marche, largeur de pas, durée d'appui du membre d'attaque et du membre d'impulsion

Peu d'études ont étudié les longueur de cycle des membres d'impulsion et d'attaque, elle se concentraient plutôt sur la qualité de la clairance du pas (marge de franchissement de l'obstacle) (16,51). Nous avons choisi d'étudier ces paramètres afin de mettre en évidence un temps d'instabilité maximale au cours de la marche lors du franchissement d'obstacle. Nous avons fait l'hypothèse que cela sensibiliserait la détection des troubles sous-jacents au TC. Ils peuvent également être utilisés en tant que témoin de l'adaptabilité de la marches aux contraintes (sous la dépendance des fonctions executives) (91).

Nos résultats vont dans le sens de précédents travaux n'ayant pas montré de différence entre les sujets TC et les sujets contrôles en double tâche lors du passage d'obstacle pour la distance entre l'obstacle et chaque membre inférieur et la durée

d'appui pour les membres d'impulsion et d'attaque (57). Au contraire, Vallée et al. se sont penchés sur la longueur de pas lors du passage d'obstacle et ont mis en avant, contrairement à nous, des différences significatives entre sujets TC et sujets contrôles, les sujets TC diminuant leur longueur de pas du membre d'attaque en simple et double tâche et diminuant la longueur de pas du membre d'impulsion en double tâche (51). La longueur du pas serait par ailleurs corrélée à la clairance du pas : la clairance du pas du membre d'attaque serait plus élevée, illustrant habituellement une augmentation de la prudence au passage de l'obstacle (92) chez les traumatisés crâniens. Cette stratégie de sécurité est également illustrée par la diminution de la vitesse de marche (51).

Pour la largeur du pas, nos résultats vont dans le sens de plusieurs travaux (86,93). Le travail de Catena et al. a mis en évidence une largeur de pas augmentée chez les sujets TC lors du passage d'obstacle mais en simple tâche seulement et sans distinction entre membre d'attaque et membre d'impulsion (49). Cela suggère que les patients TC dans cette étude ont tenté d'avoir une stratégie plus sûre et sécuritaire de passage d'obstacle (49). Nous n'avons pas mis en évidence cette stratégie chez nos sujets, mais nous n'avons pas utilisé le même outil d'enregistrement que dans cette étude (qui a utilisé l'Analyse Quantifiée de la Marche).

Pour la durée d'appui, nos résultats montrent globalement un effet de la double tâche, principalement lors des tâches de décompte et de conversation, mais sans différence intergroupes, comme cela a déjà été montré (57). Il a été mis en évidence une diminution du temps d'appui chez les sujets traumatisés crâniens en

double tâche avec le passage d'obstacle. Les traumatisés crâniens passaient moins de temps en simple appui mais il n' était pas mis en avant de distinction entre membre d'impulsion et membre d'attaque (50). De plus, notre population était assez différente de celle de cette étude qui portait sur des sujets jeunes après un TC léger dans le cadre du sport (50).

## II - Priorisation des tâches

Le coût de la tâche cognitive sur la vitesse de marche était moins important que celui sur la tâche cognitive chez les patients traumatisés lors de la Back Task et du décompte, illustrant une stratégie de priorisation de la tâche cognitive chez les sujets TC par rapport aux sujets contrôles. Nos résultats pour les sujets sains vont dans le sens d'autres travaux qui avaient montré qu'ils favorisaient la marche pour une meilleure stabilité dynamique (57). Les sujets non TC utilisent une stratégie de priorisation de la posture (« *posture first* ») (35). Les sujets TC donneraient une priorité inappropriée à la tâche cognitive, en sacrifiant les ressources attentionnelles nécessaires à la marche et en utilisant une stratégie de « *posture second* » (94). Cette stratégie de priorisation pourrait expliquer en partie le retentissement sur la marche et le risque de chute en vie quotidienne.

Patel et al. ont illustré que le type de tâche avait une influence sur l'interférence cognitivo-motrice. Ils avaient en effet utilisé chez des sujets sains deux types de tâches motrices (marches à vitesse confortable et à vitesse lente) et 4 types de tâches cognitives (temps de réaction visuo-moteur, l'énonciation de mots commençant par une lettre donnée, le décompte par -2 et un Stroop visuel) (95).

Dans une situation nécessitant l'exécution d'une tâche cognitive nouvelle et plus complexe en même temps qu'une tâche motrice déjà connue, les sujets ont tendance à accorder une plus grande priorité à la performance de la tâche cognitive (96). La tâche de marche, même si elle est décrite comme une activité complexe, repose sur l'automatisation aux niveaux sous-cortical et médullaire des processus mis en jeu, rendant cette tâche automatique et implicite (18). Les tâches cognitives de Back Task et décompte ajoutées apportent une nouveauté chez nos sujets car elles ne sont pas en général pas rencontrées dans la vie quotidienne. Dans notre étude, il n'était pas énoncé de consigne de « privilégier une tâche par rapport à une autre » ou « de ne rien privilégier » mais les tâches cognitives étaient découvertes par les sujets. Malgré l'absence de consigne, les sujets pourraient avoir privilégié la tâche cognitive dans le but de ne pas faire d'erreur dans cette « nouvelle tâche ».

Sur les études ayant mesuré le coût de la double tâche, la plupart ont montré une augmentation des performances cognitives en double tâche cognitivo-motrices avec d'autres tâches cognitives : le suivi de phonèmes (écouter un texte et compter le nombre de fois où apparaissent deux mots pré-spécifiés), le décompte par -7 (97), la tâche auditive de l'horloge (en entendant l'heure, dire si les aiguilles sont dans le même cadran de l'horloge) (46).

Il a été mis en avant chez des sujets âgés que certains facteurs personnels déterminaient la manière dont les sujets divisaient leur attention entre deux tâches : le genre, l'estimation du risque, la réserve posturale, le niveau de familiarité avec la tâche, l'humeur et le caractère (98). L'âge serait aussi impliqué dans la capacité à allouer une attention suffisante pour prioriser une tâche au sein d'une double tâche car les sujets jeunes arriveraient plus facilement à contrôler leur allocation d'attention que les sujets plus âgés (99). Nos sujets TC suivent la même tendance en allouant

plus d'attention à la tâche cognitive. Notre population comprenait en effet une majorité de sujets jeunes (âge moyen de  $32,5 \pm 11,6$  ans chez les traumatisés crâniens et  $34,8 \pm 12,8$  ans chez les contrôles).

Le comportement de priorisation a été étudié dans d'autres populations de patients. Les sujets ayant eu un accident vasculaire cérébral adoptent également une stratégie de priorisation de la tâche cognitive (46,100). Les sujets avec une maladie de Parkinson priorisent également la tâche cognitive, aggravant leur risque de chute en situation de double tâche (101). Les sujets âgés ont également un risque accru de chute car ils priorisent la planification du passage du pas (97,102,103).

### **III - Spécificité du coût de la double tâche et relations avec les autres paramètres d'évaluation**

Devant la mise en évidence d'une corrélation entre le coût de la double tâche sur la vitesse de marche avec le score de Baddeley, le coût de la double tâche ne semble pas spécifique à la marche. Les processus attentionnels et exécutifs impliqués sont les mêmes, ce résultat n'est donc pas étonnant, mais n'avait pas encore été montrés chez les personnes TC. Nous aurions pu penser que le coût de la double tâche serait plus important pour la marche, compte-tenu de l'insécurité potentiellement plus importante lors d'une tâche de marche que pour une autre tâche motrice (104).

