



UNIVERSITE PAUL SABATIER – TOULOUSE III  
Faculté de médecine Toulouse-Rangueil  
Institut de formation en Psychomotricité

**La mémoire de travail chez les sujets  
présentant un trouble déficit de l'attention  
avec ou sans hyperactivité**

---

Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Psychomotricité

**GRAGY Sébastien**  
**Octobre 2016**

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>AJ LA MEMOIRE DE TRAVAIL.....</b>	<b>3</b>
<u>I°) LE MODELE DE BADDELEY .....</u>	<u>3</u>
1) Introduction au modèle de la mémoire de travail de Baddeley .....	3
2) La boucle phonologique .....	4
2.1- Le stock phonologique .....	4
2.2- La boucle articulatoire .....	4
2.3- Les effets liés à la boucle phonologique .....	4
3) Le calepin visuospatial .....	5
3.1- Présentation du calepin visuospatial.....	5
3.2- Les effets liés au calepin visuospatial.....	8
4) L'administrateur central.....	9
5) Le Rôle du buffer épisodique .....	10
<u>II°) NEUROSCIENCES ET MEMOIRE DE TRAVAIL .....</u>	<u>11</u>
1) Bases neuroanatomiques .....	11
1.1- Les principales régions impliquées .....	11
a) Le cortex préfrontal .....	11
b) Organisation anatomofonctionnelle du cortex préfrontal .....	13
1.2- Les régions subsidiaires .....	13
a) Le cortex rétro-rolandique .....	14
b) Principales structures sous-corticales.....	15
2) Mémoire de travail et autres fonctions exécutives .....	19
2.1- Définition d'une fonction exécutive .....	19
2.2- Mémoire de travail comme fonction exécutive .....	20
2.3- Développement de la mémoire de travail .....	21
2.4- Mémoire de travail et autres fonctions exécutives .....	22
a) Fonctions exécutives centrales.....	23
b) Fonctions exécutives « composites » .....	24
<b>BJ LE TROUBLE DEFICIT DE L'ATTENTION AVEC OU SANS HYPERACTIVITE (TDA/H) .....</b>	<b>26</b>
<u>I°) PRESENTATION DE LA PATHOLOGIE .....</u>	<u>26</u>
<u>II°) LA TRIADE SYMPTOMATIQUE .....</u>	<u>27</u>
1) L'inattention.....	27
2) L'impulsivité .....	27
3) L'hyperactivité .....	28
<u>III°) DYSFONCTIONNEMENT EXECUTIF DANS LE TDA/H .....</u>	<u>28</u>
1) Fonctions exécutives altérées chez le sujet TDA/H.....	28

2) Le modèle de Barkley (1997).....	31
3) Présentation du modèle de Rapport (2001).....	35
<b>C] LA MEMOIRE DE TRAVAIL DANS LE TDA/H.....</b>	<b>37</b>
<u>I°) CORRELATS NEUROANATOMIQUES ENTRE TDA/H ET DEFICIT DE MEMOIRE DE TRAVAIL .....</u>	<u>37</u>
<u>II°) MANIFESTATIONS D'UN DEFICIT DE MEMOIRE DE TRAVAIL CHEZ LE TDAH.....</u>	<u>41</u>
1) Mise en évidence d'un déficit de mémoire de travail dans le TDA/H.....	41
2) Déficit en mémoire de travail et symptomatologie .....	43
2.1- Mémoire de travail et inattention.....	43
2.2- Mémoire de travail et hyperactivité-impulsivité .....	45
2.3- Mémoire de travail et socialisation.....	46
2.4- Mémoire de travail et performance .....	47
<b>D] PERSPECTIVES DE REEDUCATION DE LA MEMOIRE DE TRAVAIL .....</b>	<b>48</b>
<u>I°) INTERET D'UNE REMEDIATION COGNITIVE.....</u>	<u>48</u>
<u>II°) EXEMPLE DE REMEDIATION COGNITIVE CIBLANT LA MEMOIRE DE TRAVAIL : COGMED.....</u>	<u>49</u>
<u>III°) EFFICACITE D'UN ENTRAINEMENT DE LA MEMOIRE DE TRAVAIL.....</u>	<u>51</u>
1) Essai de rééducation de la MT chez des patients TDA/H.....	51
2) Données expérimentales en faveur de l'entraînement cognitif de la mémoire de travail pour les patients TDA/H .....	53
3) Données expérimentales critiquant l'entraînement cognitif de la mémoire de travail pour des patients TDA/H .....	55
<b>E] LA MEMOIRE DE TRAVAIL DANS LA PRISE EN CHARGE PSYCHOMOTRICE D'ENFANT TDA/H .....</b>	<b>57</b>
<u>I°) LE PROGRAMME DE REMEDIATION COGNITIVE : UN OUTIL POUR LE PSYCHOMOTRICIEN ? .....</u>	<u>57</u>
<u>II°) LES OUTILS D'EVALUATION DE LA MEMOIRE DE TRAVAIL .....</u>	<u>60</u>
1) L'indice de mémoire de travail .....	60
2) Les tests étalonnés d'évaluation de la mémoire de travail .....	60
<u>III°) COMMENT ENVISAGER UN TRAVAIL AUTOUR DE LA MEMOIRE DE TRAVAIL.....</u>	<u>61</u>

1) Mise en place d'une rééducation de la mémoire de travail pour un patient TDA/H.....	61
2) Aménagements et éléments clés d'une rééducation de la mémoire de travail pour un patient TDA/H.....	63
2.1- Caractéristiques d'une rééducation de la mémoire de travail .....	63
2.2- Stratégies méta-cognitives.....	65
<u>IV°) QUELQUES EXEMPLES D'EXERCICES DE MEMOIRE DE TRAVAIL A PROPOSER A DES PATIENTS TDA/H</u> .....	67
<b>F] DISCUSSION.....</b>	<b>68</b>
<b>G] CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE :.....</b>	<b>72</b>

## **INTRODUCTION :**

Le trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H) est l'un des troubles les plus étudiés ces dernières décennies. Les grands modèles neuropsychologiques explicatifs de ce trouble décrivent une altération du fonctionnement exécutif. Parmi les fonctions cognitives reconnues déficitaires figure la mémoire de travail (MT). Si cette fonction est évoquée par les modèles explicatifs, la place qui lui est accordée diffère d'un modèle à l'autre. Nous nous sommes alors interrogés sur la place véritablement occupée par ce déficit de MT dans le tableau sémiologique du TDA/H. En quoi un déficit situé au niveau de cette fonction pourrait rendre compte des particularités symptomatiques du TDA/H ?

Dans un premier temps nous avons souhaité proposer un protocole de rééducation de la MT pour un enfant TDA/H. Malheureusement aucun enfant correspondant au profil recherché n'était présent les jours de stages. Nous avons alors décidé d'approfondir la théorie en regroupant un maximum de données issues de la littérature scientifique pour tenter d'appréhender plus facilement la question de la place du déficit de la MT chez les sujets TDA/H.

Après avoir examiné le modèle de MT le plus utilisé dans la recherche, nous approfondirons notre compréhension de cette fonction par l'apport des neurosciences. Nous présenterons les structures neuroanatomiques soutenant la MT et étudierons cette entité comme fonction cognitive essentielle dans l'adaptation à l'environnement mais aussi son lien étroit avec d'autres fonctions. Puis en orientant notre regard sur la position occupée par le déficit de MT au sein du TDA/H. Nous présenterons alors deux modèles explicatifs situant la MT à des niveaux différents. Nous étudierons les corrélations existantes entre des zones impliquées dans la MT et celles présentant des anomalies chez les patients TDA/H. Nous exposerons le rapport entretenu entre MT et symptomatologie du trouble. Enfin nous examinerons les possibilités de rééducation de cette fonction cognitive. Nous nous intéresserons notamment à l'intérêt du psychomotricien à envisager un axe de travail orienté sur ce déficit exécutif tout en utilisant les outils adaptés.

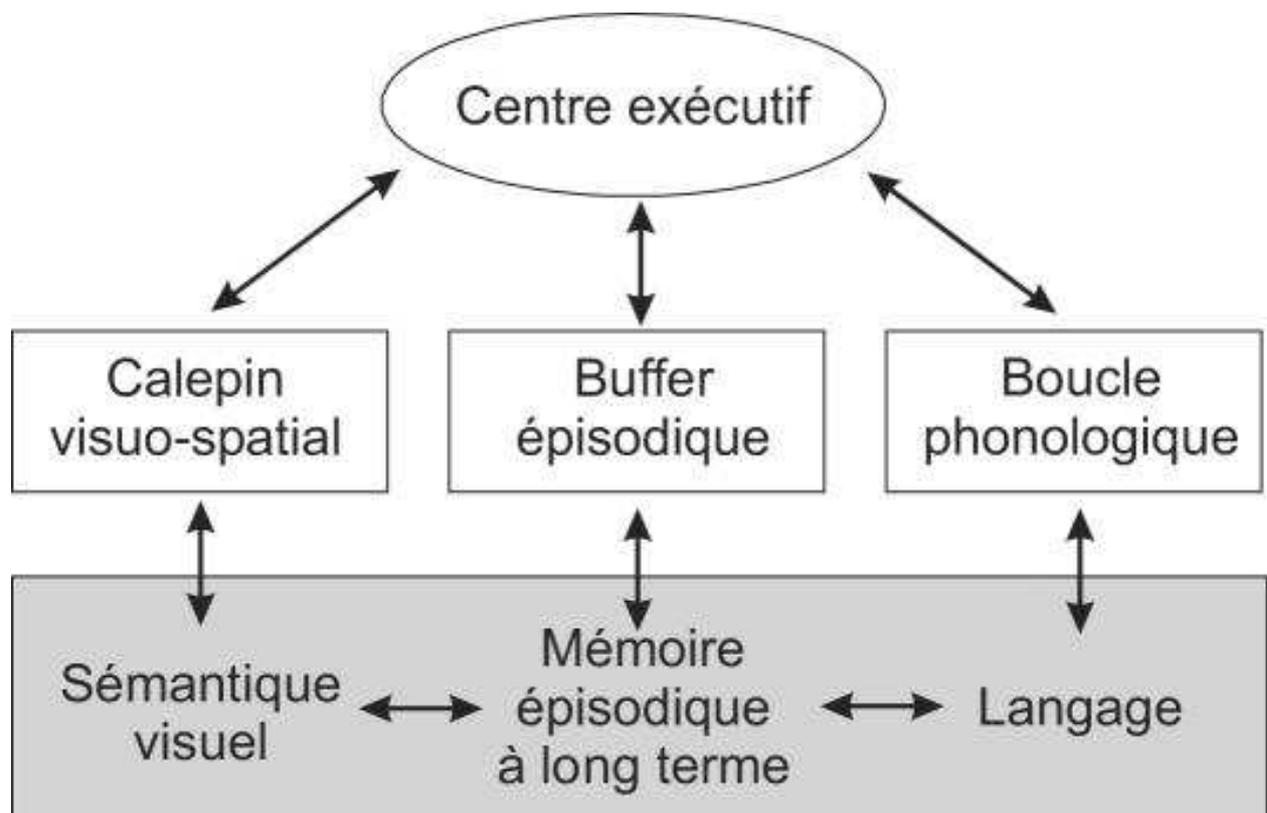
Enfin nous discuterons des limites et des précautions à adopter dans cette approche.

## AJ LA MEMOIRE DE TRAVAIL

### I°) Le modèle de Baddeley

#### 1) Introduction au modèle de la mémoire de travail de Baddeley

Le modèle de Baddeley (2000) est une version révisée du modèle proposé par Baddeley et Hitch (1974). Il s'agit de la modélisation neuropsychologique de la partie active de la mémoire à court terme : la Mémoire de Travail (MT), associant stockage et traitement de l'information (Baddeley, 2012).



*Schéma du modèle de la mémoire de travail de Baddeley (2000)*

([http://www.ipubli.inserm.fr/bitstream/handle/10608/220/Chapitre\\_2.html](http://www.ipubli.inserm.fr/bitstream/handle/10608/220/Chapitre_2.html))

## **2) La boucle phonologique**

C'est l'un des sous-systèmes du modèle déjà présent dans le modèle initial.

Elle est d'après le théoricien la composante la plus étudiée et affinée du modèle.

Cela s'expliquerait par l'accessibilité de l'étude de ses caractéristiques.

Baddeley lui accorde une fonction de stockage temporaire de l'information phonologique.

Un déclin naturel de la trace alloue aux informations un stockage n'excédant pas quelques secondes. Passé ce délai, la trace mnésique s'effacera.

Le maintien de l'information est rendu possible par répétition vocale ou sub-vocale.

La boucle phonologique comprend deux sous composantes : le stock phonologique et la boucle articulatoire.

### ***2.1- Le stock phonologique***

Il est dédié au stockage temporaire de l'information phonologique pour des données verbales, ayant été lues ou entendues. Elles sont maintenues actives environ deux secondes. Leur rafraichissement est alors possible par répétition articulatoire.

### ***2.2- La boucle articulatoire***

Elle assure la fonction de répétition internalisée de l'information. Ce processus actif de boucle articulatoire renvoie alors l'information au sein du stock phonologique. Le déclin de la trace mnésique est ainsi repoussé.

### ***2.3- Les effets liés à la boucle phonologique***

Les différentes études portant sur la boucle phonologique ont mis en évidence certains effets :

- Effet de similarité phonologique : une liste de mots phonologiquement similaires sera plus difficile à rappeler qu'une liste de mots totalement dissemblables.

- Effet de longueur des mots : la performance dans le rappel de mots diminue systématiquement avec la longueur des mots.
- Effet de suppression articulatoire : en empêchant la boucle articulatoire d'opérer. Par exemple, en répétant de manière continue un mot, la performance d'une tâche de répétition d'une liste de mots s'en trouvera réduite.
- Effet des sons non pertinents : Lors d'une tâche de rappel d'une séquence de chiffres. La présence de bruits « blancs » non langagiers n'impacte pas la performance. Par contre des bruits distracteurs parlés ; qu'ils aient une signification ou non vont faire chuter la performance. (Colle et Welsh, 1976, in Baddeley, 2012). Jones et Macken, (1993), ont montré que les sons non parlés d'intensité fluctuante perturbaient la mémoire à court terme.

### **3) Le calepin visuospatial**

#### ***3.1- Présentation du calepin visuospatial***

Le calepin visuospatial est un autre sous-système du modèle de Baddeley. Il présente une fonction de stockage limitée et temporaire de l'information visuelle (caractéristiques d'un objet : forme, couleur, taille...) et spatiale (localisation). Il semble également jouer un rôle dans la génération et la manipulation d'images mentales (Repovš & Baddeley, 2006).

Cette composante de la mémoire de travail intervient dans de nombreuses situations comme :

- L'orientation dans l'espace
- La génération d'images mentales et leur manipulation
- La rotation mentale

Le stockage de l'information visuospatiale est soumis au déclin naturel tout comme pour la boucle phonologique. L'information est stockée en mémoire pendant quelques secondes seulement.

Baddeley lui octroie un système de répétition dans le but de rafraîchir l'information au sein du stockage visuospatial. La nature de cette répétition demeure incertaine.

Une piste concernerait les mouvements oculaires : Awh (1998) propose à des sujets de mémoriser la localisation spatiale de cibles tout en réalisant une tâche concurrente de discrimination visuelle. La cible à mémoriser disparaît lors de la réalisation de la seconde tâche.

Les résultats montrent que lorsque la tâche concurrente est à réaliser dans un champ visuel coïncidant avec la localisation des cibles à retenir, le nombre d'erreur est réduit. De plus, la tâche concurrente est réussie plus rapidement lorsqu'elle est à réaliser dans l'espace actif en MT.

Pour Postle et al (2006), les mouvements oculaires sont associés avec les changements de foci attentionnels.

Ces données suggèrent l'importance d'une attention focalisée sur l'espace à mémoriser par le biais d'un regard porté sur la zone à maintenir en MT.

De plus, Pearson et Sahraie (2003) ont étudié l'impact de mouvements des yeux sur une tâche d'empan de MT visuospatiale. Lors d'un délai d'attente précédant la réponse des sujets testés, une tâche concurrente est proposée. Deux cas de figures sont étudiés :

Premièrement, les sujets ont besoin de focaliser leur attention sur une nouvelle cible qui permet de garder les yeux relativement fixes.

Deuxièmement, le besoin de focaliser son attention sur la tâche est faible mais la quantité de mouvements oculaires est élevée.

Les résultats montrent que la performance sur la tâche d'empan spatial est significativement plus faible dans le second cas.

Ces données peuvent venir appuyer l'hypothèse de Baddeley (1986) concernant un possible encodage de l'information spatiale sous forme de coordonnées rétiniennes.

Des mouvements excessifs des yeux pourraient alors perturber les possibilités de récupération de l'information.

Des chercheurs se sont intéressés au fractionnement du calepin visuospatial dans le but de quantifier la part visuelle de celle spatiale dans cette composante du modèle.

Des études suggèrent l'existence d'une double dissociation entre MT visuelle et MT spatiale. Ainsi Logie (1995) a proposé de découper la composante visuospatiale de la mémoire de travail. Il fait alors la distinction entre le « visual cache » responsable de la rétention de patterns visuels et un « inner scribe » responsable de la rétention de patterns spatiaux.

L'empan visuospatial présente une importante variabilité. Sa valeur chez un même sujet dépendra du matériel, de la nature et la complexité de la tâche utilisée pour la mesure.

A ce titre, l'empan mnésique spatial, classiquement mesuré avec l'épreuve des blocs de Corsi est dissociable de l'empan de patterns visuels obtenu avec la matrice de Philip.

NB :

- L'épreuve des blocs de Corsi (Corsi 1972) est une épreuve d'empan visuospatial de la MT
- L'épreuve de la matrice de Philip (1974) consiste à observer des formes géométriques situées aléatoirement dans certaines cases d'un quadrillage. Le sujet doit ensuite replacer correctement les formes géométriques dans une matrice vide.

Il s'avère qu'un sujet peut être déficitaire dans l'un mais pas dans l'autre.

Della Sala et al, 1999 ont mis en évidence cette double dissociation entre rétention de patterns spatiaux et rétention de patterns visuels. Chez des patients Alzheimer certains obtiennent un score dans la moyenne sur l'épreuve des blocs de Corsi et un score déficitaire lors de l'épreuve des matrices. Les autres patients présentent le profil inverse.