Nous n'avons pas mis en évidence de relation entre le coût de la double tâche et les évaluations cognitives. Rappelons que nous avons utilisé le MoCA comme test de dépistage des troubles cognitifs, qui présente certes de bonnes

qualités psychométriques (105), mais n'en reste pas moins un test global de dépistage. La BREF est également un test assez global des fonctions exécutives. Nous aurions pu utiliser des tests plus ciblés comme le test de classement de cartes du Wisconsin pour la résolution de problème (106), le test de la tour de Londres pour la planification (107), le Trail-Making Test pour la flexibilité mentale (108) ou le test de Stroop pour l'attention sélective et la mémoire de travail (109).

Il n'existait aucune relation entre le coût de la double tâche et la confiance dans la marche et l'équilibre (ABC-Scale) mais il existait une relation entre la vitesse de marche et l'ABC-Scale. Ceci confirme que la vitesse de marche est un des premiers phénomènes d'adaptation quand il y a des troubles de l'équilibre (110,111). Une marche plus lente apporte en effet une stabilité accrue dans le balancement du tronc minimisant les troubles de l'équilibre (112). Ces résultats montrent également que si elle est un facteur perturbant la marche, la double tâche ne semble pas être le seul impliqué dans le ressenti des troubles ; on peut incriminer les autres déficiences fréquentes chez le sujet traumatisé crânien : troubles moteurs (16), troubles sensoriels (sensitif, visuel), troubles de la coordination (11), troubles psychiques (de la personnalité, de l'humeur et du comportement) (113).

#### IV - Réflexions autour des tâches concurrentes

Les tâches que nous avons utilisées avaient bien deux buts distincts d'après les critères de Mclsaac : un objectif moteur de déplacement et un objectif cognitif de réussir la tâche sans erreur (22). D'après ses critères de taxonomie et les caractéristiques des tâches, il est possible de décrire quatre catégories ; « bas-bas », « haut-bas », « haut-bas » et « haut-haut », qui créent un cadre simple pour classer l'activité globale de la double tâche comme relativement « facile », « modérée » ou « difficile » (Tableau 6). Au fur et à mesure que chaque tâche passe d'un niveau de complexité et d'un niveau de nouveauté à des niveaux plus élevés, la quantité d'attention qui doit être accordée augmente. Lors d'une double tâche, l'allocation d'attention peut favoriser une tâche, peut être égale, ou peut passer d'une tâche à une autre au cours de l'action (22).

**Tableau 6** : Taxonomie de la double tâche (adapté de McFayen et al.) (22)

Complexité de la tâche		
Nouveauté de la tâche	Bas	Haut
Bas	Facile « Marche sur terrain plat »	Difficulté modérée « Marcher sur terrain plat + Back Task ou décompte »
Haut	Difficulté modérée « Passer un obstacle »	Difficile « Passer un obstacle + Back Task ou décompte »

Il faut aussi mettre en avant que certaines tâches cognitives sont plus rythmiques que d'autres et que la combinaison de tâches rythmiques (comme marcher et compter) peut être à l'origine d'un entraînement avec une tâche cognitive effectuée plus rapidement tandis que la marche est effectuée plus lentement (114).

Nous pouvons également nous pencher sur les capacités propres à l'individu à réaliser la double tâche. Nous avons utilisé trois tâches cognitives différentes, réalisables relativement facilement et plus ou moins écologiques. Le coût de la double tâche était plus important chez les sujets TC par rapports aux sujets contrôles pour les tâches de Back Task et de conversation. La tâche de décompte semblait induire le plus de modifications mais de façon proche entre les deux groupes. Le niveau de complexité d'une tâche est défini par les changements environnementaux sur les performances, comportant la planification, l'exécution d'une tâche et la capacité à prédire le mouvement des objets (qui deviendraient de potentiels obstacles). Le degré de difficulté d'une tâche est relatif à l'expertise et à aux capacités de l'exécutant (22). La tâche de décompte, bien qu'elle paraisse simple et dépendant de la mémoire de travail, pourrait en effet exiger des compétences en mathématiques pour certains sujets. L'attention allouée à la tâche chez un sujet ayant des facilités en mathématiques serait moins élevée que chez un sujet ayant des difficultés en mathématiques (35). La capacité à réaliser la tâche de Back Task, dépend également de la mémoire de travail (115) qui était plus ou moins altérée selon les sujets. La tâche de conversation dépend principalement de la mémoire sémantique (18) mais nous n'avons hélas pas pu quantifier le coût de la double tâche sur la conversation car les réponses n'étaient pas quantifiables par nos moyens de mesure. Nos tâches ne mettent pas à l'épreuve la composante visuo-spatiale de la cognition (50) et il pourrait en découler un effet plafond.

## V - Limites

Notre étude présente quelques limites. Tout d'abord, il faut mettre en avant la faiblesse de l'effectif total qui peut être à l'origine d'un manque de puissance statistique de certains résultats. Nous précisons que 2 de nos sujets TC (appartenant au groupe des TC sévères) n'avaient pas pu réaliser les enregistrements avec le passage d'obstacle devant d'importants troubles de la marche qui auraient conduit à un risque de chute. Sur ce point, il faut tout de même signaler que pour être rigoureux sur le plan du traitement statistique, nous avons utilisé une méthodologie optimale (ANOVArm) et des tests *post-hoc* prenant en compte le caractère multiple des tests, contrairement à la majorité des articles traitant du même sujet.

Nous aurions pu penser que l'âge a une influence le schéma de marche, notre population comportant 12 sujets de moins de 30 ans (54,5% de notre population) mais il n'existe pas de stratégie inconsciente d'adaptation propre à tout âge qui soit adoptée pour la marche chez un sujet traumatisé crânien (86). Le genre aurait pu nous questionner car notre population comporte une majorité d'hommes (86,4%) et il a été mis en évidence des changements différentiels lors de la marche en double tâche entre des traumatisés crâniens de sexe différent (116).

Sur le plan méthodologique, nous n'avons utilisé qu'un seul type d'obstacle à une hauteur de 25% de la longueur de jambe avec une profondeur stable. Ce type d'obstacle aurait pu être trop facile à franchir pour avoir des conséquences sur les performances cognitives et motrices des sujets. L'obstacle représente une nouvelle contrainte posturale, augmentant la complexité de la tâche sans changer le nombre de tâche à réaliser (22). Plusieurs types d'obstacles de difficulté croissante ont été

utilisés dans la littérature : obstacles « petit » de 4cm de hauteur et « grand » à 10% de la taille du sujet (57,91,117), obstacles à 2.5%, 5%, 10% et 15% de la taille du sujet (93), obstacles de 15cm de haut mais avec des profondeurs différentes de 2 cm et 15cm (69), obstacles « étroit » de 2,8cm de largeur et « large » de profondeur égale à 30% du ratio hauteur maximale sur longueur maximale du pas (51). Les exigences physiques et mentales pour franchir un obstacle montrent que cela nécessite des changements dans la démarche menant à l'obstacle et sur les ressources attentionnelles que nous n'avons pas réussi à mettre en avant dans notre étude (49). La demande attentionnelle et d'équilibre dynamique n'était pas assez élevée pour avoir un effet sur notre population de traumatisés crâniens.

Nous pouvons nous interroger si nos tâches cognitives ne seraient pas trop faciles pour susciter des problèmes d'équilibre lors du passage d'obstacle. En effet, les patients ayant une atteinte cérébrale centrale ont une diminution de leurs performances lorsque la difficulté de la double tâche augmente (118). Nous n'avons pas utilisé de tâche faisant intervenir la composante visuelle. Il faut noter que lorsque l'environnement physique est plus complexe, notamment avec des obstacles, le contrôle visuel est important pour la sécurité des trajectoires des membres inférieurs (119) et une tâche visuelle aurait peut-être plus facilement mis en difficulté nos sujets. De plus, il existait probablement un effet d'entraînement de nos sujets sur les tâches cognitives car avant le passage d'obstacle, ils avaient déjà réalisé ces tâches en simple tâche et en marchant sur terrain plat.

Nous avons réalisé des évaluations cognitives assez globales : le MoCA évaluant des dysfonctions cognitives légères et la BREF évaluant globalement les fonctions exécutives du sujet TC. Il aurait été intéressant d'utiliser des évaluations

cognitives attentionnelles et exécutive plus précises (avec une batterie plus complète) et plus sensibles aux troubles cognitifs plus ou moins subtils de nos sujets.

Malgré ces limites, cette étude illustre les difficultés en double tâche chez les sujets traumatisés crâniens avec des conséquences dans leur vie quotidienne.

## **VI - Perspectives de recherche**

Tout d'abord, il serait intéressant de tester d'autres conditions de marche avec un passage d'obstacles multiples ou plus complexes (51,69), la réalisation d'un demi-tour (120), un changement de direction non prévu (121) ou un évitement d'obstacle (122). Il est également possible d'utiliser des tâches cognitives plus complexes comme un test de Stroop visuel ou auditif (16,52,62,123). Les sujets un traumatisme crânien ont en effet plus de difficultés à gérer les distractions d'un laboratoire de marche lors d'un test de Stroop (123,124). Ces évaluations nécessiteraient un laboratoire complet d'analyse du mouvement. Il serait également intéressant d'enregistrer les différentes réponses des sujets et de les traiter. Mais il paraît essentiel de rester sur des évaluations classiques de la double tâche évaluant la marche et les performances cognitives car elles permettent la détection de déficits persistants au-delà de ceux détectés par les tests neurocognitifs informatisés (125).

Ensuite, il serait intéressant les stratégies d'initiation du pas chez les patients TC, en simple et en double tâche, et d'analyser l'activité des réseaux qui sous-tendent les comportements de double tâche et leur perturbation chez le sujet avec traumatisme crânien, par exemple via une analyse EEG (126). Ce type de paradigme

expérimental est déjà mis en place chez les sujets sains et parkinsoniens dans le service de neurophysiologie du CHRU de Lille (127).

Enfin, d'autres travaux pourraient être effectués sur une plus grande population de traumatisés crâniens en corrélant les difficultés en double tâche au type de lésion cérébrale consécutives au traumatisme ou en tenant compte d'autres facteurs confondants liés au traumatisme crânien (troubles moteurs, spasticité, comorbidités associées...).

## CONCLUSION

Notre étude a montré qu'une tâche cognitive concurrente influençait la marche chez les sujets traumatisés crâniens modérés à sévères. Dans notre étude, les sujets TC avaient une stratégie conservatrice partielle de marche en double tâche avec : une altération de la vitesse de marche, liée à la réduction de la longueur du pas (et moins à la cadence), mais sans augmentation significative de leur largeur du pas et des temps de simple et double appui. Le coût de la double tâche était majoré chez les sujets TC pour la vitesse de marche. Lors du passage d'obstacle, les différences entre sujets TC et contrôles étaient moins évidentes, contrairement à ce que nous attendions mais nous pouvons cependant mettre en avant une stratégie de prudence au passage de l'obstacle.

De plus les sujets traumatisés crâniens avaient tendance à prioriser la tâche cognitive par rapport à la tâche motrice, adoptant une stratégie de «*posture second*» afin de se concentrer sur la tâche cognitive nouvelle alors que la tâche de marche restait une tâche automatique.

Nous avons mis en évidence que les difficultés en double tâche à la marche pouvaient être constatées lors d'une autre tâche motrice que la marche car le coût de la double tâche ne semblait pas spécifique à la marche. Ce coût de la double tâche sur la tâche motrice pourrait être relié aux difficultés dans la vie quotidienne. De plus, la confiance dans leur marche et leur équilibre n'était pas reliée au coût de la double tâche mais à la vitesse de marche, phénomène d'adaptation en cas de troubles de l'équilibre et semblait être également liée aux autres déficiences fréquentes présentées par les sujets traumatisés crâniens.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

1. Khan F, Baguley IJ, Cameron ID. 4: Rehabilitation after traumatic brain injury. *Med J Aust.* 2003 Mar 17;178(6):290–5.
2. Tagliaferri F, Compagnone C, Korsic M, Servadei F, Kraus J. A systematic review of brain injury epidemiology in Europe. *Acta Neurochirurgica.* 2006 Mar;148(3):255–68.
3. Teasdale G, Jennett B. Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale. *Lancet.* 1974 Jul 13;2(7872):81–4.
4. Mathé J-F, Richard I, Rome J. Serious brain injury and public health, epidemiologic and financial considerations, comprehensive management and care. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine.* 2005;24(6):688–94.
5. Maas AI, Stocchetti N, Bullock R. Moderate and severe traumatic brain injury in adults. *The Lancet Neurology.* 2008 Aug;7(8):728–41.
6. Gautschi OP, Huser MC, Smoll NR, Maedler S, Bednarz S, von Hessling A, et al. Long-term neurological and neuropsychological outcome in patients with severe traumatic brain injury. *Clinical Neurology and Neurosurgery.* 2013 Dec;115(12):2482–8.
7. Darnoux E, Jourdan C, Bayen E, Pradat-Diehl P, Azouvi P, Weiss J-J, et al. Disability and quality of life four years after severe head trauma: results of the Paris-TBI cohort. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine.* 2013 Oct;56:e87–8.
8. Ahmed S, Venigalla H, Mekala H, Dar S, Hassan M, Ayub S. Traumatic brain injury and neuropsychiatric complications. *Indian Journal of Psychological Medicine.* 2017;39(2):114.
9. Jourdan C, Bayen E, Pradat-Diehl P, Ghout I, Darnoux E, Azerad S, et al. A comprehensive picture of 4-year outcome of severe brain injuries. Results from the Paris-TBI study. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine.* 2016 Apr;59(2):100–6.
10. Kozlowski O, Pollez B, Thevenon A, Dhellemmes P, Rousseaux M. Outcome and quality of life in a cohort of patients with severe traumatic brain injury. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine.* 2002 Nov;45(8):466–73.
11. Chantraine A. *Neurological Rehabilitation: A Practical Guide About Rehabilitation of Neurological Disorders.* Arnette; 2013.
12. Basford JR, Chou L-S, Kaufman KR, Brey RH, Walker A, Malec JF, et al. An assessment of gait and balance deficits after traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2003 Mar;84(3):343–9.