De plus, Logie et Pearson (1997) ont précisé la nature développementale distincte entre capacité de rétention de l'information visuelle d'une part et spatiale d'autre part.

Les performances en MT augmentent avec l'âge. Toutefois, les enfants de 8 à 12 ans performant plus sur une épreuve à dominance visuelle plutôt que spatiale. Il n'y a pas de différence notable chez des sujets plus jeunes.

Par ailleurs, des auteurs se sont interrogés sur la capacité de stockage d'informations visuelles. Est-elle déterminée par la rétention de caractéristiques ou bien la rétention d'objets complexes regroupant plusieurs caractéristiques ?

Vogel et al, (2001) ont montré que des sujets sains pouvaient maintenir en mémoire visuelle 4 objets composés chacun de 4 caractéristiques différentes, soit une capacité de 16 éléments. Par contre Alvarez et Cavanagh, 2004 ont montré que cette capacité de stockage sera amoindrie par la multiplication de caractéristiques appartenant à un même domaine (forme, couleur...)

Le stockage des caractéristiques isolées d'une part et celui de leurs liaisons en un objet complexe semble se faire de manière séparée. De plus, le maintien des liaisons serait plus sensible au déclin mnésique (Wheeler et Treisman, 2002).

Le fractionnement du calepin visuospatial est encore en étude. Baddeley (2012) décrit plusieurs composantes probables : la kinesthésie, le sens haptique, le tact...

Baddeley fait l'hypothèse que l'ensemble de ces sources d'informations converge vers le calepin visuospatial.

### ***3.2- Les effets liés au calepin visuospatial***

Parmi les effets liés au calepin visuospatial on retrouve :

- L'effet d'interférence : Une tâche de MT visuospatiale est perturbée par une activité spatiale concurrente. En effet la rétention d'informations spatiales sera perturbée par des mouvements du bras (Lawrence et al, 2001). Della Salla (1999) montre que la réalisation de séquences gestuelles répétitives perturbe l'épreuve d'empan spatial des Blocs de Corsi. La programmation de la séquence gestuelle impliquerait des coordonnées spatiales interférant avec les coordonnées spatiales nécessaires à la réussite de l'épreuve d'empan. De plus, la séquence gestuelle implique de suivre un ordre de mouvements précis. Or cette notion d'ordre peut également interférer avec celui à maintenir

pour réaliser l'épreuve des Blocs de Corsi (Baddeley, 2007).

- L'effet de similarité visuelle : la mémoire visuospatiale est influencée par la symétrie des éléments (Rossi-Arnaud, Pieroni, Baddeley, 2006 ; in Baddeley 2011). Ainsi lors du rappel d'éléments entretenant une relation de similarité visuelle (exemple : les lettres H et N), on note des confusions et l'empan est moindre que si les items sont parfaitement distincts.
- L'Effet de complexité : La perte de l'information visuospatiale semble être fonction de la complexité des stimuli, de la durée de présentation mais aussi de la structuration du pattern à retenir (des éléments rangés dans des matrices sont plus simples à retenir que des éléments dispersés aléatoirement). La possibilité de convertir une information visuospatiale en information verbale peut faciliter la rétention. Ainsi la rétention d'objets difficilement nommables ou peu descriptibles sera plus complexe.

#### **4) L'administrateur central**

L'administrateur central correspond à la composante exécutive de la MT. Il permet la coordination des deux systèmes esclaves, la boucle phonologique et le calepin visuospatial.

Baddeley suggère que l'administrateur central n'assure pas seulement la coordination des opérations des sous-systèmes mais se révèle être un véritable système attentionnel.

Pour décrire cette dimension attentionnelle de l'administrateur central, Baddeley fait le rapprochement avec le modèle du système attentionnel superviseur de Norman et Shallice (1986). Ce dernier aurait des fonctions similaires à l'administrateur central.

Ainsi, selon Baddeley (1996), le fractionnement de l'administrateur central permet de le relier à 4 processus exécutifs :

- L'attention sélective
- La capacité à diviser l'attention sur deux cibles
- La focalisation attentionnelle d'une tâche à une autre (shifting)
- L'activation des informations en mémoire à long terme

Il concourt au traitement de l'information en provenance des sous-systèmes mais aussi au stockage et maintient de ces données vers ces derniers.

Ainsi, c'est un système chargé du contrôle et de la gestion des sous-systèmes en orientant et en répartissant les ressources attentionnelles vers ces derniers selon la nature de la tâche à effectuer.

Une tâche routinière/automatisée ou simple sera moins coûteuse en ressources qu'une tâche nouvelle ou complexe (Gathercole et Baddeley, 1993). Un traitement allégé par l'administrateur central libèrera des ressources allouables au stockage et inversement.

Cette part exécutive de l'administrateur central permet de confronter des données nouvelles et temporaires avec celles stockées en mémoire à long terme. Un processus majeur accordé à l'administrateur central est la mise à jour de l'information stockée en mémoire. Il y a actualisation permanente afin de maintenir les données pertinentes et d'inhiber celles qui ne le sont plus dans un but précis. Il peut également filtrer les informations concurrentes non désirées et donc résister aux interférences. Cela permet de désengorger des systèmes aux faibles capacités de stockage.

Pour une tâche donnée, cela contribuera à la sélection d'une stratégie adaptée par la répartition des ressources entre les différents composants de la MT. Mais aussi dans l'inhibition d'une réponse automatisée (routine cognitive) pouvant perturber la tâche en cours.

### **5) Le Rôle du buffer épisodique**

Le buffer épisodique agit comme une mémoire tampon. Il permet la rétention temporaire d'une information unifiée en provenance de sources différentes. La durée de maintien de cette information excède légèrement celle des systèmes spécialisés.

Ainsi, c'est un système de stockage temporaire de l'information sous une forme multimodale. La capacité de stockage demeure limitée, Baddeley, (2003) décrit le buffer épisodique comme un système séparé et complémentaire d'un stock mnésique à long terme. Dans le modèle, le buffer épisodique est sous le contrôle de l'administrateur central.

Il fait la liaison entre les données issues de la mémoire à long terme, la perception et les systèmes spécialisés. Les différentes informations se trouvent alors intégrées dans un ensemble (ou chunk) qui sera de nature amodale. Cet ensemble forme un épisode situé dans le temps et l'espace.

Le buffer épisodique intervient dans l'encodage et la récupération de l'information en mémoire épisodique.

Il joue donc un rôle d'entrée et de sortie de l'information en mémoire à long terme.

Baddeley décrit le buffer épisodique comme une potentielle fraction de l'administrateur central.

Voyons maintenant quelles sont les principales régions cérébrales soutenant la MT. Nous allons nous intéresser aux réseaux neuronaux formés par l'association de ces régions et préciser s'il existe des spécificités anatomofonctionnelles selon le processus de MT impliqué.

Enfin nous étudierons l'importance de la MT dans le fonctionnement cognitif et son interaction avec d'autres fonctions essentielles.

## **II°) Neurosciences et mémoire de travail**

### **1) Bases neuroanatomiques**

La mémoire de travail (MT) implique des régions frontales, des régions corticales dites rétro-rolandiques et des structures sous-corticales.

#### ***1.1- Les principales régions impliquées***

##### **a) Le cortex préfrontal**

Le cortex préfrontal semble être une structure essentielle de la MT. Lors d'une expérience, Fuster (1997) propose une tâche de réponse différée chez le singe au cours de laquelle est mesurée l'activité neuronale du cortex préfrontal. L'activité enregistrée est spécifique à chaque étape de l'épreuve avec une activation paroxystique lors de la période de délai.

Au sein de ce cortex préfrontal différentes structures sont identifiées :

- la partie latérale du gyrus frontal supérieur (BA 8 et 9)
- le gyrus frontal moyen (BA 9 et 46)
- le gyrus frontal inférieur (BA 12, 44 et 45)
- la portion externe du lobe frontal (BA 10)

*(Voir annexe pour la schématisation des aires de Brodmann)*

La partie dorsolatérale du cortex préfrontal est reconnue comme étant particulièrement impliquée dans la MT (Baddeley, 2007). On lui accorde un rôle très exécutif puisque le cortex préfrontal dorsolatéral est déterminant pour le contrôle du flux et la mise à jour des informations en MT. A ce titre, le cortex préfrontal dorsolatéral est souvent décrit comme étant le principal support de l'administrateur central.

Lors d'une tâche de MT, la partie dorsolatérale et ventrolatérale du cortex préfrontal sont toutes deux activées à la fois lors de la phase de maintenance, mais aussi lors de la manipulation de l'information après un délai. Il se pose alors la question d'une organisation ventrolatérale/dorsolatérale (D'esposito et al, 1999).

Il s'avère qu'à l'imagerie, la partie dorsolatérale sera plus active lorsque la tâche nécessite une importante manipulation d'informations stockées en MT. A contrario, une simple tâche de reconnaissance lors de laquelle le sujet doit comparer la localisation de cibles avant puis après un délai, montrera une activation moindre de la partie dorsolatérale (D'esposito et al 1999, Owen et al, 1996)

La MT visuelle figurative recrute davantage des régions ventrales alors que la MT à composante plus spatiale, recrutera les régions dorsales (Smith et Jonides 1999, in Baddeley, 2007) ; (Courtney et al., 1996; Haxby et al., 1994; Ungerleider et al., 1998 ; in Li et al., 2014)

Au sein même de l'organisation ventrale/dorsale, D'esposito et al (1998) ont montré que lors de l'activation de la voie ventrale, une distinction hémisphérique survient dans le traitement d'informations spatiales. L'hémisphère droit est d'autant plus activé pour les informations spatiales, et le gauche pour les non spatiales.

## **b) Organisation anatomofonctionnelle du cortex préfrontal**

Les connaissances actuelles ne permettent pas de décrire précisément l'organisation anatomofonctionnelle du cortex préfrontal. L'organisation des sous-régions et leurs spécificités demandent à être investiguées davantage.

Toutefois, des études décrivent une organisation anatomofonctionnelle du cortex préfrontal dorsolatéral, dépendante, en partie, du domaine et la nature de l'information à traiter (Levy et Goldman-Rakic, 2000).

Des expériences ont été menées pour tenter de déceler l'existence de régions spécifiques à un type d'information.

Une épreuve N-Back est proposée, lors de laquelle le sujet doit être capable de fournir une information présentée N coup en arrière. Ici la nature de présentation de l'information à stocker varie. Elle est soit visuelle, soit verbale.

Le gyrus frontal supérieur est davantage activé au cours des essais complexes en modalité spatiale (Du Boisgueheneuc et al, 2007).

Par contre, la partie postérieure du gyrus frontal inférieur va être cruciale pour une épreuve en modalité verbale (Levy et Volle, 2007).

La région moyenne du cortex préfrontal dorsolatéral quant à elle est significativement recrutée à partir d'une situation en 3-Back, indépendamment de la modalité de présentation.

Ces expériences soutiennent l'idée d'une spécificité des régions frontales et surtout préfrontales par rapport à la nature de l'information à traiter mais aussi du degré de complexité de la tâche.

Cette spécificité existerait parallèlement à la présence de régions supramodales (Volle, 2007).

### **1.2- Les régions subsidiaires**

Des réseaux neuronaux se forment en association avec des structures rétro-rolandiques. Particulièrement, les lobes pariétaux et temporaux mais aussi des structures internes comme l'hippocampe, impliqué dans le système limbique, ou encore les ganglions de la base (Levy et Volle, 2007).

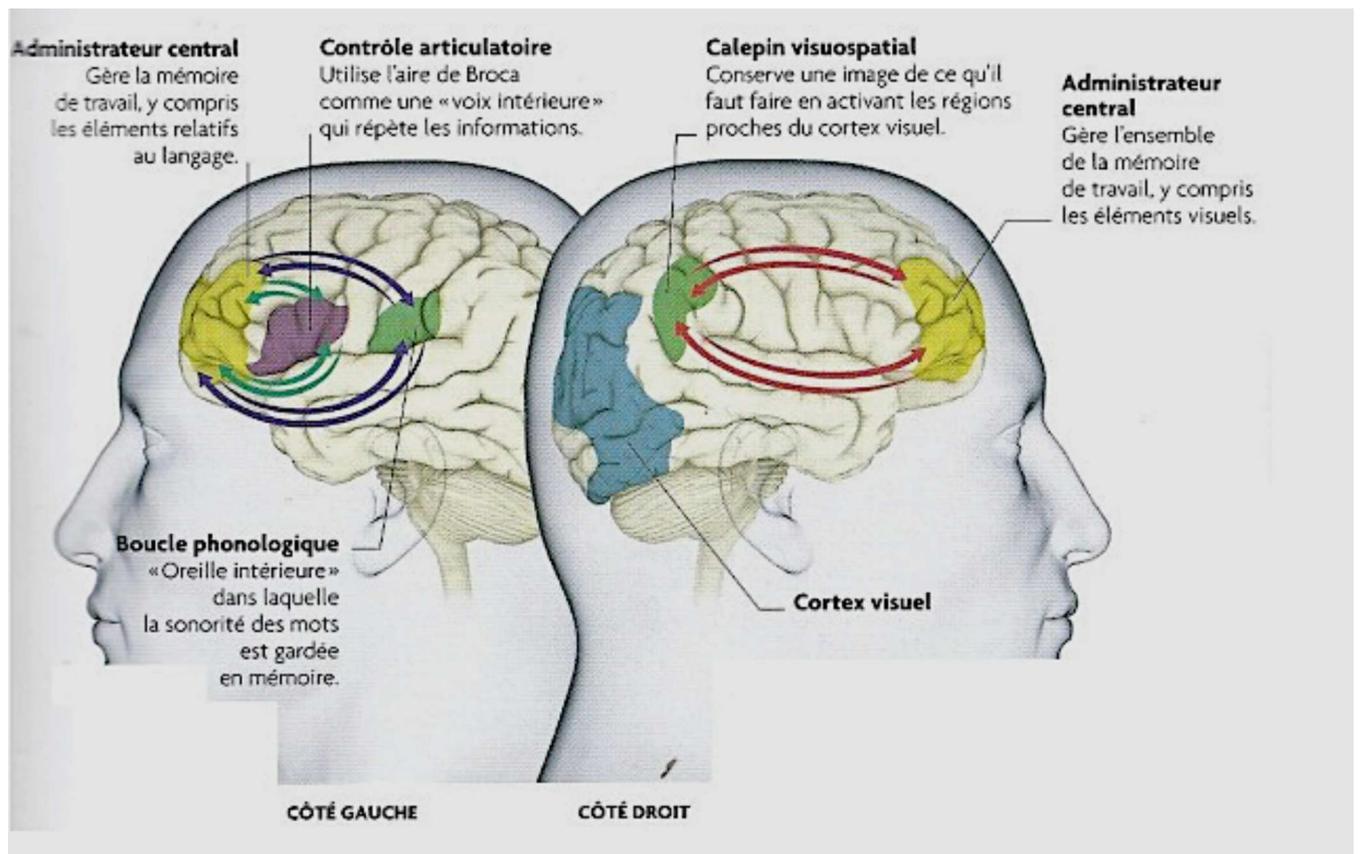
### **a) Le cortex rétro-rolandique**

Pour la MT on parle d'une association entre le cortex préfrontal et les structures rétro-rolandiques. On fait alors principalement allusion aux régions pariétales et temporales, toutes deux situées en arrière du sillon central.

Les structures rétro-rolandiques vont traiter les informations sensorielles. Le cortex rétro-rolandique semble particulièrement organisé en fonction de la nature de l'information à traiter. L'expérience de Smith et al (1996) illustre cette organisation. Un ensemble d'informations verbales et visuospatiales est présenté simultanément aux sujets testés. Après un temps délai de 3 secondes, les sujets doivent comparer avec de nouvelles informations et dire s'il y a concordance ou non. La réponse pour la partie verbale de l'épreuve active de manière significative l'hémisphère gauche (notamment BA 40 et 44). La réponse visuospatiale active principalement l'hémisphère droit (particulièrement BA 40 et 6)

Cela reflète une spécialisation hémisphérique, au moins partielle, du cortex cérébral. Il est décrit un hémisphère gauche davantage impliqué pour le maintien de l'information verbale alors que l'information visuospatiale serait plus du ressort de l'hémisphère droit (Smith et Jonides, 1999 ; in Li, 2014).

Cette ségrégation domaine-dépendante de l'information semble correspondre aux sous-systèmes du modèle de Baddeley avec la Boucle Phonologique reposant surtout sur l'hémisphère gauche et le Calepin visuospatial à droite.



*Schéma représentant les sous-systèmes du modèle de Baddeley*

(<http://tpe-lamemoirehumaine2014-2015.e-monsite.com/medias/images/buffer-episodique.jpg>)

Au delà de cette idée de latéralisation hémisphérique, les différentes régions impliquées dans le système visuospatial semblent révéler une spécificité à la nature de la tâche à effectuer. Ainsi, le cortex pariétal supérieur droit serait crucial pour les processus de répétition des informations spatiales. Alors que le cortex pariétal inférieur serait spécialisé dans l'aspect mnésique du traitement visuospatial (Levy & Volle, 2007).