13. Vasudevan EVL, Glass RN, Packel AT. Effects of Traumatic Brain Injury on Locomotor Adaptation: *Journal of Neurologic Physical Therapy*. 2014;38(3):172–82.
14. Williams G, Schache A, Morris ME. Running abnormalities after traumatic brain injury. *Brain Injury*. 2013;27(4):434–43.
15. Swaine BR, Sullivan SJ. Longitudinal profile of early motor recovery following severe traumatic brain injury. *Brain Injury*. 1996;10(5):347–66.
16. McFadyen BJ, Cantin J-F, Swaine B, Duchesneau G, Doyon J, Dumas D, et al. Modality-Specific, Multitask Locomotor Deficits Persist Despite Good Recovery After a Traumatic Brain Injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2009;90(9):1596–606.
17. Parker TM, Osternig LR, Lee H-J, Donkelaar P van, Chou L-S. The effect of divided attention on gait stability following concussion. *Clinical Biomechanics*. 2005;20(4):389–95.
18. Beauchet O, Berrut G. Gait and dual-task: definition, interest, and perspectives in the elderly. *Psychol Neuropsychiatr Vieil*. 2003;4(3):215–25.
19. Azouvi P, Vallat-Azouvi C, Belmont A. Cognitive deficits after traumatic coma. In: *Progress in Brain Research*. Elsevier; 2009. p. 89–110.
20. Mani K, Cater B, Hudlikar A. Cognition and return to work after mild/moderate traumatic brain injury: A systematic review. Rumrill P, Hendricks DJ, Elias E, Jacobs K, Leopold A, Nardone A, et al., editors. *Work*. 2017 Sep 14;58(1):51–62.
21. Newton RA. Balance abilities in individuals with moderate and severe traumatic brain injury. *Brain Injury*. 1995 Jan;9(5):445–51.
22. Mclsaac TL, Lamberg EM, Muratori LM. Building a Framework for a Dual Task Taxonomy. *BioMed Research International*. 2015;2015:1–10.
23. Siu K-C, Woollacott MH. Attentional demands of postural control: The ability to selectively allocate information-processing resources. *Gait & Posture*. 2007 Jan;25(1):121–6.
24. Norman DA, Bobrow DG. On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*. 1975 Jan;7(1):44–64.
25. Grondin S, Macar F. Dividing Attention between Temporal and Nontemporal Tasks: A Performance Operating Characteristic -POC- Analysis. In: Macar F, Pouthas V, Friedman WJ, editors. *Time, Action and Cognition* [Internet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 1992 [cited 2018 Apr 23]. p. 119–28. Available from: [http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-3536-0\\_14](http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-3536-0_14)
26. Maquestiaux F. *Psychologie de l'attention*. De Boeck Supérieur. 2017.
27. Plummer-D'Amato P, Altmann LJP. Relationships between motor function and gait-related dual-task interference after stroke: A pilot study. *Gait & Posture*. 2012 Jan;35(1):170–2.

28. James W. The Principles of Psychology, Vol. 1, Chap. 11, « Attention », pp. 403-404.
29. Siéroff E, Auclair L. Attention et dissymétrie hémisphérique. *Rev Neuropsychol* 2002; 12: 345-375.
30. Royall DR, Lauterbach EC, Cummings JL, Reeve A, Rummans TA, Kaufer DI, et al. Executive Control Function: A Review of Its Promise and Challenges for Clinical Research. A Report From the Committee on Research of the American Neuropsychiatric Association. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*. 2002 Nov;14(4):377–405.
31. Pashler H, editor. *Attention*. repr. Hove: Psychology Press; 2004. 407 p. (Studies in cognition).
32. Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait & Posture*. 2002 Aug;16(1):1–14.
33. Boisgontier M, Mignardot J-B, Nougier V, Olivier I, Palluel E. Le coût attentionnel associé aux fonctions exécutives impliquées dans le contrôle postural. *Science & Motricité*. 2011;(74):53–64.
34. Zomer AH van, Brouwer WH. *Clinical neuropsychology of attention*. New York: Oxford University Press; 1994. 250 p.
35. Yogev-Seligmann G, Hausdorff JM, Giladi N. The role of executive function and attention in gait. *Movement Disorders*. 2008 Feb 15;23(3):329–42.
36. Tombu M, Jolicoeur P. A central capacity sharing model of dual-task performance. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2003 Feb;29(1):3–18.
37. Pashler H. Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*. 1994;116(2):220–44.
38. Ruthruff E, Pashler HE, Klaassen A. Processing bottlenecks in dual-task performance: structural limitation or strategic postponement? *Psychon Bull Rev*. 2001 Mar;8(1):73–80.
39. Navon D, Miller J. Role of outcome conflict in dual-task interference. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 1987 Aug;13(3):435–48.
40. Nijboer M, Borst J, van Rijn H, Taatgen N. Single-task fMRI overlap predicts concurrent multitasking interference. *NeuroImage*. 2014 Oct;100:60–74.
41. Lezak MD, editor. *Neuropsychological assessment*. 4th ed. Oxford ; New York: Oxford University Press; 2004. 1016 p.
42. Holtzer R, Verghese J, Xue X, Lipton RB. Cognitive processes related to gait velocity: Results from the Einstein aging study. *Neuropsychology*. 2006;20(2):215–23.
43. Plummer-D'Amato P, Altmann LJP, Behrman AL, Marsiske M. Interference Between Cognition, Double-Limb Support, and Swing During Gait in Community-Dwelling Individuals Poststroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2010 Jul 1;24(6):542–9.

44. Manaf H, Justine M, Goh H-T. Effects of Attentional Loadings on Gait Performance Before Turning in Stroke Survivors. *PM&R*. 2015 Nov;7(11):1159–66.
45. Chen C, Leys D, Esquenazi A. The interaction between neuropsychological and motor deficits in patients after stroke. *Neurology*. 2013 Jan 15;80(Issue 3, Supplement 2):S27–34.
46. Plummer-D'Amato P, Altmann LJP, Saracino D, Fox E, Behrman AL, Marsiske M. Interactions between cognitive tasks and gait after stroke: A dual task study. *Gait & Posture*. 2008 May;27(4):683–8.
47. Al-Yahya E, Johansen-Berg H, Kischka U, Zarei M, Cockburn J, Dawes H. Prefrontal Cortex Activation While Walking Under Dual-Task Conditions in Stroke: A Multimodal Imaging Study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2016 Jul;30(6):591–9.
48. Stuss DT, Stethem LL, Hugenholtz H, Picton T, Pivik J, Richard MT. Reaction time after head injury: fatigue, divided and focused attention, and consistency of performance. *J Neurol Neurosurg Psychiatr*. 1989;52(6):742–8.
49. Catena RD, van Donkelaar P, Chou L-S. Altered balance control following concussion is better detected with an attention test during gait. *Gait & Posture*. 2007 Mar;25(3):406–11.
50. Martini DN, Sabin MJ, DePesa SA, Leal EW, Negrete TN, Sosnoff JJ, et al. The Chronic Effects of Concussion on Gait. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2011 Apr;92(4):585–9.
51. Vallée M, McFadyen BJ, Swaine B, Doyon J, Cantin J-F, Dumas D. Effects of environmental demands on locomotion after traumatic brain injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006;87(6):806–13.
52. Cossette I, Ouellet M-C, McFadyen BJ. A Preliminary Study to Identify Locomotor-Cognitive Dual Tasks That Reveal Persistent Executive Dysfunction After Mild Traumatic Brain Injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2014 Aug;95(8):1594–7.
53. Niechwiej-Szwedo E, Inness EL, Howe JA, Jaglal S, McIlroy WE, Verrier MC. Changes in gait variability during different challenges to mobility in patients with traumatic brain injury. *Gait & Posture*. 2007;25(1):70–7.
54. Howell DR, Osternig LR, Chou L-S. Adolescents Demonstrate Greater Gait Balance Control Deficits After Concussion Than Young Adults. *The American Journal of Sports Medicine*. 2015 Mar 1;43(3):625–32.
55. Lee H, Sullivan SJ, Schneiders AG. The use of the dual-task paradigm in detecting gait performance deficits following a sports-related concussion: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2013 Jan;16(1):2–7.
56. Sinopoli KJ, Chen J-K, Wells G, Fait P, Ptito A, Taha T, et al. Imaging “Brain Strain” in Youth Athletes with Mild Traumatic Brain Injury during Dual-Task Performance. *Journal of Neurotrauma*. 2014;31(22):1843–59.
57. Sambasivan K, Grilli L, Gagnon I. Balance and mobility in clinically recovered children

- and adolescents after a mild traumatic brain injury. Suskauer S, editor. *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine*. 2015;8(4):335–44.
58. Barrois R, Vidal P-P, Ricard D. New gait quantification methods and their applications in clinical practice. *Pratique Neurologique - FMC*. 2015 Dec;6(4):282–92.
59. Kirchner WK. Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*. 1958;55(4):352–8.
60. Porciuncula FS, Rao AK, Mclsaac TL. Aging-related decrements during specific phases of the dual-task Timed Up-and-Go test. *Aging Clinical and Experimental Research*. 2016 Feb;28(1):121–30.
61. Baetens T, De Kegel A, Palmans T, Oostra K, Vanderstraeten G, Cambier D. Gait Analysis With Cognitive-Motor Dual Tasks to Distinguish Fallers From Nonfallers Among Rehabilitating Stroke Patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2013 Apr;94(4):680–6.
62. Kelly VE, Janke AA, Shumway-Cook A. Effects of instructed focus and task difficulty on concurrent walking and cognitive task performance in healthy young adults. *Experimental Brain Research*. 2010 Nov;207(1–2):65–73.
63. Sala SD, Baddeley A, Papagno C, Spinnler H. Dual-Task Paradigm: A Means To Examine the Central Executive. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1995 Dec;769(1 Structure and):161–72.
64. De Guise E, Alturki AY, LeBlanc J, Champoux M-C, Couturier C, Lamoureux J, et al. The Montreal Cognitive Assessment in Persons with Traumatic Brain Injury. *Applied Neuropsychology: Adult*. 2014 Apr;21(2):128–35.
65. Nasreddine ZS, Phillips NA, B??dirian V, Charbonneau S, Whitehead V, Collin I, et al. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: A Brief Screening Tool For Mild Cognitive Impairment: MOCA: A BRIEF SCREENING TOOL FOR MCI. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2005 Apr;53(4):695–9.
66. Dubois B, Slachevsky A, Litvan I, Pillon B. The FAB: a Frontal Assessment Battery at bedside. *Neurology*. 2000 Dec 12;55(11):1621–6.
67. Howell D, Osternig L, Van Donkelaar P, Mayr U, Chou L-S. Effects of Concussion on Attention and Executive Function in Adolescents: *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2013 Jun;45(6):1030–7.
68. Kemper S, McDowd J, Pohl P, Herman R, Jackson S. Revealing Language Deficits Following Stroke: The Cost of Doing Two Things at Once. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*. 2006 Jan;13(1):115–39.
69. Cossette I, Gagné M-È, Ouellet M-C, Fait P, Gagnon I, Sirois K, et al. Executive dysfunction following a mild traumatic brain injury revealed in early adolescence with locomotor-cognitive dual-tasks. *Brain Injury*. 2016;30(13–14):1648–55.
70. Meehan WP, Taylor AM, Proctor M. The Pediatric Athlete: Younger Athletes with Sport-Related Concussion. *Clinics in Sports Medicine*. 2011 Jan;30(1):133–44.

71. Howell DR, Brilliant A, Berkstresser B, Wang F, Fraser J, Meehan WP. The Association between Dual-Task Gait after Concussion and Prolonged Symptom Duration. *Journal of Neurotrauma*. 2017 Dec;34(23):3288–94.
72. Catena RD, van Donkelaar P, Chou L-S. The effects of attention capacity on dynamic balance control following concussion. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2011;8(1):8.
73. Williams G, Morris ME, Schache A, McCrory PR. Incidence of Gait Abnormalities After Traumatic Brain Injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2009 Apr;90(4):587–93.
74. Berkner J, Meehan WP, Master CL, Howell DR. Gait and Quiet-Stance Performance Among Adolescents After Concussion-Symptom Resolution. *Journal of Athletic Training*. 2017 Dec;52(12):1089–95.
75. Cho KH, Lee HJ, Lee WH. Test–retest reliability of the GAITRite walkway system for the spatio-temporal gait parameters while dual-tasking in post-stroke patients. *Disability and Rehabilitation*. 2015 Mar 13;37(6):512–6.
76. Doi T, Makizako H, Shimada H, Yoshida D, Ito K, Kato T, et al. Brain Atrophy and Trunk Stability During Dual-Task Walking Among Older Adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2012 Jul 1;67(7):790–5.
77. Sekiya N, Nagasaki H, Ito H, Furuna T. Optimal Walking in Terms of Variability in Step Length. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1997 Nov;26(5):266–72.
78. Shimizu K, Ihira H, Makino K, Kihara Y, Itou K, Furuna T. The effect of gait speed and gait phase to the allocation of attention during dual task gait. *Journal of Physical Therapy Science*. 2018;30(3):419–23.
79. Bogen B, Moe-Nilssen R, Ranhoff AH, Aaslund MK. The walk ratio: Investigation of invariance across walking conditions and gender in community-dwelling older people. *Gait & Posture*. 2018 Mar;61:479–82.
80. Soangra R, Lockhart TE. Dual-Task Does Not Increase Slip and Fall Risk in Healthy Young and Older Adults during Walking. *Applied Bionics and Biomechanics*. 2017;2017:1–12.
81. Nordin E, Moe-Nilssen R, Ramnemark A, Lundin-Olsson L. Changes in step-width during dual-task walking predicts falls. *Gait & Posture*. 2010;32(1):92–7.
82. Howell DR, Osternig LR, Chou L-S. Dual-Task Effect on Gait Balance Control in Adolescents With Concussion. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2013;94(8):1513–20.
83. Stolze H. Typical features of cerebellar ataxic gait. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*. 2002 Sep 1;73(3):310–2.
84. Wong JS, Jasani H, Poon V, Inness EL, McIlroy WE, Mansfield A. Inter- and intra-rater reliability of the GAITRite system among individuals with sub-acute stroke. *Gait*