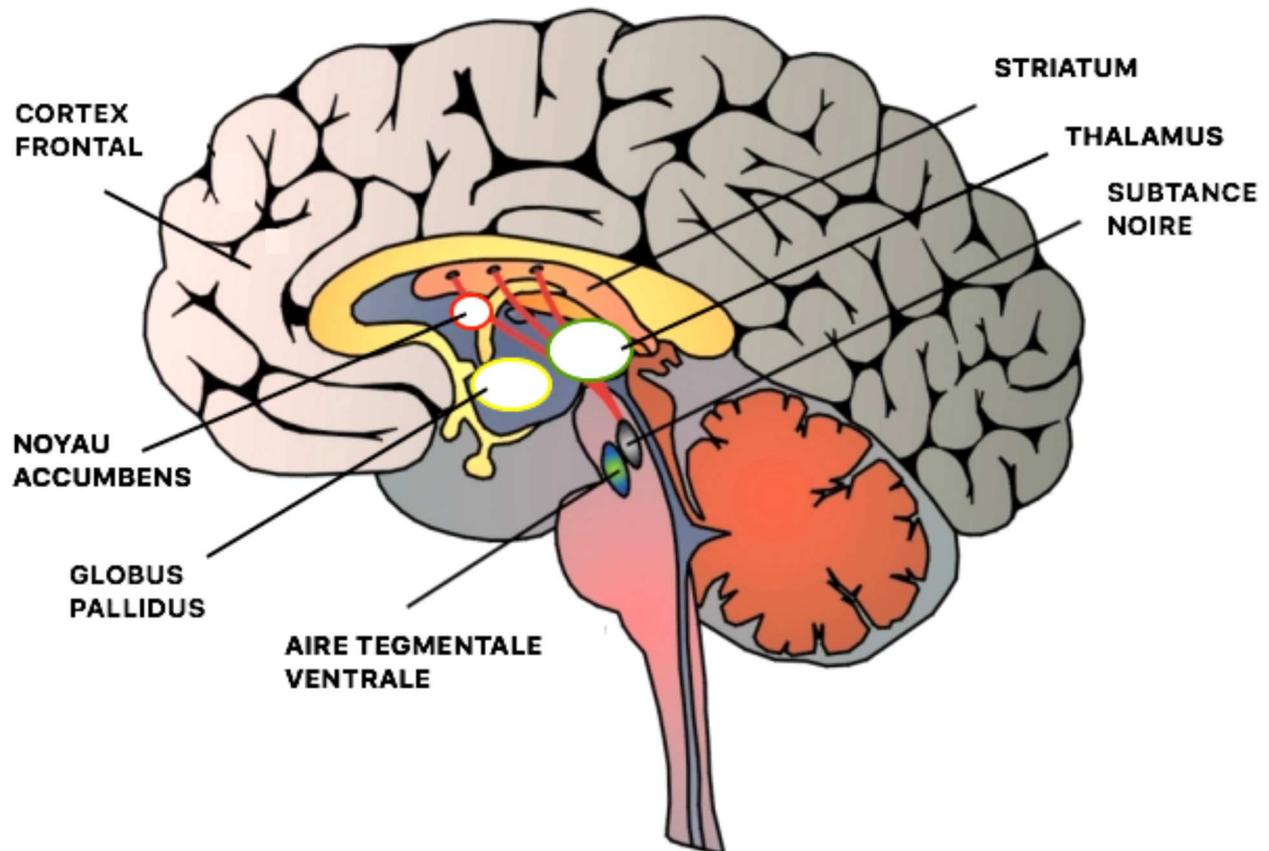
## **b) Principales structures sous-corticales**

### **• Les ganglions de la base :**

Les ganglions de la base (GGB) comprennent un ensemble de noyaux sous-corticaux situés au centre du cerveau humain.

Parmi ces noyaux, on retrouve le striatum regroupant le noyau caudé et le putamen. On parle également du noyau accumbens qui correspond à l'association antérieure du noyau caudé et du putamen.

Le striatum reçoit la majeure partie de ses afférences, en provenance du cortex, du tronc cérébral, du thalamus, le globus pallidus ainsi que deux autres structures liées aux fonctions motrices des GGB : substance noire et noyau sous-thalamiques.



*Schéma montrant la localisation des ganglions de la base sur une vue médiane du cerveau*

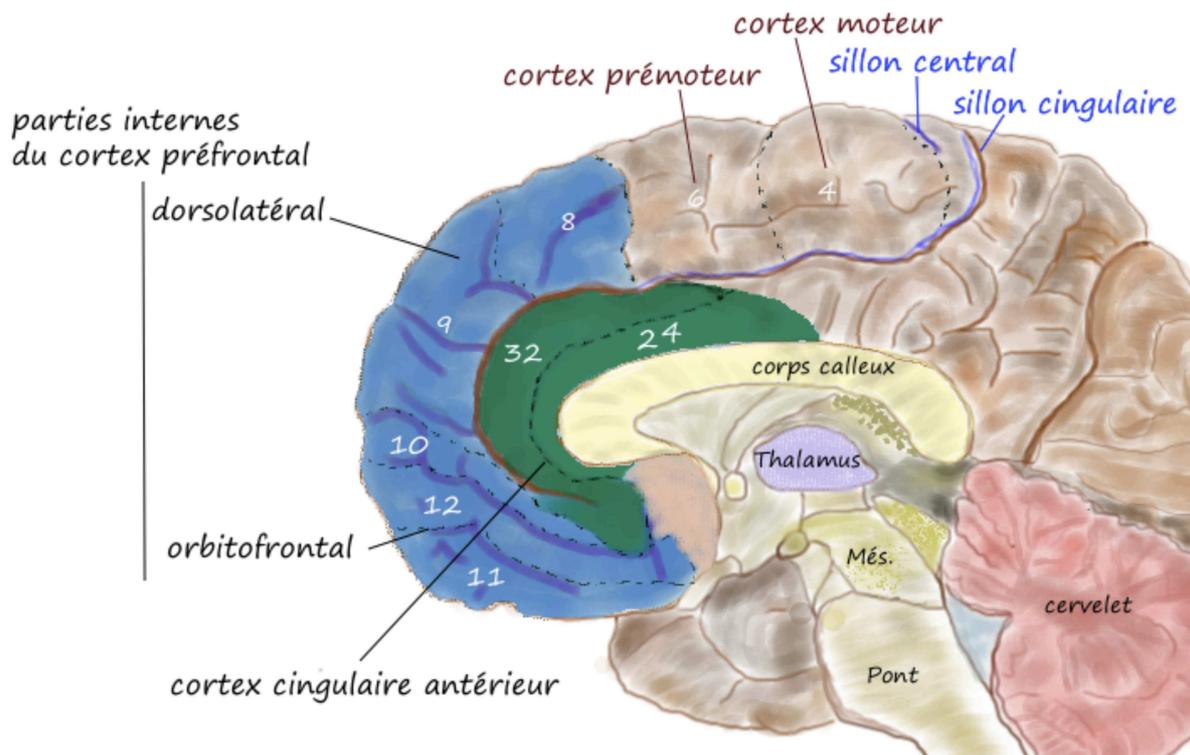
*([http://www.ipubli.inserm.fr/bitstream/handle/10608/4820/Chapitre\\_23.html](http://www.ipubli.inserm.fr/bitstream/handle/10608/4820/Chapitre_23.html) (modifié))*

Ces ganglions de la base interviennent dans des boucles, motrices pour la plupart. Cependant, des boucles non motrices existent en parallèle, impliquant notamment le striatum.

Il s'agit de :

- La boucle exécutive : impliquant le cortex préfrontal dorsolatéral et une partie du noyau caudé. Elle semble avoir un rôle dans l'initiation et l'arrêt des processus cognitifs dont la MT ou l'attention.
- La boucle limbique : impliquant le cortex cingulaire antérieur et le noyau accumbens. Elle joue un rôle majeur dans la régulation émotionnelle.

Il existe alors un axe fronto-striatal, impliqué dans la gestion attentionnelle et exécutive en recrutant notamment le cortex préfrontal dorsolatéral. Il participerait également à la régulation émotionnelle en désactivant certaines régions interférentes comme le cortex cingulaire antérieur ou bien le cortex orbitofrontal.



*Cortex préfrontal sur une vue médiane du cerveau humain*

([https://fr.wikipedia.org/wiki/Cortex\\_pr%C3%A9frontal](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cortex_pr%C3%A9frontal))

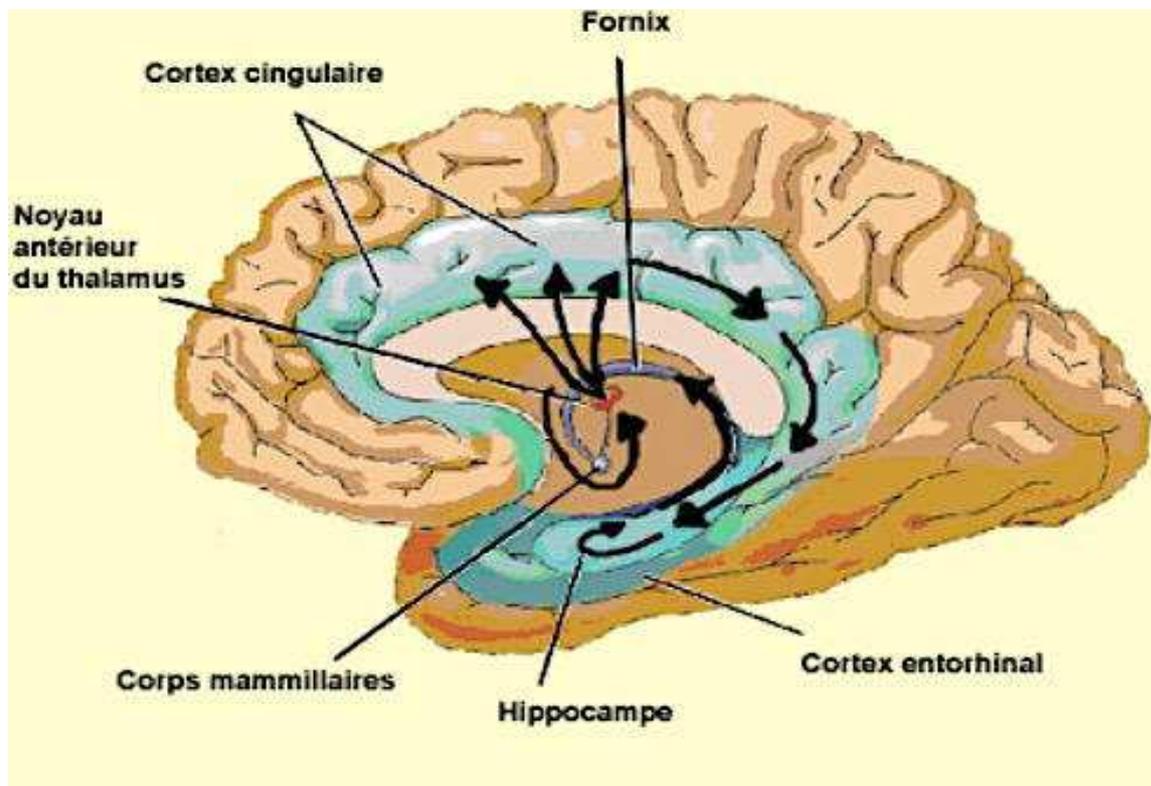
En effet les ganglions de la base et particulièrement le striatum sont impliqués dans des circuits neuronaux cognitifs et affectifs en lien avec la MT.

• **Structures limbiques :**

Le système limbique est composé principalement de l'hippocampe, l'amygdale, le gyrus cingulaire, le fornix, les corps mamillaires, le noyau antérieur du thalamus et le cortex entorhinal.

Le système limbique est reconnu comme ayant un rôle majeur dans le processus de mémorisation, notamment grâce à l'hippocampe lors des étapes d'encodage, de stockage et de récupération de l'information. La formation de souvenirs à long terme

semble dépendre de ce système par l'intermédiaire du circuit de Papez qui est primordial dans l'apprentissage.



*Circuit de Papez et structures impliquées sur une coupe sagittale médiane du cerveau*

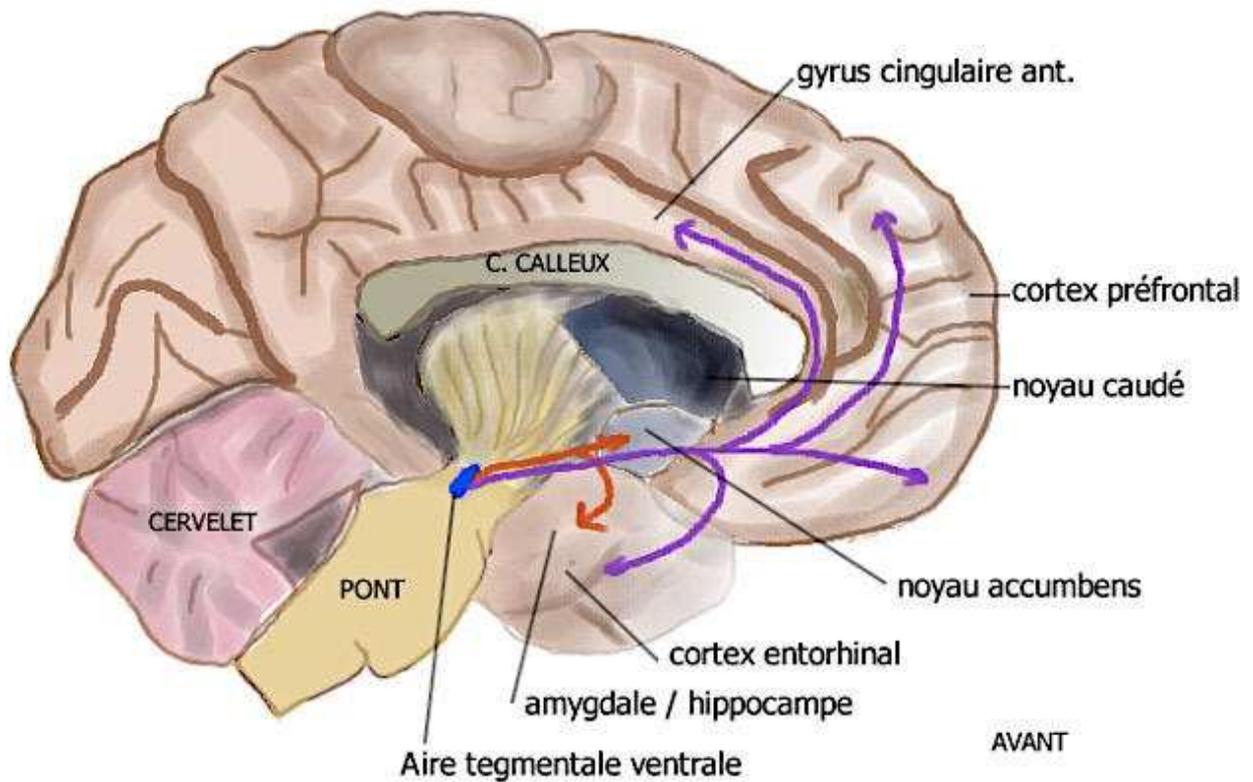
([http://lecerveau.mcgill.ca/flash/a/a\\_07/a\\_07\\_cr/a\\_07\\_cr\\_tra/a\\_07\\_cr\\_tra.html](http://lecerveau.mcgill.ca/flash/a/a_07/a_07_cr/a_07_cr_tra/a_07_cr_tra.html))

Par ses fonctions, le système limbique, et notamment l'hippocampe, va permettre de récupérer des informations engrammées et stockées précédemment pour les réintroduire ultérieurement en MT ou elles pourront être manipulées. En outre, une corrélation entre volume hippocampique et performance en MT a été observée chez des jeunes enfants (Beauchamp et al, 2008).

Par ailleurs, le système limbique intervient dans la régulation des émotions.

Les structures limbiques impliquées dans le réseau de la récompense « voie méso-limbique » ou « voie méso-cortico-limbique » par le biais de l'aire tegmentale ventrale contenant des neurones dopaminergiques.

Cette aire tegmentale ventrale se projette sur les structures limbiques, sur le striatum (via le noyau accumbens) mais aussi sur le cortex préfrontal.



*Voie mésolimbique (en rouge) et voie mésocorticale (en violet), sur une coupe sagittale médiane du cerveau humain.*

*([http://untori2.crihan.fr/unspf/Concours/2013\\_Tours\\_Bras\\_Moreau\\_Alcool/co/Alcool\\_et\\_SNC2.html](http://untori2.crihan.fr/unspf/Concours/2013_Tours_Bras_Moreau_Alcool/co/Alcool_et_SNC2.html))*

Or, ces réseaux de régulation émotionnelle et de récompense ont une influence particulière sur les apprentissages et les capacités de mémorisation.

En effet, la motivation et les affects peuvent impacter sur les performances en MT.

Pochon et al (2002) montrent que l'activité du cortex préfrontal dorsolatéral au cours de tâches de MT semble être modulée par la récompense en jeu. Il propose alors de faire varier la motivation en proposant des récompenses plus ou moins intéressantes pour le sujet testé.

Chez le sujet classique, plus la récompense en jeu est importante, plus l'activité du cortex préfrontal dorsolatéral sera majorée.

## **2) Mémoire de travail et autres fonctions exécutives**

### ***2.1- Définition d'une fonction exécutive***

Le terme fonction exécutive ou fonction supérieure désigne les processus cognitifs permettant au sujet de s'adapter à une situation nouvelle (Van der Linden et al, 2000).

Ces fonctions interviennent donc lors de contextes non routiniers nécessitant l'analyse et le traitement de la situation dans le but de fournir une réponse adaptée. Ainsi, plus une action va être automatisée et moins l'intervention des fonctions exécutives sera requise.

## ***2.2- Mémoire de travail comme fonction exécutive***

La MT est une fonction permettant le maintien actif de plusieurs éléments puis leurs traitements combinés ou isolés.

Les processus cognitifs de la MT permettent de confronter des informations internes stockées en mémoire et des données externes issues de l'environnement. Cette confrontation permet de créer de nouvelles représentations intériorisées au service de l'action pour répondre à une situation précise (Goldman Rakic, 1987).

Bien que la MT représente un pont vers le stockage de l'information à long terme, Baddeley (2000) précise que sa fonction première est orientée vers la réalisation d'une action à court terme.

La MT permet donc d'agir et de répondre à une tâche de manière appropriée.

Cette fonction va avoir un rôle majeur dans les phénomènes de déduction, de raisonnement, en arithmétique ou encore dans la compréhension du langage écrit ou oral.

Elle permet notamment de réorganiser des éléments dans un ordre cohérent (ex : trier des items par ordre de priorité ; assembler des données verbales pour en faire une phrase récapitulative). La MT rend possible le traitement d'informations pour établir un plan et éventuellement le mettre à jour en y incorporant de nouvelles données. Elle permet de faire des liens entre les éléments (Diamond, 2013).

Pour Miyake et al (2000), la MT représente un pilier des fonctions exécutives puisqu'elle permet de garder à l'esprit le but d'une tâche et le contexte dans lequel il faut la réaliser.

De plus, un dysfonctionnement de la MT dans ses qualités de stockage, de manipulation et d'utilisation des données intériorisées à des conséquences pour l'action à réaliser.

Il peut en résulter des difficultés de planification et d'élaboration d'un plan adapté, une distractibilité, une rigidité mentale avec une possible présence de persévérations dans un schéma de réponse erroné.

Ces phénomènes sont caractéristiques d'une altération du cortex préfrontal qui est la pierre angulaire du fonctionnement des fonctions exécutives (Levy et Volle, 2007).

### ***2.3- Développement de la mémoire de travail***

La fonction MT semble adopter un pattern d'évolution particulier.

C'est une fonction qui émerge précocement dans le développement de l'enfant.

Jusqu'à l'âge de 6-7 ans le domaine visuospatial (en référence au calepin visuospatial) prédomine. Les jeunes enfants sont davantage sensibles aux afférences visuelles.

Par la suite, le versant verbal (en référence à la boucle phonologique) ayant une maturation plus tardive va émerger jusqu'à prendre le dessus. L'enfant va devenir plus dépendant des afférences verbales (Pickering, 2001).

L'association entre l'administrateur central et la boucle phonologique semble être véritablement fonctionnelle à partir de 10 ans (Gathercole, Pickering, Ambridge, et Wearing, 2004).

Ainsi Rapport (2008) a montré que les groupes d'enfants âgés de 8 à 12 ans, qu'ils soient diagnostiqués TDA/H ou non, performant tous deux mieux dans la modalité verbale en comparaison avec le visuospatial. Avant cet âge le schéma inverse semble attendu en suivant la trajectoire développementale de la MT.

En somme, la MT émerge tôt dans le développement : par exemple, le nourrisson dès la fin de la première année, sera capable de retrouver la position spatiale exacte d'un objet après un court délai d'attente sans retour visuel. L'objet à retrouver est dissimulé sous l'une des deux cibles identiques présentées à l'enfant. Ce phénomène est possible plus tôt si le délai ne dépasse pas quelques secondes (Diamond 1985).

La MT se développe au cours du temps pour être pleinement fonctionnelle vers l'âge de 13-15 ans (Brocki et Bohlin, 2004).

Elle présente trois phases de développement :

- Une phase visuospatiale dominante
- Une phase mixte
- Une phase verbale dominante

Au cours du développement, les capacités de MT augmentent. Ce phénomène s'illustre classiquement avec un empan mnésique augmentant jusqu'à atteindre le seuil plafond souvent considéré autour de 7 items stockés en mémoire.

Pour Daneman & Carpenter (1980) cette évolution ne correspond pas à une augmentation de la capacité de stockage mais d'une augmentation de l'efficacité du traitement.

Cette efficacité dans le traitement des informations en MT libère l'accès à la logique et au raisonnement.

Gathercole, Brown et Pickering (2003) ont montré qu'une mesure des capacités de MT chez des enfants âgés de 5 ans était corrélée aux capacités scolaires 3 ans plus tard.

De même, Alloway (2010) considère que le niveau de performances en MT serait un excellent prédicteur de réussite scolaire.

#### ***2.4- Mémoire de travail et autres fonctions exécutives***

Diamond (2013) désigne trois fonctions exécutives centrales. Il s'agit de la MT, l'inhibition et enfin la flexibilité mentale qui reposerait en grande partie sur les deux premières.

De plus, des fonctions exécutives dites « composites » découlent de l'association des fonctions exécutives centrales. Parmi elles, on retrouve l'intelligence fluide, la planification ou encore la résolution de problème.

## a) Fonctions exécutives centrales

### • Inhibition et MT :

Pour accomplir une tâche non automatisée nous avons besoin de maintenir en mémoire le but à atteindre et les consignes à respecter pour y parvenir (obligations, interdictions, règles morales).

La MT est la fonction qui se charge de maintenir ces informations accessibles au sujet. Ce processus actif peut ainsi guider le comportement du sujet. Cela se traduit par une réduction du besoin d'inhiber un comportement non désiré lors d'une tâche (Diamond, 2013).

Inversement le fait de maintenir des informations en mémoire et de les traiter (ex : ne plus utiliser une information devenue inutile) peut nécessiter l'intervention d'un processus inhibiteur.

Le contrôle de l'inhibition va réguler l'effet négatif des distracteurs internes ou externes.

Diamond & Wright (2014) ont étudié l'impact d'une demande d'inhibition lors de la réalisation d'une tâche de MT visuospatiale chez des enfants.

Deux situations sont proposées à chaque sujet expérimenté. Dans le premier cas la réponse à fournir est congruente avec la réponse survenant spontanément. Dans le second cas, la réponse correcte ne correspond pas à la réponse spontanée. Cette deuxième situation fait donc intervenir des processus d'inhibition. Les données à stocker en MT restent constantes.

L'étude montre que le processus d'inhibition perturbe la performance sur la tâche de MT. Ces résultats s'observent indépendamment de l'ordre de présentation des deux tâches pour éviter toute différence due à l'ordre de passation.

Le fait que l'unique augmentation de la demande aux processus d'inhibition perturbe une réalisation de tâche de MT, suggère une certaine interdépendance de ces deux fonctions supérieures.

Toutefois, au quotidien les situations faisant appel à l'une seule de ces deux fonctions sont rares.

- **Flexibilité mentale et MT :**

La flexibilité mentale est une fonction supérieure permettant l'adaptation du sujet à une situation en étant capable de générer différentes façons de penser ou points de vue.

En pratique cela peut s'illustrer par la capacité à changer les règles d'un jeu, suivre un plan alternatif ou encore à imaginer ce que l'autre perçoit depuis sa place.

C'est une fonction essentielle permettant l'adaptation en faisant face aux imprévus.

La flexibilité mentale permet de passer d'une tâche à une autre de manière opérationnelle, ce qui serait compromis en présence d'une rigidité cognitive. De plus cette fonction soutient la créativité.

Ce processus cognitif semble intimement lié aux fonctions de MT et d'inhibition.

En effet, pour être efficiente la flexibilité mentale nécessite d'inhiber des informations non pertinentes tout en maintenant et traitant de nouvelles informations en MT (Diamond, 2013).

En modifiant les règles d'un jeu, le sujet va avoir besoin de filtrer les anciennes règles pour ne plus les appliquer mais aussi de stocker et traiter en MT les nouvelles règles pour jouer.

## **b) Fonctions exécutives « composites »**

- **L'intelligence fluide :**

L'intelligence fluide correspond à la capacité du sujet à fournir un raisonnement cohérent.

Cette fonction intervient notamment dans la mise en place de stratégies ou dans le phénomène de mise en relation entre des éléments. L'intelligence fluide permet de reconnaître et prélever des éléments saillants issus de différents contextes pour créer un nouvel ensemble qui sera pertinent dans la situation présente.

L'implication de la MT dans les processus d'intelligence fluide semble évidente pour répondre au besoin de stocker et manipuler différentes données afin de les recombinaer sous une forme unifiée (Diamond, 2013).

- **La planification :**

La planification est une fonction permettant d'anticiper et organiser une réponse dans le but de réaliser une action.

Elle permet donc de mettre en place au préalable une stratégie adaptée puis de l'appliquer en suivant par exemple la séquence de mouvements programmée.

L'épreuve de la Tour de Londres (Shallice, 1982) permet de mesurer les capacités de planification. Lors de cette épreuve le sujet doit déplacer des billes pour les arranger dans une position finale. Il faut planifier les déplacements de billes car ceux-ci sont limités.

- **La résolution de problème :**

La résolution de problème intervient dans une situation où le sujet doit mettre en place une stratégie pour faire face à une situation incongrue dont la solution n'est donc pas automatique.

Ce processus nécessite de déterminer la nature du problème à résoudre et les éléments pertinents du contexte dans lequel il survient.

Le sujet doit générer une ou plusieurs solutions possibles puis les exécuter et juger de l'efficacité ou non de la solution choisie.

Ces fonctions « composites » entretiennent un lien étroit avec les fonctions exécutives centrales.

En effet la MT a un rôle majeur à jouer pour permettre au sujet de maintenir accessible le but de l'action et les règles, tout en actualisant les données. De même les processus inhibiteurs sont indispensables pour éviter les réponses automatiques ou les distracteurs. Enfin la flexibilité mentale va intervenir pour éviter au sujet un phénomène de persévération en permettant de générer des réponses différentes.

Ces diverses fonctions exécutives ont un caractère mixte. Elles sont à la fois dépendantes mais agissent en synergie. Elles sont fondamentales pour l'adaptabilité du sujet. On peut s'interroger sur l'efficacité de ces fonctions dans le TDA/H. Après un rappel théorique sur ce trouble, nous nous focaliserons sur la hiérarchisation de ces fonctions au sein de modèles explicatifs du trouble.

## ***BJ LE TROUBLE DEFICIT DE L'ATTENTION AVEC OU SANS HYPERACTIVITE (TDA/H)***

### **I°) Présentation de la pathologie**

Le TDA/H est considéré par le DSM-5 comme un trouble neurodéveloppemental. Le terme neurodéveloppemental désigne un retard ou défaut de développement du cerveau. Il en résulte un dysfonctionnement cérébral ayant des répercussions parfois précoces sur les possibilités d'adaptation du sujet.

La prévalence de ce trouble serait de 5-6% selon une large méta-analyse internationale de Polanczyk (2007).

Le TDA/H repose sur trois critères observables, formant une triade symptomatique. Il s'agit de l'inattention, l'impulsivité et l'hyperactivité. Ces caractéristiques peuvent s'exprimer selon différentes intensités.

Au sein même du trouble, l'ensemble des composantes de la triade coexistent. Chacune d'entre elles va s'exprimer à un certain degré. L'ensemble donne alors un aspect dimensionnel propre au sujet.

Cette dimension pouvant être plus sur le versant inattentif, hyperactif/impulsivité ou plutôt mixte. Par ailleurs, cet aspect peut évoluer avec l'âge. En effet, Barkley (2002) montre que pour des sujets TDA/H enfants, appartenant au type mixte en référence au DSM-IV, l'évolution vers une forme inattentive prédominante opère pour 27% des adolescents remplissant toujours les critères du TDA/H.

Ainsi le versant hyperactif/impulsif prédominant concerne majoritairement les enfants d'âge préscolaire. La forme mixte, les enfants d'âge scolaire.

Enfin la tendance du trouble est d'évoluer vers une forme inattentive à l'adolescence et l'âge adulte (Lahey, 2010).

Ces observations soulignent le caractère développemental du trouble.

Par contre, la stabilité du diagnostic au cours du temps semble élevée. Sur une étude longitudinale suivant sur 10 années une cohorte de garçons diagnostiqués TDA/H, 78% d'entre eux, en fin d'adolescence ou début d'âge adulte continuent à exprimer une gêne fonctionnelle qu'ils remplissent ou non la totalité des critères du DSM-IV (Biederman, 2010).

## **II°) La triade symptomatique**

### **1) L'inattention**

L'inattention résulte d'une distractibilité importante. En effet, les sujets TDA/H vont avoir des difficultés à filtrer les stimuli extérieurs leurs parvenant. De ce fait, ils se trouveront davantage pollués par des éléments distrayeurs, non pertinents pour l'activité en cours.

Le DSM-5 précise l'existence d'une pollution également interne, avec une interférence importante due aux pensées parasites.

L'ensemble de ces distrayeurs internes et externes va compromettre la réalisation d'une tâche. Cette dernière pourra alors être avortée, bâclée ou bien remplacée prématurément par une autre activité.

En somme la qualité de travail va en pâtir avec une performance moindre. L'activité peut également s'éterniser face à la tendance à papillonner des sujets TDA/H. Cela s'illustre par des oublis fréquents dans leur quotidien.

### **2) L'impulsivité**

Le sujet TDA/H va connaître des difficultés à suivre un raisonnement structuré. Le laps de temps normalement alloué à l'analyse d'une situation et à la programmation d'une réponse va être fortement réduit. Les choix et les solutions proposés vont alors parfois manquer de cohérence.

En pratique, le sujet TDA/H a une tendance à donner des réponses hâtives, sans avoir la totalité de l'énoncé de la question, ce qui peut impacter sur les résultats

scolaires. Le fait d'interrompre l'interlocuteur en lui coupant la parole peut également avoir un retentissement social.

L'impulsivité peut être cognitive ou encore motrice avec des gestes brusques, non contrôlés, une tendance à être dans la manipulation d'objets sans avoir défini d'objectif au préalable.

### **3) L'hyperactivité**

L'hyperactivité décrit une instabilité motrice, le fait d'être sur la brèche « un sentiment subjectif d'impatience motrice » (Bange, 2014).

Les sujets TDA/H vont être plus réticents face aux activités nécessitant une certaine quiétude et immobilité.

Cette tendance à être constamment en mouvement, à parler beaucoup, peut perturber la réalisation d'une action. Cela peut entraver la possibilité de sélection des informations les plus saillantes pour la tâche. Il y a également cette propension à entreprendre de nouvelles activités sans avoir terminé la précédente. Le sujet TDA/H peut donner l'impression d'être « boulimique d'activité ».

Cela peut également compromettre l'établissement de bonnes relations sociales. L'hyperactivité peut être mal supportée par l'entourage et ainsi devenir une source de souffrance sociale menant parfois à un rejet des pairs.

Ces échecs, à la fois dans la relation et dans les activités entreprises, peuvent causer une détérioration de l'estime de soi (Moret, 2013).

## **III°) Dysfonctionnement exécutif dans le TDA/H**

### **1) Fonctions exécutives altérées chez le sujet TDA/H**

Les capacités cognitives des sujets TDA/H se situent classiquement dans la norme malgré la symptomatologie (Goodman, 1995 ; in Barkley, 2014). Seulement, les difficultés en lien avec les fonctions exécutives vont limiter les possibilités d'adaptation du sujet à son environnement mais aussi perturber l'action et les apprentissages.

Cependant ce déficit n'est pas propre à cette pathologie. Il peut s'observer dans d'autres troubles chez l'enfant (Barkley, 2014).

Bange et Vieyra (2014) critiquent la faible considération du déficit des fonctions exécutives parmi les critères diagnostiques du DSM-5.

L'existence de difficultés au niveau de ces fonctions dites « supérieures » chez le sujet TDA/H est pourtant souvent rapportée par la littérature scientifique et décrite au sein des modèles explicatifs de la pathologie (Barkley, (1997) ; Sonuga-Barke, (2002) ; Castellanos et Tannock, (2002) ; Schachar et al, (2000)).

La méta-analyse de Willcutt (2005) montre qu'un dysfonctionnement exécutif touchant des fonctions telles que la MT, l'inhibition, la planification sont régulièrement objectivables chez les patients TDA/H. Cela confirme l'importance de ce type de déficit dans le tableau sémiologique du trouble.

Par contre, en confrontant les études, la comparaison des performances obtenues entre les sujets TDA/H et des témoins ne s'avère être que peu significative ( $d = 0,40-0,60$ ).

NB : • La méta-analyse regroupe une grande quantité d'études portant sur le sujet permettant de confronter l'ensemble des résultats obtenus.

• La taille d'effet représenté par la lettre "d" permet de juger si la performance obtenue par le groupe TDA/H est significativement différente de celle obtenue par les sujets témoins. Par convention  $d > 0,60$  désigne une taille d'effet véritablement significative.

De même, Coghill (2014) compare une cohorte d'enfants TDA/H sans médication avec des sujets sains sur un ensemble de domaines neuropsychologiques dont :

- La mémoire de travail :  $d = 0,91$  (30,1%)
- L'inhibition :  $d = 0,61$  (22,9%)
- L'aversion pour le délai :  $d = 0,82$  (36,1%)
- La prise de décision :  $d = 0,55$  (20,5%)
- Le timing :  $d = 0,71$  (31,3%)

- La variabilité dans les réponses :  $d = 0,37$  (18,1%)

NB : Le % présenté entre parenthèses correspond à la proportion de sujet TDA/H présentant un réel déficit dans le domaine évalué.

Les résultats montrent que le groupe TDA/H performe significativement moins bien sur l'ensemble des domaines évalués. Cependant, les chiffres indiquent que seule une partie des sujets TDA/H seraient responsables des différences intergroupes mesurées.

Le TDA/H est associé à un large panel de déficits cognitifs, seulement aucun d'entre eux n'est requis pour la pose du diagnostic.

En outre, un quart de la cohorte TDA/H n'obtient aucun score déficitaire sur l'ensemble des six domaines neuropsychologiques évalués.

Ces observations suggèrent une véritable hétérogénéité dans l'expression du trouble.

Une faiblesse des fonctions exécutives est bien réelle chez des sujets TDA/H en les comparants avec des sujets témoins. Seulement, ce déficit ne s'objective aux tests que chez une partie d'entre eux.

Ainsi les liens entre fonctionnement cognitif et symptômes du TDA/H ne sont pas toujours corroborés par les études et difficilement expliqués (Coghill et al, 2013). Pour illustrer cette complexité du lien entre fonction cognitive et symptomatologie Coghill (2007) montre qu'une médication par méthylphénidate peut avoir des effets positifs plutôt sur le fonctionnement cognitif chez un patient et peu sur les symptômes alors qu'un autre patient peut présenter le pattern inverse.

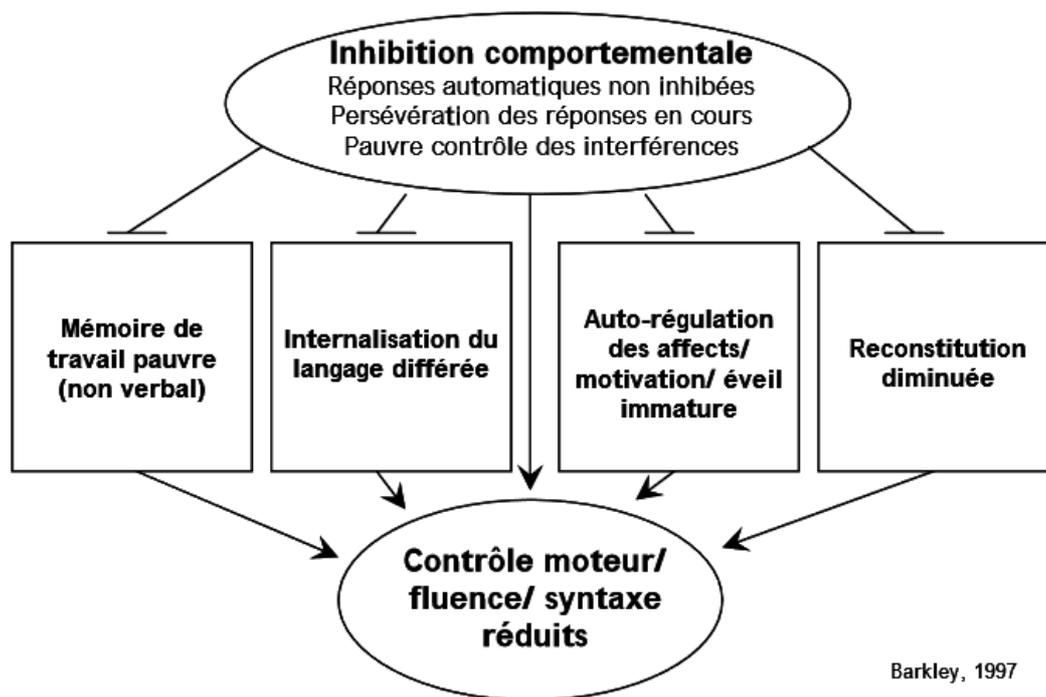
Cela pointe une limite importante de la prise en charge médicamenteuse seule chez un patient TDA/H et l'importance d'adapter sa prise en charge psychomotrice aux besoins spécifique du patient.