- & Posture. 2014 May;40(1):259–61.
85. Maki BE. Gait Changes in Older Adults: Predictors of Falls or Indicators of Fear? *Journal of the American Geriatrics Society*. 1997 Mar;45(3):313–20.
  86. Martini DN, Goulet GC, Gates DH, Broglio SP. Long-term effects of adolescent concussion history on gait, across age. *Gait & Posture*. 2016 Sep;49:264–70.
  87. Ustinova KI, Langenderfer JE, Balendra N. Enhanced arm swing alters interlimb coordination during overground walking in individuals with traumatic brain injury. *Human Movement Science*. 2017 Apr;52:45–54.
  88. Buckley TA, Vallabhajosula S, Oldham JR, Munkasy BA, Evans KM, Krazeise DA, et al. Evidence of a conservative gait strategy in athletes with a history of concussions. *Journal of Sport and Health Science*. 2016 Dec;5(4):417–23.
  89. Gage WH, Sleik RJ, Polych MA, McKenzie NC, Brown LA. The allocation of attention during locomotion is altered by anxiety. *Experimental Brain Research*. 2003 Jun;150(3):385–94.
  90. Dubost V, Kressig RW, Gonthier R, Herrmann FR, Aminian K, Najafi B, et al. Relationships between dual-task related changes in stride velocity and stride time variability in healthy older adults. *Human Movement Science*. 2006 Jun;25(3):372–82.
  91. Catena RD, van Donkelaar P, Halterman CI, Chou L-S. Spatial orientation of attention and obstacle avoidance following concussion. *Experimental Brain Research*. 2009;194(1):67–77.
  92. McFadyen BJ, Swaine B, Dumas D, Durand A. Residual Effects of a Traumatic Brain Injury on Locomotor Capacity: A First Study of Spatiotemporal Patterns During Unobstructed and Obstructed Walking. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*. 2003;18(6):512–25.
  93. Chou L-S, Kaufman KR, Walker-Rabatin AE, Brey RH, Basford JR. Dynamic instability during obstacle crossing following traumatic brain injury. *Gait & Posture*. 2004;20(3):245–54.
  94. Bloem BR, Grimbergen YAM, van Dijk JG, Munneke M. The “posture second” strategy: A review of wrong priorities in Parkinson’s disease. *Journal of the Neurological Sciences*. 2006;248(1–2):196–204.
  95. Patel P, Lamar M, Bhatt T. Effect of type of cognitive task and walking speed on cognitive-motor interference during dual-task walking. *Neuroscience*. 2014 Feb;260:140–8.
  96. Schmidt RA, Wrisberg CA. *Motor learning and performance: a situation-based learning approach*. 4th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2008. 395 p.
  97. Hausdorff JM, Schweiger A, Herman T, Yogev-Seligmann G, Giladi N. Dual-task decrements in gait: contributing factors among healthy older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2008 Dec;63(12):1335–43.
  98. Agmon M, Armon G, Denesh S, Doumas M. The role of gender in the association

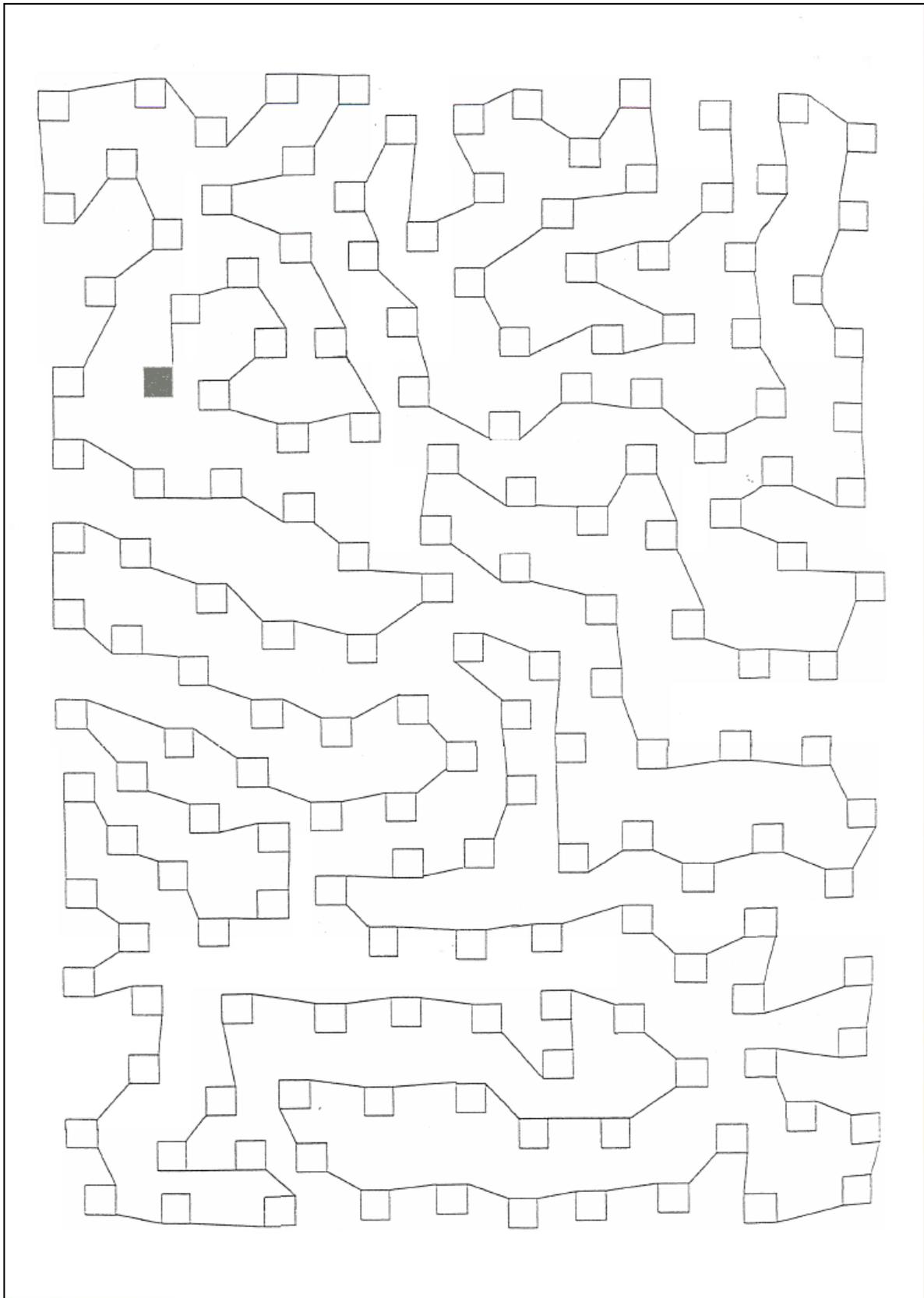
- between personality and task priority in older adults' dual-tasking while walking. *BMC Geriatrics*. 2018;18(1).
99. Bier B, Lecavalier NC, Malenfant D, Peretz I, Belleville S. Effect of Age on Attentional Control in Dual-Tasking. *Experimental Aging Research*. 2017 Mar 15;43(2):161–77.
100. Dennis A, Dawes H, Elsworth C, Collett J, Howells K, Wade DT, et al. Fast walking under cognitive-motor interference conditions in chronic stroke. *Brain Research*. 2009;1287:104–10.
101. Bloem BR, Valkenburg VV, Slabbekoorn M, van Dijk JG. The Multiple Tasks Test. Strategies in Parkinson's disease. *Experimental Brain Research*. 2001;137(3–4):478–86.
102. Chapman GJ, Hollands MA. Evidence that older adult fallers prioritise the planning of future stepping actions over the accurate execution of ongoing steps during complex locomotor tasks. *Gait & Posture*. 2007 Jun;26(1):59–67.
103. Hall CD, Echt KV, Wolf SL, Rogers WA. Cognitive and Motor Mechanisms Underlying Older Adults' Ability to Divide Attention While Walking. *Physical Therapy*. 2011;91(7):1039–50.
104. Ferrel-Chapus C, Tahej PK. Attentional processes and motor learning. *Movement & Sport Sciences*. 2010;(71):71–83.
105. Tu Q, Jin H, Ding B, Yang X, Lei Z, Bai S, et al. Reliability, Validity, and Optimal Cutoff Score of the Montreal Cognitive Assessment (Changsha Version) in Ischemic Cerebrovascular Disease Patients of Hunan Province, China. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders Extra*. 2013;3(1):25–36.
106. Ferland MB, Ramsay J, Engeland C, O'Hara P. Comparison of the Performance of Normal Individuals and Survivors of Traumatic Brain Injury on Repeat Administrations of the Wisconsin Card Sorting Test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology (Neuropsychology, Development and Cognition: Section A)*. 1998;20(4):473–82.
107. Shallice T. Specific impairments of planning. *Philos Trans R Soc Lond, B, Biol Sci*. 1982;298(1089):199–209.
108. Reitan RM. Validity of the Trail Making Test as an Indicator of Organic Brain Damage. *Perceptual and Motor Skills*. 1958 Dec;8(3):271–6.
109. Stroop JR. Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*. 1935;18(6):643–62.
110. Daley MJ, Spinks WL. Exercise, Mobility and Aging. *Sports Medicine*. 2000;29(1):1–12.
111. Lopopolo RB, Greco M, Sullivan D, Craik RL, Mangione KK. Effect of therapeutic exercise on gait speed in community-dwelling elderly people: a meta-analysis. *Phys Ther*. 2006;86(4):520–40.
112. Goutier KMT, Jansen SL, Horlings CGC, Kung UM, Allum JHJ. The influence of