Les parties suivantes concernent la présentation de deux modèles explicatifs des difficultés rencontrées par les sujets TDA/H. Les deux auteurs, Barkley (1997) et

Rapport (2001) ne hiérarchisent pas la fonction MT de façon similaire pour tenter d'expliquer le déficit exécutif retrouvé chez des sujets TDA/H.

Toutefois, on notera, dans un cas comme l'autre, l'importance accordée à cette fonction.

## 2) Le modèle de Barkley (1997)



Schématisation du modèle hybride de Barkley (1997)

(<http://p0.storage.canalblog.com/06/31/1204237/97769877.png>)

Dans la théorie de Barkley (1997), les enfants TDA/H présentent une pauvreté d'inhibition comportementale.

Cette inhibition comportementale se caractérise par trois processus : l'inhibition de la réaction préalable, l'interruption de la réponse en cours et le contrôle d'interférence Nigg (2001) montre qu'une faible capacité d'inhibition motrice est tout particulièrement associée au TDA/H.

En pratique, cela s'illustre de manière significative lors des tâches dites de Go-No-Go (Pennington et al, 1996 ; in Castellanos et al, (2006)). Ce type de tâche implique

de pouvoir, soit réaliser une action, ou bien se retenir de la réaliser en fonction de la nature du stimulus présenté.

Ainsi l'inhibition comportementale est une fonction supérieure fondamentale. Une atteinte de cette fonction génère alors des difficultés en cascade pour d'autres fonctions exécutives comme la MT ou la résolution de problème.

Dans son modèle, Barkley (1997) décrit quatre fonctions altérées secondairement au défaut d'inhibition comportementale. On remarquera que la MT bien que située à un second plan demeure particulièrement présente.

Parmi les fonctions altérées nous retrouvons :

- **L'Autorégulation des affects, de la motivation et de l'activation :**

L'impact du défaut d'inhibition sur cette fonction va se situer au niveau des possibilités de gestion émotionnelle mais aussi sur la régulation de la motivation et de l'éveil de l'enfant lors d'une tâche.

Les enfants TDA/H présentent une difficulté à anticiper la réaction émotionnelle que va générer une situation. En conséquence, ils vont être dans une immédiateté de leur réponse émotionnelle qui sera parfois vive et/ou inadaptée.

La difficulté dans la régulation de la motivation et de l'éveil va pousser l'enfant à être dans la recherche perpétuelle de gratifications externes. Les situations proposant une gratification différée dans le temps, imposent une motivation interne (auto-renforcements). Elles vont alors être perçues comme coûteuses (Albaret, 2005). Ainsi, ces tâches seront rapidement abandonnées ou fuies par l'enfant TDA/H.

- **La reconstitution :**

La reconstitution est une fonction permettant de faire l'analyse et la synthèse d'un comportement. Cela implique de percevoir et traiter les informations issues d'une situation pour les combiner sous forme de séquences. La manipulation et l'association de ces différentes séquences permettent alors de s'adapter face à des situations problématiques nouvelles de l'environnement.

On voit ici que les processus accordés à la MT sont fortement sollicités (Barkley, 1997).

La reconstitution concerne à la fois le verbal et le non verbal dans le but d'obtenir une certaine fluence (caractère de l'aisance et de la rapidité dans la production et le maniement des idées, des mots ou des comportements).

En somme, cette fonction de reconstitution concerne les possibilités de créativité et de flexibilité, indispensables face au changement constant de l'environnement.

Chez le sujet TDA/H, cette possibilité d'analyse et de synthèse d'un comportement se trouve très souvent altérée. Ne pouvant générer suffisamment de solutions, un phénomène de persévération peut apparaître lors d'une tentative de résolution d'un problème.

- **L'internalisation du discours :**

L'internalisation du discours va permettre au sujet d'analyser et de décrire une situation. Ce discours dirigé vers soi ou soliloque est un élément clé de la réflexion. Il va être essentiel dans l'intégration de règles (instructions ou règles morales) mais aussi dans la régulation du comportement.

Ainsi, ce langage égocentrique permet une description et une réflexion préalable face à une situation pour fournir dans un second temps, la réponse la plus adaptée possible (Albaret, 2006).

Un déficit d'internalisation du discours va donc limiter les possibilités de planification, de résolution de problèmes et de régulation de comportement.

Or, chez le sujet TDA/H, ce soliloque va souvent être immature et se montrer moins efficace dans le contrôle de l'activité motrice (Berk et Potts, 1991).

Ce processus d'internalisation du langage est en lien étroit avec le système de la boucle phonologique du modèle de MT (Baddeley, 1974).

- **Déficit de la mémoire de travail (non-verbal) :**

Barkley décrit un déficit en MT non-verbale secondaire au défaut d'inhibition comportementale.

Ce déficit en MT non-verbal va avoir des répercussions diverses :

Le sens du temps va être perturbé, Barkley (2001) parle de « myopie temporelle ».

En effet les sujets TDA/H présentent un déficit dans la perception temporelle. Aussi

bien dans l'estimation de temps qui passe (surévaluation) ou dans la discrimination temporelle. Les sujets TDA/H vont avoir du mal à accéder aux fonctions de retour dans le passé (rétrospection) ou vers le futur (prospection) qui nécessitent une représentation mentale et un traitement de l'information. Ils développent alors une certaine dépendance à l'immédiateté (Barkley, 1997).

Cette difficulté à stocker et intégrer les éléments du passé et du présent pour les réutiliser plus tard pose problème au sujet TDA/H. Les possibilités d'anticipation sont réduites face à une organisation temporelle inefficace.

De même, le lien entre action et conséquence peut être difficilement perçu. Cela est d'autant plus vrai que le délai séparant un comportement et sa conséquence augmente.

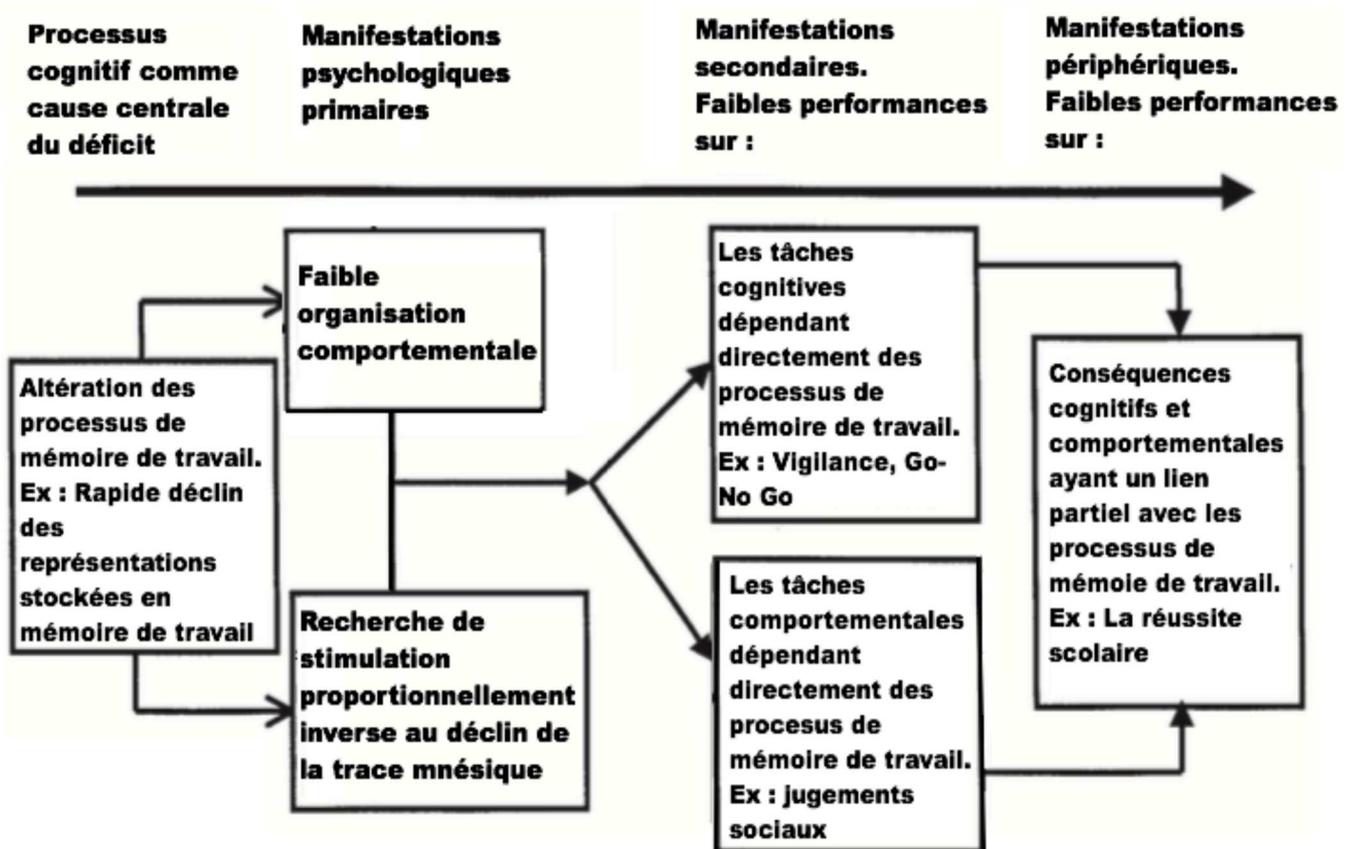
L'imitation est également impactée par ce déficit de MT. La reproduction d'une séquence comportementale fait appel aux processus de stockage, d'intégration et de répétition de l'information. La planification et l'exécution d'une séquence motrice se trouvent alors désorganisées.

De plus les sujets TDA/H vont davantage souffrir des interférences internes ou externes. Ces distracteurs peuvent alors écarter le sujet de la tâche en cours. La rétention d'une information non pertinente peut également contribuer à l'apparition de persévérations par la répétition d'une réponse incorrecte.

En somme la MT pauvre chez les TDA/H va représenter une gêne dans le déroulement d'une action en suivant un but.

Le déficit en MT non-verbal se trouve négativement corrélé avec l'augmentation de la complexité de la tâche (ex : imiter une séquence motrice complexe ou manipuler du matériel tout en le mémorisant) ou du délai de stockage de l'information avant restitution (Barkley, 2014).

### 3) Présentation du modèle de Rapport (2001)



Schématisation des difficultés comportementales et cognitives chez des sujets

TDA/H : traduction du modèle de Rapport (2001)

(Journal of Clinical Child Psychology – Special Edition, 30, 48–58.)

Rapport (2001) conceptualise son modèle de MT en différenciant divers niveaux d'expressions phénotypiques du TDA/H : un déficit central, des manifestations primaires, secondaires et périphériques.

Ici, le déficit central au sein du TDA/H correspond à l'altération de la fonction MT.

La MT joue un rôle central dans ce modèle pour trois raisons :

- Elle permet de générer et maintenir une représentation des informations arrivants.
- Elle contribue à la recherche et à la réutilisation de données stockées en mémoire qui seront pertinentes pour une situation précise.

- Elle permet d'accéder à la représentation intériorisée de réponses comportementales concordantes à la situation rencontrée. Les possibles réponses sont alors maintenues en mémoire pour agir dans un second temps.

Ce déficit cognitif central serait la cause d'un ou plusieurs substrats neurobiologiques.

Le dysfonctionnement de MT serait à son tour la cause de manifestations dites primaires.

Parmi ces manifestations primaires, on retrouve une désorganisation comportementale. Ce phénomène s'observe par des réponses inadaptées. Une MT inefficace limite la possibilité de maintenir une représentation en MT. Rapport (2001) fait l'hypothèse que les sujets TDA/H compensent ce déclin rapide de la trace mnésique en adoptant des comportements générant constamment de nouvelles stimulations.

En pratique ces phénomènes peuvent expliquer les conduites inattentives du sujet, en lien avec la difficulté à focaliser son attention sur une cible alors que le sujet est en recherche de nouvelles stimulations.

La disparition de la trace mnésique peut également expliquer la présence de conduites impulsives. Le sujet aura tendance à répondre de manière hâtive avant que la totalité des informations soutenant l'action disparaissent. Les répercussions peuvent également toucher la fréquence selon laquelle les comportements sont réalisés, en lien avec l'aspect hyperactif du trouble. En outre, les situations complexes (trop coûteuse pour les processus de MT) ou monotones (générant trop peu de nouvelles afférences en MT) peuvent être évitées, ou mener à des conduites inattentives, hyperactives et impulsives.

Ainsi la triade symptomatique, inattention, hyperactivité-impulsivité serait en réalité la résultante d'un déficit en MT (Rapport et Denney, 2000).

Cela a pour conséquences, l'augmentation de l'éveil et du niveau d'activité motrice dans le but de pouvoir répondre à la demande d'une tâche en cours. L'évolution symptomatique du TDA/H se ferait alors en parallèle de la maturation de la fonction MT ou de l'apprentissage de stratégies cognitives compensatoires (Rapport et al, 2008).

Les manifestations secondaires du déficit de MT chez le sujet TDA/H vont concerner les performances réduites sur des tâches impliquant directement la MT quelles soient de nature cognitives ou comportementales. Cette manifestation secondaire va s'objectiver notamment sur les épreuves d'évaluation de la MT pouvant être moins bien réussies par les sujets TDA/H que les sujets classiques.

Les manifestations périphériques désignent les domaines dans lesquels le sujet TDA/H peut se trouver en difficulté. Cette perturbation est à mettre en lien partiellement avec le déficit de MT. C'est par exemple le cas des difficultés dans les apprentissages académiques. Mayes et al (2000) montrent que 70% des enfants TDA/H présentent des difficultés dans les apprentissages à l'oral, en lecture, en mathématiques et en écriture. Le TDA/H, à mettre en lien avec un probable déficit en MT, majore les difficultés.

## ***CJ LA MEMOIRE DE TRAVAIL DANS LE TDA/H***

### **I°) Corrélats neuroanatomiques entre TDA/H et déficit de mémoire travail**

Dans le cadre du TDA/H, les études ciblent essentiellement les régions frontales et particulièrement préfrontales en raison des similitudes de fonctionnement retrouvées avec des patients présentant des lésions à ce niveau. C'est à dire un déficit d'inhibition motrice ou cognitive, des difficultés attentionnelles ou encore des dysfonctionnements exécutifs. Autant de manifestations étant fréquentes chez les sujets TDA/H (Edmond et al, 2009).

Rappelons que le cortex préfrontal regroupe trois structures importantes :

- Le cortex préfrontal ventral et médian en lien avec l'inhibition comportementale, la prise de décision et tous les aspects motivationnels.
- Le cortex préfrontal dorsolatéral support des fonctions cognitives supérieures telles que la MT, la flexibilité mentale, le raisonnement ou la planification.

- Le cortex cingulaire dans sa partie antérieure notamment va avoir un rôle majeur dans les processus attentionnels comme l'inhibition d'une réponse, la sélection d'une réponse ou la détection d'erreur.

L'imagerie par résonance magnétique a permis de montrer une diminution du volume de certaines structures cérébrales chez des enfants TDA/H. Parmi elles, ont été identifiés : les régions préfrontales droites, le striatum, et le corps calleux (Durstun, 2003 ; Bush, 2005) mais aussi au niveau du cortex cingulaire (Makris, 2010) ; Mahone, 2011) ou bien du cervelet (Castellanos et al, 2002). Précisons que le corps calleux à un rôle majeur dans la transmission interhémisphérique. Le cervelet sert de coprocesseur en assurant la rapidité et l'efficacité de traitement d'un signal.

Shaw (2011) a montré que le développement de l'épaisseur corticale au niveau des régions préfrontales serait retardé chez les enfants présentant un TDA/H. Ce retard de développement semble être corrélé avec le degré de sévérité du trouble.

L'étude longitudinale de Proal et al (2007) a suivi des sujets diagnostiqués TDA/H dans l'enfance pendant une période de trente trois ans. Les résultats suggèrent que les différences morphologiques vont persister chez les adultes remplissant toujours les critères du TDA/H. Pour les autres, les différences tendent à s'atténuer.

Ces différentes études suggèrent que ces anomalies structurales au niveau cérébral sont à l'origine des dysfonctionnements neuropsychologiques observés chez les sujets présentant un TDA/H.

En particulier les régions préfrontales et le striatum qui forment, nous l'avons vu, des boucles fronto-striatales en lien avec le fonctionnement exécutif et notamment la MT.

Bollman (2015) compare les patrons d'activités préfrontales et frontostriatales chez des sujets TDA/H enfants et adultes mais aussi avec des sujets témoins de même âge.

Il propose la même tâche de MT visuospatiale à l'ensemble des sujets lors de laquelle ils doivent retenir les positions exactes d'une cible. Celle-ci sera présentée consécutivement sur 2 à 4 positions (pour faire varier la charge cognitive) différentes

parmi 11 possibles. Le sujet testé doit mémoriser et retrouver ces différentes positions après un temps d'attente de quelques secondes.

En comparaison avec les sujets témoins, le groupe TDA/H montre une hausse de l'activité cérébrale pariétale et frontostriatale moins élevée lorsque la charge cognitive augmente.

Les sujets TDA/H plus jeunes présentent eux une diminution de l'activité préfrontale alors que la charge cognitive augmente.

Les différences observées entre les groupes en fonction de l'âge se manifestent essentiellement dans la région préfrontale. Cela reflèterait un retard de maturation et le besoin de compensation.

Ces résultats suggèrent une plus faible activité préfrontale mais aussi striatale lors de la réalisation de tâches cognitives chez les sujets TDA/H.

Rubia (1999) parle d'hypofrontalité chez le TDA/H qui est un phénomène corroboré par de nombreuses études (Wolf, 2009 ; Bush, 2002).