- walking speed and gender on trunk sway for the healthy young and older adults. *Age and Ageing*. 2010;39(5):647–50.
113. Lermuzeaux C. Psychiatric disorders in post-traumatic brain injured patients. *L'information psychiatrique*. 2012;88(5):345.
114. Beauchet O, Dubost V, Allali G, Gonthier R, Hermann FR, Kressig RW. “Faster counting while walking” as a predictor of falls in older adults. *Age and Ageing*. 2007 Jul 1;36(4):418–23.
115. McMillan KM, Laird AR, Witt ST, Meyerand ME. Self-paced working memory: Validation of verbal variations of the n-back paradigm. *Brain Research*. 2007 Mar;1139:133–42.
116. Howell DR, Stracciolini A, Geminiani E, Meehan WP. Dual-task gait differences in female and male adolescents following sport-related concussion. *Gait & Posture*. 2017 May;54:284–9.
117. Chiu S-L, Osternig L, Chou L-S. Concussion induces gait inter-joint coordination variability under conditions of divided attention and obstacle crossing. *Gait & Posture*. 2013 Sep;38(4):717–22.
118. Pizzamiglio S, Naeem U, Abdalla H, Turner DL. Neural Correlates of Single- and Dual-Task Walking in the Real World. *Frontiers in Human Neuroscience* [Internet]. 2017 Sep 14 [cited 2018 Apr 30];11. Available from: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2017.00460/full>
119. Mohagheghi AA, Moraes R, Patla AE. The effects of distant and on-line visual information on the control of approach phase and step over an obstacle during locomotion. *Experimental Brain Research*. 2004;155(4):459–68.
120. Vervoort G, Heremans E, Bengevoord A, Strouwen C, Nackaerts E, Vandenberghe W, et al. Dual-task-related neural connectivity changes in patients with Parkinson' disease. *Neuroscience*. 2016 Mar;317:36–46.
121. Hollands KL, Agnihotri D, Tyson SF. Effects of dual task on turning ability in stroke survivors and older adults. *Gait & Posture*. 2014 Sep;40(4):564–9.
122. Weerdesteyn V, Schillings AM, Van Galen GP, Duysens J. Distraction Affects the Performance of Obstacle Avoidance During Walking. *Journal of Motor Behavior*. 2003 Mar;35(1):53–63.
123. Worden TA, Mendes M, Singh P, Vallis LA. Measuring the effects of a visual or auditory Stroop task on dual-task costs during obstacle crossing. *Gait & Posture*. 2016;50:159–63.
124. Cantin J-F, McFadyen BJ, Doyon J, Swaine B, Dumas D, Vallée M. Can measures of cognitive function predict locomotor behaviour in complex environments following a traumatic brain injury? *Brain Injury*. 2007;21(3):327–34.
125. Howell DR, Osternig LR, Chou L-S. Detection of acute and long-term effects of concussion: dual-task gait balance control vs. computerized neurocognitive test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2018 Feb;

126. Beurskens R, Steinberg F, Antoniewicz F, Wolff W, Granacher U. Neural Correlates of Dual-Task Walking: Effects of Cognitive versus Motor Interference in Young Adults. *Neural Plasticity*. 2016;2016:1–9.
127. Tard C, Dujardin K, Bourriez J-L, Molaei-Ardekani B, Derambure P, Defebvre L, et al. Attention modulation during motor preparation in Parkinsonian freezers: A time–frequency EEG study. *Clinical Neurophysiology*. 2016 Dec;127(12):3506–15.

# ANNEXES

## Annexe 1 : Test de la double tâche de Baddeley



## Annexe 2 : BREF

Test	Cotation
<p><b>1. Similitudes</b> (conceptualisation)</p> <p>« En quoi se ressemblent :</p> <p style="padding-left: 40px;"><i>une banane et une orange</i> <i>une table et une chaise</i> <i>une tulipe, une rose et une marguerite</i> »</p> <p>Si le patient donne une réponse complètement incorrecte (il dit par exemple: « Ceux-ci n'ont rien en commun ») ou en partie incorrecte (« les deux ont une écorce »), vous l'aidez en disant : « <i>La banane et aussi l'orange sont un fruit.</i> » N'attribuez cependant aucun point pour la réponse. N'aidez pas avec les items suivants.</p>	<p style="text-align: center;">Nombre de réponses correctes :  ____ </p>
<p><b>2. Fluence verbale</b> (flexibilité mentale)</p> <p>« Dites-moi autant de mots que possible qui commencent <b>par la lettre S</b>, sauf des prénoms ou des noms propres. »</p> <p>Donnez 1 minute de temps pour l'épreuve.</p> <p>Si le patient n'a pas répondu au bout de 5 secondes dites: « <i>par exemple, serpent.</i> » Si le patient ne répond pas pendant 10 secondes, faites une autre suggestion et dites-lui: « <i>N'importe quel mot qui commence par la lettre S</i> »</p>	<p style="text-align: center;">0 = moins de 3 mots 1 = 3 à 5 mots 2 = 6 à 9 mots 3 = &gt; 9 mots</p>
<p><b>3. Séquence motrice de Luria</b> (programmation)</p> <p>« Regardez exactement ce que je fais. »</p> <p>L'examineur est assis devant le patient et il effectue seul trois fois la séquence « Poing – bord de main – paume » de la main gauche.</p> <p>« Faites la même chose de la main droite d'abord avec moi puis tout seul. »</p> <p>L'examineur effectue la série avec le patient trois fois et dit ensuite : « <i>Maintenant faites le tout seul.</i> »</p>	<p style="text-align: center;">0 = ne peut pas effectuer 3 séquences consécutives correctement, même avec l'aide de l'examineur 1 = échoue seul mais peut effectuer 3 séquences correctes à l'aide de l'examineur 2 = peut effectuer seul au moins 3 séquences consécutives correctement 3 = peut effectuer seul 6 séquences consécutives correctement</p>
<p><b>4. Consignes conflictuelles</b> (sensibilité à l'interférence)</p> <p>« Tapez deux fois quand je tape une fois. » Pour être sûr que le patient ait compris l'instruction, faites trois fois l'exercice: 1-1-1.</p> <p>« Taper une fois quand je tape deux fois. » Pour être sûr que le patient ait compris l'instruction, faites trois fois l'exercice: 2-2-2.</p> <p>L'examineur effectue ensuite la série suivante: 1-1-2-1-2-2-2-1-1-2.</p>	<p style="text-align: center;">0 = tape au moins quatre fois consécutives comme l'examineur 1 = plus de 2 erreurs 2 = 1 ou 2 erreurs 3 = aucune erreur 9 = refusé/abandonné</p>
<p><b>5. Go / no go</b> (inhibition de comportement)</p> <p>« Tapez une fois quand je tape une fois. » Pour être sûr que le patient ait compris l'instruction, faites trois fois l'exercice: 1-1-1.</p> <p>« Ne taper pas quand je tape deux fois. » Pour être sûr que le patient ait compris l'instruction, faites trois fois l'exercice: 2-2-2.</p> <p>L'examineur effectue ensuite la série suivante: 1-1-2-1-2-2-2-1-1-2.</p>	<p style="text-align: center;">0 = frappe au moins quatre fois consécutives comme l'examineur 1 = plus de 2 erreurs 2 = 1 ou 2 erreurs 3 = aucune erreur</p>
<p><b>6. Comportement d'utilisation (autonomie environnementale)</b></p> <p>L'examineur est assis devant le patient. Le patient met ses mains sur ses genoux plaçant ses paumes en haut. Sans rien dire et sans regarder le patient, l'examineur place ses mains à la proximité de celles du patient et touche les paumes des deux mains du patient pour voir s'il saisit sa main.</p> <p>Si le patient prend sa main, l'examineur essaye de nouveau après avoir dit: « <i>Ne me prenez pas mes mains cette fois-ci.</i> »</p>	<p style="text-align: center;">0 = prend la main de l'examineur bien qu'on lui ait dit de ne pas prendre la main 1 = prend la main de l'examineur sans hésiter 2 = hésite et demande ce qu'elle/il doit faire 3 = ne prend pas la main de l'examineur</p>
<p><b>Nom :</b> _____ <b>Prénom :</b> _____</p> <p><b>Date :</b> _____</p>	<p style="text-align: center;"><b>Total de la BREF :</b>  ____ </p>