Ainsi, d'un point de vue neuro-anatomique, Burgess et al (2010) défendent l'hypothèse que les difficultés de MT sont en lien avec une baisse de l'activité du cortex préfrontal.

A contrario, des études objectivent une hyperactivité préfrontale.

Bédard (2014) montre que sur une épreuve de MT visuospatial lors de laquelle les sujets doivent retrouver la position qu'avait une cible présentée n-coup en arrière, les enfants TDA/H comme les témoins présenteraient une activation fronto-pariétale suggérant qu'ils ont recours aux mêmes processus de stockage et de traitement des informations visuospatiales.

Seulement, avec l'augmentation de la charge cognitive, les sujets TDA/H vont activer le cortex préfrontal dorsolatéral de manière bilatérale alors que les témoins vont limiter l'activité au côté droit.

Cette hausse d'activité préfrontale chez les enfants TDA/H pourrait être la conséquence d'une moindre efficacité du cortex préfrontal pour résoudre cette tâche de MT visuospatiale.

Ainsi, le sujet TDA/H aurait besoin de fournir des efforts supplémentaires pour accomplir cette tâche cognitive qui se manifeste par l'activation cérébrale de régions moins spécifiques.

De même, lors d'une tâche de type Go-No-Go où l'enfant doit presser un bouton à chaque fois qu'une lettre s'affiche à l'écran, sauf s'il s'agit d'un « X », le jeune TDA/H va présenter une activation frontostriatale différente d'un sujet classique.

Ce type de tâche est classiquement soutenu par le circuit frontostriatal ventral et le cortex cingulaire antérieur. Le sujet TDA/H va activer significativement moins ces régions (Berquin et al, 1998).

Pour le groupe TDA/H, l'activation va être plus diffuse en recrutant des régions davantage postérieures et le cortex préfrontal dorsolatéral.

L'activité accrue du cortex préfrontal dorsolatéral permet de faire l'hypothèse d'un recrutement excessif de la MT et les régions plus postérieures d'un besoin supérieur de vigilance pour réaliser la tâche.

Ces observations suggèrent un retard de maturation de certaines structures frontales et striatales normalement impliquées pour la tâche, à l'origine de difficultés dans le contrôle cognitif. Le sujet TDA/H compenserait en activant des régions cérébrales supplémentaires.

Fassbender (2011) examine les régions impliquées lors de différentes tâches de MT en comparant un groupe TDA/H et un groupe témoin.

Les régions inhérentes à la MT sont activées chez les deux groupes. L'étude n'objective pas de différence significative dans le niveau d'activité d'un groupe à l'autre, excepté pour le gyrus frontal moyen gauche qui se révèle être hypoactif chez le TDA/H en comparaison avec les témoins. Cette zone appartenant au cortex préfrontal latéral gauche concerne des phénomènes liés au processus de MT : le stockage du but et des règles d'une tâche, le maintien sur une tâche et le rétablissement d'un processus attentionnel.

Par contre, le groupe TDA/H présente un patron d'activité plus étendu lors de la tâche de MT. Cela suggère un manque de spécificité dans l'activité neuronale.

Ainsi, la littérature ne permet pas de trancher entre une hypoactivité ou hyperactivité des régions préfrontales et striatales chez le sujet TDA/H.

Toutefois l'ensemble des données convergent sur quelques points essentiels.

Un défaut de maturation des structures cérébrales semble être à l'origine des difficultés exécutives.

Une anomalie développementale peut expliquer le manque d'activité cérébrale ou bien le besoin de compenser le manque d'efficacité des régions normalement impliquées en activant d'autres zones.

De plus, des études de neuro-imagerie chez le TDA/H soutiennent l'idée d'un manque de spécificité de l'activation cérébrale par rapport à la tâche cognitive à effectuer. Ainsi, les TDAH semblent utiliser des circuits neuronaux alternatifs pour résoudre des tâches de MT (Schweitzer, 2000).

Cette activité diffuse peut laisser supposer que des tâches non spécifiques peuvent également venir saturer les zones normalement réservées à la MT.

La maturation de ces structures cérébrales au cours du temps, peut rendre compte de l'évolution de la symptomatologie présentée par les sujets TDA/H avec l'avancée en âge (Bush, 2005).

Les anomalies morphologiques et fonctionnelles plus ou moins marquée sur telle ou telle structure pourraient être un facteur explicatif de l'hétérogénéité du trouble chez des sujets de même âge (Seidman et al, 2004).

## **II°) Manifestations d'un déficit de mémoire de travail chez le TDA/H**

### **1) Mise en évidence d'un déficit de mémoire de travail dans le TDA/H**

Les études portant sur les difficultés en MT chez les sujets TDA/H montrent des résultats disparates.

On peut alors s'interroger sur la place occupée par le déficit en MT au sein du trouble.

A savoir d'une part, s'il s'agit d'un déficit central, d'autre part connaître le degré de spécificité de ces difficultés observées dans le TDA/H.

D'une manière générale, la MT non verbale semble la plus altérée dans le TDA/H. Le versant verbal n'est quant à lui pas toujours décrit comme déficitaire.

D'après Martinussen et Tannock (2006), les enfants TDA/H présentent des difficultés dans le stockage d'informations visuospatiales et dans le traitement d'informations verbales et visuospatiales en lien avec le rôle de l'administrateur central. Ces observations sont indépendantes d'éventuelles comorbidités psychiatriques.

Ces difficultés ne semblent pas être indissociables du TDA/H. C'est notamment le cas pour la MT dans le domaine verbal et spatial. Des difficultés similaires sont observées dans bien d'autres tableaux comme dans le Trouble Oppositionnel avec Provocation (Rhodes, 2012) ou bien dans les difficultés de lecture (Barkley, 2014).

Plusieurs méta-analyses ont permis de mesurer la taille d'effet des difficultés en MT, liées au calepin visuospatial d'une part et à la boucle phonologique d'autre part. Cette mesure est permise grâce à la comparaison des performances de groupes d'enfants TDA/H avec des groupes d'enfants témoins dans les différents domaines de MT.

Concernant la boucle phonologique, la taille d'effet se situerait entre 0,43 et 0,69 c'est à dire relativement en dessous du seuil significatif de 0,60. (Martinussen et al, 2005 ; Kasper, 2012).

Pour le calepin visuospatial, la taille d'effet est mesurée entre 0,74 et 1,06 soit un effet véritablement significatif (Martinussen et al, 2005 ; Willcut et al, 2005 ; Kasper, 2012).

Bien que présentant des résultats sensiblement différents selon les études, les données convergent sur au moins deux points essentiels :

- Premièrement, il est fréquent que les enfants TDA/H performant moins bien sur des épreuves de MT en comparaison avec des enfants au développement typique (Martinussen et al, 2005)
- Deuxièmement, les difficultés en MT pouvant être observées chez les enfants TDA/H sont davantage liées au domaine visuospatial.

En tenant compte de l'aspect développemental du TDA/H et du fonctionnement exécutif, Brocki et Bohlin (2006) supposent qu'une étude similaire comprenant un échantillon d'enfants plus jeunes majorerait les tailles d'effet. Pour ces auteurs, les

enfants TDA/H présentent un fonctionnement de MT s'apparentant à des sujets plus jeunes. En grandissant, les enfants TDA/H compenseraient en partie leur retard. Cependant, les difficultés en comparaison avec des enfants classiques restent une réalité dans une majorité des cas.

A l'âge adulte, l'étude d'Alderson et al (2013) mesure une taille d'effet de 0,55 pour la boucle phonologique et 0,49 pour le calepin visuospatial. Ainsi le déficit en MT relevé dans de nombreuses études chez l'enfant persisterait dans une moindre mesure chez l'adulte TDA/H. Cela malgré la trajectoire prise par le trouble à l'âge adulte au niveau symptomatique.

## **2) Déficit en mémoire de travail et symptomatologie**

### ***2.1- Mémoire de travail et inattention***

Kofler (2009) démontre un lien entre inattention et MT. Il propose trois types de tâches aux sujets testés. Une tâche de MT visuospatiale, une autre verbale et enfin une tâche dite contrôle n'impliquant que très peu les processus de MT. Cette tâche contrôle nécessitant peu de traitement cognitif permet d'examiner l'impact d'une augmentation de la charge exécutive lors des deux autres tâches.

Par ailleurs la quantité d'information à maintenir et traiter en MT va évoluer au cours des essais pour moduler la demande aux systèmes de stockage et répétition de l'information.

Cette étude met en évidence deux caractéristiques pouvant influencer directement le comportement inattentif de l'enfant TDA/H.

Une charge exécutive même faible va pouvoir générer une inattention. Il va en être de même lorsque la capacité de stockage et de répétition va être dépassée. Ces observations peuvent se faire chez le sujet classique, seulement l'ampleur sera plus faible. Ainsi, lorsque l'attention chute suite à la présentation de 5 stimuli chez le sujet typique, le seuil du sujet TDA/H va plutôt se situer autour de 3 ou 4 stimuli.

De même, Diamond (2005) suggère que la dimension inattentive du TDA/H (TDA) serait davantage expliquée par un déficit en MT que par un défaut d'inhibition. Une charge exécutive en MT va alors significativement désavantager les sujets TDA/H.

Des manifestations d'un comportement inattentif peuvent survenir en deçà des capacités de stockage/répétition du sujet, lorsque la charge exécutive augmente. Cette observation suggère le rôle majeur de l'administrateur central dans la survenue de conduites inattentives.

Kofler (2009) explique ce phénomène par une difficulté située au niveau du focus attentionnel.

Deux types de foci attentionnels sont décrits. L'un est interne et l'autre externe.

Le premier cas concerne les tâches lors desquelles on doit se remémorer des informations grâce à un processus interne, c'est à dire à l'aide d'indices auto-générés par l'individu et en l'absence d'indices environnementaux.

Le focus attentionnel externe concerne les tâches où l'on se remémore des données par l'intermédiaire de stimuli présents dans le milieu. Par exemple en reconnaissant une cible présentée n-coup en arrière.

Kane et al, (2007) mettent en évidence cette distinction en démontrant que les résultats obtenus sur des tâches externes ne sont pas corrélés avec ceux des tâches plus internes.

Les tâches plus internes seraient les plus discriminantes des enfants TDA/H (Rapport, 2000).

Les processus internes et externes sont donc en partie distincts bien que les processus soient similaires et probables sources d'interférences (Kofler, 2009).

Kim (2014) met en évidence une différence au moment de l'encodage de l'information en MT. Il propose à des sujets TDA/H une tâche de MT visuospatiale lors de laquelle l'activité électrique des régions cérébrales impliquées est mesurée.

La tâche consiste à observer deux ou trois formes qui sont brièvement présentées. Suite à une phase de maintenance de l'information de deux secondes, une forme est présentée. Le sujet doit alors indiquer si cette dernière correspond à l'identique à l'une des formes initiales.

Une électrode posée au niveau pariétal gauche, zone soutenant le changement de focus attentionnel, montre des résultats particulièrement intéressants lors de la période d'encodage de l'information.

En effet, l'activité électrique mesurée dans cette zone est de plus faible amplitude. Cela suggère que les difficultés éprouvées sont en lien avec une mauvaise

distribution des ressources attentionnelles, qualité attribuée notamment à l'administrateur central.

Cette activité neuronale particulière au moment de l'encodage de l'information pourrait expliquer une partie du dysfonctionnement en MT chez les sujets TDA/H. Cela peut donc s'illustrer par une gêne chronique dans la mémorisation et plus généralement dans les apprentissages.

## **2.2- Mémoire de travail et hyperactivité-impulsivité**

L'expression phénotypique des enfants TDA/H fait qu'ils ont une propension particulière à effectuer des choix de manière impulsive.

On peut se demander si un déficit de MT peut générer des réponses impulsives. En effet la rétention et la manipulation de l'information étant perturbées, la poursuite d'une activité et la sélection d'informations pertinentes seront compromises.

La très faible disponibilité de l'information pourrait même générer une certaine impulsivité étant donné le caractère éphémère de l'information à traiter.

De plus, Hinson (2003) a montré un lien entre demande importante en MT et recherche de gratification immédiate qu'importe sa valeur. La saturation de la MT limiterait la possibilité d'anticiper sa réaction pour rechercher plutôt une gratification supérieure après un délai.

Patros (2015) a étudié le lien entre un déficit en MT et le fait de faire des choix impulsifs chez des sujets TDA/H.

L'étude montre une corrélation entre un déficit en MT visuospatiale et les choix impulsifs. Une MT déficitaire majore le nombre de choix impulsifs.

Par contre, cette relation n'est pas significative avec un déficit en MT verbale.

Ce qui peut sembler étonnant par rapport au rôle supposé des processus langagiers dans l'établissement de stratégies ou le guidage d'une action par le soliloque.

L'administrateur central est le module fortement relié aux réponses impulsives chez le TDA/H. Ainsi lorsque l'on ne tient plus compte de ce facteur, l'impulsivité mesurée lors des tâches de MT ne demeure pas significative.

De plus, l'étude fait référence aux modèles de Rapport et Barkley. L'auteur compare les effets des fonctions MT et inhibition comportementale sur les performances

obtenues lors de tâches classiques destinées à mesurer l'impulsivité. Pour se faire, le temps de réaction et le nombre d'erreurs vont être les indicateurs d'impulsivité. Les tâches expérimentales consistent d'une part à répondre rapidement et de manière correcte à chaque présentation d'un stimulus adéquat. D'autre part il s'agit de discriminer rapidement une cible visuelle correspondant au modèle.

Il s'est avéré qu'un bon fonctionnement de la MT réduit de manière significative l'impulsivité mesurée lors des tâches.

Par contre, ce phénomène n'est pas retrouvé pour le processus d'inhibition comportementale.

Ces données soutiennent l'idée que l'impulsivité chez le jeune TDA/H serait davantage expliquée par un déficit en MT qu'un défaut d'inhibition comportementale. Ce constat donne du crédit au modèle explicatif de Rapport.

### ***2.3- Mémoire de travail et socialisation***

Les problèmes sociaux représentent une partie importante des difficultés rencontrées par les enfants TDA/H.

L'expérimentation d'un lien entre MT et problèmes sociaux bien que peu étudié montre pourtant des résultats intéressants.

Kofler (2011) décrit l'existence d'un lien à la fois direct entre MT et difficultés sociales mais aussi indirect.

L'effet direct concerne essentiellement l'administrateur central dans sa qualité de répartition des ressources attentionnelles. Ainsi, lors d'une demande à l'administrateur central, le sujet TDA/H ne peut plus focaliser et transférer son attention sur différentes cibles. Il perd alors des informations pertinentes dans la communication et l'environnement. Cette demande concurrente en MT casse alors la dynamique sociale (Philips et al, 2007).

Parallèlement, l'effet indirect de l'administrateur central sur les difficultés sociales est expliqué par le lien entretenu entre ce système et la symptomatologie du sujet TDA/H, à savoir la possible présence de conduites inattentives, hyperactives et impulsives.

Les systèmes esclaves ont également un lien indirect avec les difficultés sociales :

- La boucle phonologique influence la présence de comportements hyperactifs/impulsifs. Cela peut induire des conduites sociales inadaptées. La perturbation de cette boucle phonologique peut concerner à la fois la disparition précoce de la trace mnésique, une difficulté de répétition ou encore une sensibilité trop importante aux distracteurs.

- Le calepin visuospatial entretient un lien avec les conduites inattentives qui peuvent en retour impacter négativement sur la qualité des relations sociales.

L'association d'un déficit situé au niveau du calepin visuospatial et de l'administrateur central majore les difficultés sociales (Kofler, 2010 ; in Kofler, 2011). La perturbation du stockage et de la répétition de l'information serait due à un défaut d'attention sélective et soutenue (Kofler, 2010). De plus Stroes et al (2003) ont montré que les sujets TDA/H présentaient significativement moins de regards portés sur autrui lors d'une interaction sociale.

Ces éléments semblent pourtant impératifs au bon fonctionnement social, permettant alors de détecter, mémoriser et interpréter de précieuses informations issues de la communication avec l'interlocuteur, mais aussi de garder une certaine cohérence et continuité dans le discours.

Les difficultés vont entraîner le sujet TDA/H dans une immédiateté de la réponse motrice qui sera parfois excessive avec une absence d'anticipation des conséquences des actes. Cette immédiateté tente alors de palier la disparition de la trace mnésique et/ou la prise d'informations incomplète.

Les réponses inadaptées de l'enfant vont favoriser des relations sociales chaotiques et parfois mener au rejet des pairs (Andrade, 2009).

#### ***2.4- Mémoire de travail et performance***

L'irrégularité dans les performances est un reproche récurrent fait aux enfants TDA/H, notamment dans le milieu scolaire (Bange, 2014).

En recherche ce phénomène se traduit par la variabilité de temps de réponse (TR).

En pratique, ce phénomène s'illustre classiquement par une lenteur exécutive ou des réponses hâtives.

Pour Castellanos et al (2005), la variabilité de TR est un indicateur primordial des difficultés rencontrées par le sujet TDA/H.

Cependant, le modèle de Rapport suggère que la variabilité de TR est secondaire à un déficit de MT.

Buzy et al (2009) ont montré que la variabilité du TR était un phénomène corrélé à l'augmentation de la charge cognitive et donc la demande en MT.

Pour tenter de valider ces données, Kofler (2014) a étudié le lien entre MT et variabilité de TR chez des sujets TDA/H.

Il s'avère que le déficit en MT et précisément l'administrateur central explique au moins 88% de la variabilité de TR obtenue lors de l'expérimentation. Alors que la variabilité de TR n'explique que 10 à 29% des différences en MT, lorsque l'on compare un groupe TDA/H et un témoin.

Ces résultats soutiennent l'idée que la variabilité de TR puisse être une manifestation secondaire à un déficit en MT.

L'altération de la MT représente une piste explicative des difficultés rencontrées par les sujets TDA/H. La partie suivante examine l'intérêt et les probables bénéfices d'un travail ciblant cette fonction à travers une revue d'essais expérimentaux chez des sujets TDA/H.

## ***DJ Perspectives de rééducation de la mémoire de travail***

### **I°) Intérêt d'une remédiation cognitive**

Hoekzema et al (2011) ont montré qu'un entraînement cognitif pouvait, par le biais de la plasticité cérébrale, contrebalancer des déficits neuroanatomiques observés chez des patients TDA/H. Ils constatent au scanner une augmentation du volume de matière grise au niveau du cervelet et du cortex préfrontal. Or ce sont des zones présentant régulièrement des anomalies au sein de ce trouble.

Par ailleurs, Draganski (2004) a mis en évidence l'effet de la plasticité cérébrale en proposant un entraînement de jonglage avec trois balles. Il distingue deux groupes, un témoin ne s'entraînant pas et un groupe jongleur soumis à l'entraînement. Un

premier scanner comparant les deux groupes, ne montre pas de différence significative au niveau de la matière grise.

Après trois mois d'entraînement un second scanner est proposé. En comparaison avec le groupe témoin, les jongleurs présentent une hausse significative au niveau de la matière grise des structures cérébrales soutenant l'activité jonglage.

Cela met en exergue les capacités d'adaptation morphologique du cerveau suite à un entraînement. Ce phénomène demeurerait possible sur des structures présentant des anomalies morpho-volumétriques comme pour le cortex préfrontal dans le TDA/H.

De plus, nous avons vu que des modèles explicatifs du TDA/H (Barkley 1997 ; Rapport, 2001) décrivent des difficultés dans divers domaines neuropsychologiques tels que l'attention, la MT, le raisonnement ou encore l'inhibition comportementale.

Ces postulats ont suscité un intérêt grandissant chez les chercheurs pour l'approche cognitive dans la prise en charge du patient TDA/H. L'intervention se fait par l'intermédiaire d'entraînements cognitifs ciblant un ou plusieurs domaines neuropsychologiques altérés (Toplak, 2008).

## **II°) Exemple de remédiation cognitive ciblant la mémoire de travail : Cogmed**

Le programme de remédiation cognitive le plus étudié et le plus utilisé est Cogmed (Melby-Mervag, 2012). Il a été mis au point par le Dr T. Klingberg.

C'est un programme informatisé de remédiation cognitive ciblant les difficultés de MT. Il s'adresse à un large public pouvant présenter ce type de difficultés dont les sujets diagnostiqués TDA/H.

Le contenu de ce programme a été pensé dans le but d'obtenir une amélioration des capacités de MT et attentionnelles.

Les exercices sont proposés sous forme de jeux sur l'ordinateur. Une caractéristique essentielle de ce programme est l'adaptabilité du niveau de complexité des exercices au patient. En effet, la difficulté des jeux proposés va progressivement augmenter pour s'ajuster aux capacités du sujet en modulant la demande sur les processus de

MT. Pour Klinberg (2010) cette progressivité atteignant les limites du patient va lui permettre d'augmenter ses capacités de MT.

Cette hypothèse est corroborée par l'étude de Diamond et Lee (2011) qui montre qu'un entraînement non adaptatif d'une fonction exécutive ne provoquait aucune amélioration.

Les jeux peuvent solliciter la MT visuospatiale en reprenant le principe des épreuves de matrice où l'on doit se souvenir de la position de cibles dans une grille.

Selon les âges, la MT auditivo-verbale est également sollicitée avec des jeux de rappels de chiffres, de lettres ou de sons.

Le programme est accessible à partir de 4 ans jusqu'à l'âge adulte sans limite d'âge. Le contenu se décompose en trois sous-programmes adaptés à l'âge et aux besoins du patient :

- Cogmed JM pour les 4 à 7 ans :

Basé sur 5 sessions d'entraînements hebdomadaires sur une période totale de 5 semaines.

Un entraînement est composé de trois exercices de MT sollicitant uniquement un traitement visuospatial.

- Cogmed RM à partir de 7 ans :

En fonction des disponibilités et ressources cognitives du patient, l'entraînement se base sur des sessions de 25 à 50 minutes à raison de 3 à 5 fois par semaine.

Le programme Cogmed RM propose un environnement graphique très ludique avec des jeux-récompenses entre les exercices.

L'entraînement sollicite un traitement essentiellement visuospatial mais aussi auditivo-verbal.

Ce programme convient très bien aux enfants.

- Cogmed QM : à partir de 7 ans :

La fréquence, la durée et les exercices proposés dans ce programme sont similaires avec ceux de Cogmed RM. Seulement, l'aspect ludique est moindre avec un design épuré et l'absence de jeux-récompenses.

Ce programme est davantage adapté aux grands adolescents et adultes.

A la fin d'une session d'entraînement, les données telles que les résultats aux exercices, les courbes de progression, le temps de travail effectif sont disponibles.

Le suivi de l'entraînement est supervisé par un professionnel ayant été formé pour interpréter ces données.

Le programme Cogmed aspire à améliorer sur le long terme les performances du patient dans son milieu écologique.

### **III°) Efficacité d'un entraînement de la mémoire de travail**

#### **1) Essai de rééducation de la MT chez des patients TDA/H**

L'étude pionnière de Klinberg (2002) s'intéressant à l'entraînement de la MT chez des sujets TDA/H a montré des résultats intéressants. Il utilise le programme d'entraînement informatisé Cogmed.

Pour étudier l'effet de l'entraînement, deux groupes d'enfants de 7 à 15 ans tous diagnostiqués TDA/H. On distingue un groupe expérimental d'enfants suivant l'entraînement de MT classique et un groupe témoin pratiquant un entraînement cognitif placebo ? C'est à dire avec un temps de pratique réduit et un niveau de difficulté restant faible à chaque session.

Des mesures réalisées avant et après le programme d'entraînement pour les deux groupes ont permis de mettre en évidence les effets de l'entraînement.

En comparaison avec le groupe témoin, les sujets ayant suivi le protocole classique ont significativement progressé sur des tâches de MT visuospatiale entraînées par le programme. Une progression est notable également sur des tâches non entraînées comme l'épreuve des blocs de Corsi.

Des progrès significatifs ont été constatés sur des épreuves sollicitant d'autres domaines neuropsychologiques. Les enfants du groupe expérimental améliorent leurs performances à un test d'inhibition de réponse : le test de Stroop où l'on doit inhiber la lecture automatique des mots « rouge », « vert », « jaune » ou « bleu »

pour donner la couleur de l'encre. Ils montrent aussi des progrès sur une épreuve de raisonnement complexe : la Matrice progressive de Raven où l'on doit déterminer quel est le segment manquant pour compléter un modèle.

En utilisant l'échelle de Conners (Conners, 1997), les parents du groupe expérimental relèvent une amélioration des symptômes du TDA/H. De plus, une mesure à l'aide d'un actigraphe montre une réduction des mouvements de la tête pour le groupe expérimental.

Les résultats de cette étude suggèrent donc un effet très intéressant d'un entraînement cognitif ciblant la MT. En effet, elle semble montrer une amélioration des capacités de MT et l'influence de ces progrès s'étendant à d'autres domaines neuropsychologiques.

De plus, l'évaluation clinique parentale suggère une amélioration de la symptomatologie du TDA/H secondaire à l'entraînement de la MT.

Klinberg (2005) précise l'intérêt de porter son regard sur les conséquences comportementales de l'entraînement cognitif. Le but étant de réduire la symptomatologie du trouble et de transférer ces améliorations dans le quotidien des patients TDA/H.

Une étude similaire de Klinberg (2005) regroupant un échantillon plus large de sujets expérimentés vient confirmer certains résultats précédents.

C'est notamment le cas pour l'amélioration des capacités de MT chez des sujets TDA/H. Il s'intéresse alors au maintien des améliorations après la fin du programme.

En comparaison avec le groupe témoin, le groupe expérimental progresse de manière significative sur l'épreuve d'empan mnésique visuospatial des blocs de Corsi. La taille d'effet mesuré à la fin du programme est  $d=0,93$ . Trois mois après la fin de l'entraînement cette effet est mesuré à  $d=0,92$ .

Une petite progression est observé dans le domaine auditivo-verbal de la MT, l'effet de l'entraînement sur une épreuve d'empan de chiffres est de  $d=0,59$  à la fin du programme et  $d=0,57$  trois mois plus tard.

Les parents évaluent cliniquement l'inattention, l'hyperactivité et l'impulsivité de leur enfant en étant peu ou pas au fait des modalités d'expérience. Cette évaluation dite « à l'aveugle » cherche à limiter l'influence que peut avoir l'attente de résultats sur la qualité d'observation clinique des symptômes.

Juste à l'arrêt du programme les tailles d'effets mesurés sont  $d= 1,21$  pour l'inattention et  $d= 0,42$  pour le l'hyperactivité/impulsivité.

Trois mois plus tard, elles sont respectivement mesurées à  $d=0,67$  et  $d=0,42$ .

La réduction des mouvements de la tête mesurés par Klinberg (2002) n'est pas retrouvée ici.

A noter, l'évaluation réalisée par les enseignants ne montre d'amélioration significative pour aucun des symptômes.

Ainsi trois mois après l'arrêt du programme l'amélioration des capacités de MT visuospatiale et verbale persiste.

Une amélioration des symptômes d'inattention semble exister et résister avec le temps bien qu'elle soit à nuancer selon l'observateur.

Par contre, une amélioration de l'hyperactivité et l'impulsivité n'est pas probante.

Ces données expérimentales issues de tentatives de rééducation de la MT chez des patients TDA/H interrogent sur l'intérêt d'intégrer ce type d'intervention dans la prise en charge des patients.

## **2) Données expérimentales en faveur de l'entraînement cognitif de la mémoire de travail pour les patients TDA/H**

Holmes et al (2010) ont comparé l'effet d'un entraînement cognitif avec le programme Cogmed RM et celle d'une intervention médicamenteuse psychostimulante sur les capacités de MT d'enfants TDA/H de 8 à 11 ans.

Il s'avère que les deux types d'intervention vont améliorer les capacités de MT mais de manière distincte.

L'amélioration des capacités de MT va être plus importante et globale dans le cadre de l'entraînement cognitif seul. L'effet concerne les deux domaines de la MT, le visuospatial et l'auditivo-verbal.

L'intervention psychostimulante seule montre des effets moins prononcés et plus spécifiques en améliorant uniquement le domaine visuospatial.

Ces résultats sont des arguments en faveur de l'efficacité de l'entraînement cognitif pour développer les capacités de MT chez les TDA/H.

L'étude suggère un transfert étroit des bénéfices de l'entraînement. En effet le programme Cogmed RM n'intégrant que le domaine visuospatial améliore également la MT auditivo-verbale.

De plus, les gains mesurés suite à l'entraînement sont maintenus 6 mois après la fin du programme.

Dans l'étude de Beck et al (2010) portant sur des enfants TDA/H de la même tranche d'âge, une réduction des symptômes d'inattention a été rapportée par les parents suite au programme Cogmed RM.

En parallèle, une amélioration dans le fonctionnement exécutif serait observée notamment dans les domaines de MT et de planification.

L'ensemble de ces gains persiste quatre mois après l'arrêt de l'entraînement.

Toutefois, les enseignants ne rapportent pas de différence notable dans le fonctionnement des enfants expérimentaux en comparaison avec ceux du groupe témoin.

Ces résultats suggèrent une amélioration des capacités de MT effectives qui pourrait s'étendre à d'autres domaines neuropsychologiques. De plus une diminution de l'inattention pourrait être la conséquence de l'entraînement de la MT. Ces observations sont toutefois à nuancer selon l'évaluateur.

Green et al (2012) se sont intéressés à l'impact de l'entraînement de la MT sur les comportements en milieu écologique tel que l'école chez des enfants TDA/H. En plus d'une amélioration des performances de MT, une diminution de certains comportements indésirables est rapportée par les enseignants des enfants expérimentaux. Ils observent une diminution de la fréquence à laquelle l'enfant va décrocher de son activité scolaire pour regarder autour de lui. En outre, les enfants expérimentaux vont réduire le nombre de fois où ils se mettent à jouer avec des objets alors qu'une activité est inachevée.

Ces résultats sont en accord avec l'hypothèse d'une possible réduction des comportements inattentifs et hyperactifs chez le TDA/H suite à un entraînement cognitif ciblant la MT.

De manière générale, une méta-analyse reprenant diverses tentatives d'utilisation du programme Cogmed chez des patients TDA/H (Cogmed, 2011) précise que 14 études sur 15 décrivent une amélioration des performances de MT sur des tâches non entraînées, argumentant en faveur d'un transfert des acquis.

Les données collectées auprès de 769 enfants TDA/H dans différents pays permettent de faire une estimation des effets du programme Cogmed. En effet, l'évaluation parentale de l'inattention selon les critères du DSM-IV, réalisée avant et après l'entraînement, permet d'estimer l'amélioration des symptômes inattentifs de 30% en moyenne.

En conclusion, ces données appuient fortement l'efficacité d'un programme comme Cogmed pour développer les capacités de MT des sujets TDA/H. De plus ces améliorations semblent pouvoir se transférer à l'ensemble des domaines de la MT et parfois s'étendre à d'autres fonctions exécutives comme la planification.

Un potentiel effet sur la symptomatologie du TDA/H est parfois observé comme la réduction de l'inattention. Toutefois, ces effets sur le comportement semblent à nuancer selon la méthodologie expérimentale.

### **3) Données expérimentales critiquant l'entraînement cognitif de la mémoire de travail pour des patients TDA/H**

Shipstead et al (2013) critiquent les données expérimentales autour du programme Cogmed. D'abord ils soulignent les conflits d'intérêt que certains auteurs pourraient avoir par rapport à un produit commercialisé. Ils précisent toutefois que certains auteurs n'ayant aucun lien avec le programme Cogmed ont témoigné de son efficacité.

Pour Shipstead (2013), la progression des capacités en MT n'est pas suffisamment appuyée par des preuves. En effet, il regrette la faible quantité d'épreuves permettant de mesurer cette amélioration. Pour lui, une véritable hausse des

capacités doit s'objectiver sur un large panel de tâches MT, regroupant des tâches visuospatiales et verbales simples et complexes.

Une critique majeure concerne l'amélioration des symptômes du TDA/H. L'évaluation est très souvent réalisée par les parents. Cela générerait trop de subjectivité lorsqu'ils sont informés sur le contenu du programme et donc des potentiels gains. Dans l'attente de résultats, les parents auraient tendance à surévaluer les effets du programme.

Dans une méta-analyse, Sonuga-Barke et al (2014) reprennent six études de remédiation cognitive chez des sujets TDA/H (trois portées uniquement sur l'attention et trois sur l'entraînement de la MT).

Cette méta-analyse permet d'avoir une vue globale sur l'effet d'un entraînement cognitif spécifique sur la symptomatologie du TDA/H.

L'évaluation des effets de l'entraînement se fait par une analyse clinique à l'aide d'échelles de type Conners.

Lorsque l'évaluation est réalisée par un individu impliqué par le protocole d'entraînement, la taille d'effet mesuré se situe à  $d=0,64$ . Cela indiquerait un effet significatif sur les symptômes inattentifs, hyperactifs et impulsifs.

Par contre, si l'évaluation est réalisée en « aveugle ». La taille d'effet chuterait à  $d=0,24$ . L'entraînement cognitif n'aurait plus d'effet significatif sur la symptomatologie.

Cette diminution de taille d'effet dans le protocole à l'aveugle soutient la critique de Shipstead et al (2013) rappelant l'importance du protocole en « aveugle ».

Ainsi, la mise en commun de plusieurs tentatives de remédiation cognitive ciblant isolément l'attention ou bien la MT ne fournit pas des résultats probants.

La méta-analyse de Cortese (2015) soutient l'idée qu'un entraînement de la MT seul n'a pas d'effet significatif sur les symptômes comportementaux du TDA/H. Par contre, la mise en commun d'études ciblant divers domaines neuropsychologiques comme la MT, l'attention, la flexibilité mentale ou encore l'inhibition donne des résultats intéressants.

Rappelant l'hétérogénéité des déficits neuropsychologiques au sein du TDA/H, ils font l'hypothèse qu'un entraînement cognitif ciblant plusieurs domaines

neuropsychologiques permettrait un transfert plus important sur les symptômes du TDA/H.

Dans une approche cognitive, ces données mettent en avant l'intérêt de développer par la suite des protocoles ciblant plusieurs fonctions exécutives dans le but d'obtenir des effets significatifs sur le comportement.

La partie suivante est une réflexion sur la pertinence d'envisager une remédiation cognitive incluant la MT dans la prise en charge psychomotrice d'un enfant TDA/H. Nous proposerons ici quelques éléments clés pour amorcer ce travail.

### ***EJ La mémoire de travail dans la prise en charge psychomotrice d'enfant TDA/H***

#### **I°) Le programme de remédiation cognitive : outil pour le psychomotricien ?**

Considérant d'une part, le déficit exécutif comme élément essentiel du tableau sémiologique du TDA/H (Rapport, 2001 ; Barkley, 1997 ; Sergeant, 2002) et d'autre part, les possibilités accordées par la plasticité cérébrale pour compenser des anomalies cérébrales ou retards de maturation. Le recours à un programme de remédiation cognitif prend alors tout son sens. En effet ce dernier vise à développer des fonctions exécutives altérées dont une des conséquences positives serait l'amélioration de la symptomatologie comportementale inhérente au TDA/H.

A titre d'exemple, le programme d'entraînement Cogmed est proposé à différents professionnels dont les psychomotriciens.

Bien que les preuves scientifiques de son efficacité soient mitigées, ce programme soulève tout de même quelques réflexions :

Pour Baddeley (2000), le lien entretenu entre MT, attention, mémoire à long terme et autres fonctions exécutives, en fait une instance dynamique au profit de la pensée, de la cognition, des apprentissages et par-dessus tout, de l'action. Même si le rôle de la MT dans la mémorisation à long terme est évident, sa fonction première ne serait pas dirigée vers le stockage des informations mais vers la réalisation d'action. Ainsi, Baddeley parle d'interface entre mémoire et action.

Cela fait résonnance avec l'approche psychomotrice que l'on pourrait résumer à unifier, fluidifier et harmoniser le fonctionnement du corps et de la pensée au service de l'action grâce à un bien-être psychologique et corporel.

En pratique, comment transporter un ensemble de mots ou de formes inscrites au tableau pour les retranscrire sur sa feuille blanche si l'on ne peut pas maintenir, organiser et restituer ces données ? On peut imaginer que le résultat se solderait par l'absence de certains mots/formes ou encore des inversions de syllabes et des erreurs de localisation spatiales des formes.

Comment rester efficace et attentif sur une tâche de recherche visuelle si l'on ne peut pas se souvenir des consignes et/ou des règles de l'épreuve ? On peut imaginer que le résultat se solderait par des erreurs, une lenteur d'exécution, en perdant du temps pour tenter de rafraichir les informations, une fatigue et lassitude précoces pouvant générer des comportements non pertinents en rapport avec la symptomatologie du TDA/H.