### Annexe 3 : Echelle ABC-Scale

**VERSION SIMPLIFIÉE DU ACTIVITIES-SPECIFIC BALANCE CONFIDENCE  
(ABC) SCALE : L'ÉCHELLE ABC-S<sup>1</sup>**

Nom : \_\_\_\_\_ Dossier : \_\_\_\_\_ Score: \_\_\_\_ /45 ⇨ \_\_\_\_ %  
 Établissement : \_\_\_\_\_ Évaluateur : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_

**Jusqu'à quel point êtes-vous confiant(e) de garder votre équilibre lorsque vous faites les activités suivantes ?**

ACTIVITÉS	Très confiant(e)	Moyen. confiant(e)	Un peu confiant(e)	Pas du tout confiant(e)
Vous balayez le plancher	3	2	1	0
Vous sortez de la maison pour aller vers une auto stationnée dans l'entrée	3	2	1	0
Vous vous étirez pour prendre une petite boîte de conserve sur une étagère, à la hauteur des yeux	3	2	1	0
Vous marchez dans la maison	3	2	1	0
Vous utilisez un escalier roulant en tenant la rampe	3	2	1	0
Vous traversez un terrain de stationnement pour vous rendre au centre commercial	3	2	1	0
Vous montez ou descendez de l'auto (régulière)	3	2	1	0
Vous marchez dans le centre commercial bondé de gens pressés	3	2	1	0
Vous vous penchez pour ramasser une pantoufle, sur le plancher de votre garde-robe	3	2	1	0
Vous montez ou descendez un plan incliné (rampe d'accès)	3	2	1	0
Vous montez ou descendez les escaliers	3	2	1	0
Vous êtes bousculé(e) par des gens en marchant dans le centre commercial	3	2	1	0
Vous vous tenez sur la pointe des pieds pour aller chercher un objet, au-dessus de votre tête	3	2	1	0
Vous êtes monté(e) sur une chaise (ou un escabeau) pour aller chercher un objet	3	2	1	0
Vous utilisez un escalier roulant sans pouvoir tenir la rampe parce que vous avez les bras chargés de paquets	3	2	1	0

<sup>1</sup> Traduction et adaptation de: Powell, L.E., & Myers, A.M. (1995). The Activities-specific Balance Confidence (ABC) Scale. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 50A(1): M28-M43.

**AUTEUR : Nom : ABADIE**

**Prénom : Laurine**

**Date de Soutenance : 25 mai 2018**

**Titre de la Thèse : Marche en double tâche chez le sujet traumatisé crânien modéré à sévère : caractéristiques des troubles et retentissement**

**Thèse - Médecine - Lille 2018**

**Cadre de classement : Médecine physique et de réadaptation**

**DES + spécialité : Médecine physique et de réadaptation**

**Mots-clés : Traumatisme crânien, Double tâche, Attention, Marche**

### **Résumé :**

**Introduction :** Les patients traumatisés crâniens (TC) présentent souvent des troubles cognitifs et des troubles multimodaux de la posture et de la marche. Ces troubles sont d'autant plus importants lors d'une situation de double tâche. Les objectifs principaux de ce travail étaient d'évaluer et de caractériser le coût de l'ajout de 3 types de tâches cognitives sur les paramètres de marche et d'étudier le lien entre le coût de la double tâche et les difficultés lors de la marche dans la vie quotidienne.

**Patients et méthode :** Les paramètres spatio-temporels de marche ont été évalués à l'aide d'un tapis GaitRITE chez 22 sujets victimes d'un traumatisme crânien modéré à sévère et 26 sujets contrôles appariés en âge. Le coût de l'ajout de 3 tâches cognitives (Back Task, décompte, conversation) a été mesuré lors d'épreuves de marche sur terrain plat et de franchissement d'un obstacle. Nous avons également mesuré les liens entre le coût de la double tâche de marche et les performances dans un autre type de double tâche motrice (double tâche de Baddeley) ainsi qu'avec la confiance perçue par le patient dans son équilibre et sa marche lors de la vie quotidienne (ABC-Scale).

**Résultats :** La vitesse de marche sur terrain plat était altérée en double tâche, étant d'avantage liée à la réduction de la longueur du pas (et moins à la cadence). Nous n'avons pas mis en avant de différence sur les autres paramètres spatio-temporels de la marche. Lors du passage d'obstacle, les différences entre sujets TC et contrôles n'étaient pas significatives. Le coût cognitif était plus important dans le groupe TC pour la tâche de marche sur terrain plat et les tâches de Back Task et de conversation avec l'examineur. Par ailleurs, le coût de la double tâche de marche était corrélé à celui de la double tâche de Baddeley lors de la Back Task ( $p=0,330$  ;  $p=0,022$ ) et lors de la conversation ( $p=0,415$  ;  $p=0,03$ ), mais pas au score total de l'ABC-Scale. Il n'existait pas de corrélation entre le coût de la double tâche de marche et les tests cognitifs réalisés (BREF et MoCA).

**Discussion :** Les sujets TC adoptaient une stratégie conservatrice de marche et avaient tendance à prioriser la tâche cognitive par rapport à la tâche motrice. Le coût de la double tâche ne semble pas spécifique à la marche. Enfin le niveau de confiance en leur équilibre lors de la marche semble être également lié à d'autres facteurs chez les personnes TC.

### **Composition du Jury :**

**Président : Pr A.THEVENON**

**Assesseurs : Pr L. DEFEBVRE, Dr A. DELVAL, Dr O. KOZLOWSKI, Dr E. ALLART**