On peut supposer que l'évolution des règles au cours de l'épreuve puisse perturber encore davantage l'activité puisqu'il y a nécessité de trier, hiérarchiser et garder seulement en mémoire les informations pertinentes.

De même, comment suivre un itinéraire sans avoir accès à la représentation des étapes intermédiaires et l'ordre logique de passage ? On peut imaginer que la réalisation se solderait par un trajet erroné. Le retour pourrait être encore plus complexe puisqu'il nécessite de traiter l'ordre des étapes intermédiaires dans le sens inverse.

Nous pouvons en effet nous demander comment agir de manière adaptée lorsque nous éprouvons des difficultés à maintenir, traiter et réutiliser des informations issues du milieu.

Par ailleurs, la perspective de minimisation du déficit exécutif primaire pour réduire les manifestations symptomatiques secondaires en milieu écologique (Klinberg 2002 ; Klinberg 2005) est tout à fait intéressante pour un psychomotricien.

Les patients diagnostiqués TDA/H sont principalement orientés vers une prise en

charge psychomotrice par rapport à ces symptômes comportementaux.

L'ensemble de ces données nous laisse penser qu'une tentative d'entraînement de la fonction MT pourrait tout à fait s'inscrire dans une démarche psychomotrice auprès d'un patient TDA/H.

Quels seraient alors les avantages et inconvénients de proposer un entraînement cognitif sous une forme s'apparentant au programme Cogmed ?

• **Avantages:**

- Un programme d'entraînement cognitif est non invasif. Il ne présente pas de danger pour le patient.
- Il permet à l'enfant et aux parents de s'impliquer activement dans la prise en charge. Le fait de devoir réaliser des tâches à la maison implique à la fois l'enfant qui les réalise et les parents qui supervisent. Des rendez-vous avec le professionnel référent peuvent être mis en place pour faire le point.
- Peut être un temps calme pendant lequel l'enfant travaille tout en jouant. Cela représente un temps plutôt agréable, moins générateur de frustration que peut l'être celui des devoirs scolaires.
- L'ajustement du niveau de difficulté des exercices aux capacités du sujet permet de ne pas tenir l'enfant en échec tout en entretenant sa motivation.

• **Inconvénients :**

- La commercialisation de ces produits à un prix souvent élevé n'en fait pas un outil accessible à tous.
- La fréquence élevée des entraînements peut être trop envahissante pour l'organisation familiale si l'enfant bénéficie déjà de nombreuses prises en charge supplémentaires.
- Le produit n'est peut-être pas fiable pour l'ensemble des sujets TDA/H en tenant compte de l'hétérogénéité du trouble (Coghill et al, 2013).

En somme, il nous semble tout à fait envisageable d'utiliser ce type d'outil par un psychomotricien dans le but de minimiser le déficit exécutif et d'obtenir une amélioration symptomatique chez un patient TDA/H.

Cela semble pertinent à réserve d'avoir à disposition un outil relativement accessible et dont l'efficacité soit largement appuyée par des preuves scientifiques.

Sans forcément disposer actuellement d'un tel outil. Le psychomotricien peut tout de même tirer quelques enseignements pratiques de l'ensemble des données expérimentales concernant l'évaluation et la structuration de la rééducation de la MT.

## **II°) Les outils d'évaluation de la mémoire de travail**

### **1) L'indice de mémoire de travail**

Le WISC-IV qui est une échelle d'évaluation de l'efficiences intellectuelle fournit un indice de MT. Cet indice est obtenu grâce à deux épreuves de MT.

La première est une épreuve de séquence lettres/chiffres lors de laquelle le sujet doit mémoriser simultanément des lettres et des chiffres. A la fin de la séquence il doit restituer la séquence en classant d'abord les chiffres par ordre croissant puis les lettres par ordre alphabétique.

Cette épreuve fait appel à la boucle phonologique et à l'administrateur central pour trier les éléments.

La seconde est une épreuve d'empan simple de chiffres. Cette épreuve sollicite la boucle phonologique.

Ainsi l'indice de MT du WISC-IV repose sur des épreuves impliquant la boucle phonologique et non pas le calepin visuospatial.

Le domaine visuospatial étant plus touché chez les sujets TDA/H (Martinussen et al, 2005), l'indice MT issue du WISC-IV n'est pas très représentatif des possibles difficultés du sujet.

### **2) Les tests étalonnés d'évaluation de la mémoire de travail**

#### **• Les blocs de Corsi :**

Dans cette épreuve d'empan visuospatial, l'examineur touche successivement un nombre déterminé de blocs identiques répartis sur une planche de bois. A la fin de la démonstration le sujet testé doit reproduire la même séquence en touchant les blocs dans le même ordre. Le nombre total de blocs à toucher dans une séquence

correspond à l'empan visuospatial. Dans une seconde partie, le sujet doit reproduire la séquence dans l'ordre inverse de présentation pour déterminer l'empan à rebours.

• **L'épreuve de mémoire des formes de la NEPSY-II :**

L'épreuve de reconnaissance de formes issue de la NEPSY-II reprend le principe de l'épreuve de la matrice de Philip (1974). Les sujets doivent mémoriser la position de différentes cartes et leurs aspects visuels. Les cartes sont réparties sur une grille.

Le sujet doit ensuite retrouver dans un lot, les cartes précédemment présentes pour tenter de les replacer au bon endroit.

Ces deux épreuves d'évaluation sont des tests étalonnés mesurant les capacités de MT visuospatiale et générant une demande à l'administrateur central via une charge exécutive. En effet, l'empan à rebours des blocs de Corsi nécessite de réorganiser l'ordre des informations. De même, l'épreuve de mémoire des formes induit un tri et une comparaison des informations.

Ainsi, leur utilisation semble tout à fait pertinente pour mesurer les capacités de MT d'un patient TDA/H.

Par contre, l'utilisation de ces tests à des fins diagnostiques n'est pas indiquée par le DSM-5. Rappelons qu'un diagnostic de TDA/H repose sur des éléments cliniques.

### **III°) Comment envisager un travail autour de la mémoire de travail**

#### **1) Mise en place d'une rééducation de la mémoire de travail pour un patient TDA/H**

Nous avons vu que le domaine visuospatial de la MT était significativement plus déficitaire chez les enfants TDA/H (Martinussen, 2005 ; Willcutt, 2005). Ainsi, il semble ainsi tout à fait pertinent de privilégier les tâches faisant appel au calepin visuospatial, en impliquant du matériel visuospatial (forme, couleur, taille, localisation, geste).

De plus, un ensemble d'études (Rapport, 2009 ; Burgess, 2010 ; Kofler, 2011 ; Kofler, 2014) a montré que le composant de la MT le plus fragilisé dans le TDA/H était l'administrateur central. C'est à dire la composante exécutive permettant de manipuler les informations en MT.

Il est alors primordial de solliciter l'administrateur central en modulant la charge exécutive.

Une demande importante à l'administrateur central concerne les tâches associant stockage temporaire d'une information et manipulation de celle-ci.

La haute charge exécutive est caractéristique des activités impliquant des modifications de focus attentionnel avec par exemple la présentation d'une nouvelle donnée à traiter tout en mémorisant l'ancienne.

Il en est de même pour les tâches nécessitant la comparaison d'un stimulus présenté avec une donnée stockée temporairement qui sera actualisée au fur et à mesure.

A contrario, une faible demande à l'administrateur central concerne le simple stockage d'une information et la répétition de cette dernière sans manipulation (Kasper, 2012). De plus, les capacités de stockage sont certainement les plus préservées dans le TDA/H (Rapport, 2013).

Ainsi, il serait contreproductif de se focaliser uniquement sur ce type de tâche qui caractérise les épreuves d'empan simples.

Par contre, un travail sur l'ordre sériel peut être intéressant. En effet, dans de nombreuses activités le fait de mémoriser l'ordre des éléments d'une séquence va être indispensable (Baddeley, 2012). Il est d'ailleurs possible de se souvenir isolément de chaque élément d'une séquence sans pouvoir retenir leur ordre. C'est par exemple le cas lorsqu'on apprend un nouveau mouvement pour réaliser un pas de danse ou bien en enchaînant plusieurs accords pour jouer un morceau de musique au piano.

Les apprentissages moteurs nécessitent à la fois de mémoriser chaque portion de la séquence mais aussi de pouvoir les organiser dans l'ordre approprié (Baddeley, 2007).

Respecter l'ordre sériel ou le modifier en le traitant par exemple à l'envers va nécessiter un traitement exécutif important qui augmente la demande à l'administrateur central. Le même principe opère, si on nous demande par exemple, de rappeler quelle était la couleur de la troisième carte après nous en avoir présenté dix différentes.

Le fait de trier et classer les informations stockées en MT va également augmenter la charge exécutive. C'est notamment le cas s'il on doit classer puis restituer par forme ou couleur une liste d'objets qu'on a tenté de mémoriser.

De même, actualiser en permanence le contenu de la MT crée une charge cognitive. Ce principe se retrouve dans la tâche d'addition en série (Johnson et al, 1988) où des chiffres sont énoncés à un rythme régulier, le sujet doit additionner à chaque reprise les deux derniers chiffres proposés puis donner la réponse à haute voix. Après chaque réponse le sujet se doit d'effacer de sa MT le résultat de l'addition et un ancien chiffre qui ne sont plus pertinents pour l'opération à venir.

En résumé, il faut chercher à augmenter la charge exécutive en proposant des exercices qui requièrent un traitement cognitif complexe et non pas simplement augmenter la quantité d'éléments à mémoriser à court terme.

## **2) Aménagements et éléments clés d'une rééducation de la mémoire de travail pour un patient TDA/H**

### ***2.1- Caractéristiques d'une rééducation de la mémoire de travail***

La richesse des données expérimentales permet de prendre en compte certains aspects techniques dans une démarche de rééducation de la MT chez un enfant TDA/H.

- Le caractère ludique d'une activité va être un facteur important. En effet, donner un aspect ludique à une tâche de MT va permettre d'entretenir la motivation du patient à passer du temps à s'entraîner. Prins (2011) montre que l'aspect ludique d'une épreuve permet de réduire le nombre d'erreurs en comparaison avec des tests neuropsychologiques parfois rébarbatifs.

Il démontre ici tout l'intérêt de proposer des activités très ludiques au départ, d'intéresser l'enfant et réduire ses échecs. Puis, en accord avec la progression des capacités de l'enfant, utiliser des tâches de moins en moins attrayantes pour le rapprocher de situations écologiques.

- Le nombre d'essais sur une tâche est à prendre en compte. La multiplication abusive de tentatives semble avoir pour effet la saturation des ressources de MT.

Cela suggère un effet cumulatif des demandes en MT (Anguera, 2012). Les possibilités de mémorisation commenceraient à se dégrader à partir du 7<sup>ème</sup> essai (Kasper, 2012).

- Adapter et faire évoluer le niveau de difficulté des tâches selon les capacités du patient. Rappelons que pour Diamond & Lee (2011), l'entraînement d'une fonction exécutive en l'absence du principe d'adaptation est voué à l'échec.

De plus, permettre à l'enfant d'être en réussite sur des tâches de son niveau n'aura pas de retentissement négatif sur l'estime de lui-même. Au contraire le retour positif pourra entretenir sa motivation à continuer les exercices.

- Le délai pendant lequel le sujet doit maintenir les informations stockées en MT va impacter sur la difficulté de l'épreuve.

Ainsi, l'écart de performance entre un groupe TDA/H et un groupe témoin sera significativement plus important avec l'avancée en difficulté. Enfin, les difficultés seront majorées avec la nécessité de traiter les informations complexes sur une période de plus en plus longue (Seidman, (1997) ; in Barkley, (2014)).

- La modalité de réponse est un élément important.

Il existe une différence entre une tâche de rappel et une tâche de reconnaissance.

Le fait de devoir rappeler un stimulus après un temps de délai semble plus coûteux en ressource de MT qu'une situation de reconnaissance où l'on doit choisir entre plusieurs possibilités. Baddeley et al (2002) expliquent ce phénomène par le fait que la réponse par reconnaissance nécessite moins d'effort d'initiation.

- Lorsque l'on propose un ensemble de réponses possibles à une question. L'enfant doit envisager et analyser toutes les réponses possibles. Il peut être intéressant de veiller à la position de la bonne réponse dans la liste proposée. Eviter de placer la réponse exacte en dernière position peut être une astuce intéressante. Ainsi le sujet va devoir solliciter plus fortement les processus de stockage et de rafraichissement de l'information sans donner spontanément la dernière solution soumise à un plus faible déclin de la trace mnésique (Moret, 2013). De plus si la réponse attendue est placée en dernière position on ne peut pas s'assurer que le sujet a tenté d'encoder et stocker les informations du début ou milieu de liste.

En plus de ces considérations assez générales, il semble primordial de poser un cadre thérapeutique adapté au patient TDA/H.

Premièrement, on peut veiller à proposer un cadre épuré, c'est à dire privé de stimuli environnementaux distrayeurs dans le but de limiter les phénomènes d'agitation et de distractibilité (Neveux et Albaret, 2014).

Ensuite, alterner les activités à composante plus perceptive et cognitive avec des tâches à prédominance motrice. Cela permet d'éviter un effet de saturation et de garder l'intérêt de l'enfant pour le travail en cours. Cette alternance sera permise en proposant des situations de courte durée.

En outre, les sujets TDA/H ont des difficultés dans la perception du temps (Toplak et al, 2006). Il peut donc être intéressant de matérialiser visuellement le temps qui passe avec une horloge ou bien le programme d'une séance avec un planning.

Par ailleurs, pour entretenir la motivation de l'enfant et soutenir l'émergence de comportements adaptés, un système de renforcements positifs peut être mis en place.

## ***2.2- Stratégies méta-cognitives***

Le soutien des processus de MT peut se faire par l'acquisition de stratégies.

Il s'agit ici de permettre au sujet d'avoir des pensées et des éléments de réflexion sur sa manière de réaliser une tâche cognitive. On ne se situe plus dans une simple approche cognitive mais méta-cognitive (Lussier et Flessas, 2010).

Proposer des stratégies adaptées pourrait soutenir le stockage de l'information pour rendre moins coûteux les processus de rafraichissement des données. Elles faciliteraient ainsi le traitement de l'information en libérant des ressources cognitives et attentionnelles (Coyette et al, 2003).

Parmi ces stratégies on retrouve :

- Le double codage : Cette stratégie consiste à solliciter dès que possible les deux sous-systèmes de la MT pour renforcer l'encodage de l'information.

Pour mémoriser un mot on recrute alors à la fois la boucle phonologique et le calepin visuospatial. Thevenon (2016) propose d'imager le calepin visuospatial par un appareil photo et la boucle phonologique par le perroquet. Pour mémoriser une

information, l'enfant doit systématiquement utiliser l'appareil photo et le perroquet pour favoriser un double codage. Il est proposé aux parents de transférer cette technique au domicile pour généraliser son utilisation.

Renforcer le domaine visuospatial par le verbal est une bonne stratégie. Nous l'avons vu au cours du développement, l'enfant s'oriente de plus en plus vers une dominance de l'aspect auditivo-verbal de la MT.

Cette stratégie est possible pour les items à mémoriser qui sont des mots avec signification ou bien des objets faciles à décrire. A contrario, pour isoler l'utilisation du calepin visuospatial on peut utiliser des mots complexes ou sans signification et des objets difficiles à décrire (pas de forme régulière, plusieurs couleurs...).

- La stratégie d'ordre : Le principe de cette stratégie est de découper le stockage de l'information et la manipulation de celle-ci. On évite une situation coûteuse de double tâche en tentant de stocker et traiter l'information simultanément. On multiplie les ressources disponibles en focalisant son attention sur un seul processus à la fois (Duval, Coyette, et Seron, 2007).

La hiérarchisation des étapes permet également de minimiser les conséquences de l'impulsivité en ralentissant le rythme d'exécution. Cela peut éviter un encodage incomplet ou un traitement imparfait de l'information.

- La stratégie de regroupement : Cette stratégie consiste à regrouper différentes informations pour en créer une seule. En faisant appel aux capacités d'imageries mentales et de synthèse du patient mais également sa créativité, on peut multiplier le nombre d'éléments stockés en MT. Ainsi les deux caractéristiques que sont la forme « carré » et la couleur « rouge » sont stockées sous une forme synthétique « un carré rouge ».

De même, on ne conçoit plus séparément les mots « éléphant » et « chaise ». On peut se créer une représentation imagée d'un éléphant assis sur une chaise (Baddeley, 2011).

Enfin, amener l'enfant à prendre conscience de ses difficultés et comprendre pourquoi et comment les stratégies peuvent l'aider, permet de développer ses capacités d'autorégulation. L'accès aux bénéfices de l'entraînement et aux stratégies

travaillées sera aisé, favorisant ainsi leur généralisation. L'enfant devient acteur de son propre fonctionnement (Lussier et Flessas, 2010).

Ainsi, l'apport de stratégies méta-cognitives semble être une valeur ajoutée dans un entraînement de la MT dont les effets sont encore à étudier (Thevenon, 2016).

#### **IV) Quelques exemples d'exercices de MT à proposer à des patients TDA/H**

Les propositions suivantes d'exercices font intervenir du matériel visuospatial et créent une charge exécutive importante.

Ce sont des tâches sollicitant largement la MT bien que l'intervention d'autres fonctions cognitives telles que l'inhibition comportementale, l'attention ou la flexibilité mentale est indéniable. Cette sollicitation multiple de fonctions exécutives illustre leur caractère en partie interdépendant (Diamond, 2013).

- **Jeux du trésor** : Un trésor est caché dans une boîte. L'enfant doit tenter de retrouver le trésor en ouvrant les boîtes une par une. En revanche il ne doit pas ouvrir deux fois la même boîte.

Une fois le trésor trouvé, une nouvelle manche débute. Le trésor est alors caché dans une nouvelle boîte. Le trésor n'est jamais placé deux fois dans la même boîte au cours de la partie. Le sujet doit alors trouver le trésor sans ouvrir les boîtes ayant déjà accueilli le trésor ou les boîtes déjà explorées lors de la manche en cours.

Les boîtes peuvent être différenciables par leur aspect visuel ou identiques.

L'encodage visuospatial peut être doublé d'un encodage verbal en rafraichissant l'information par des notions spatiales (ex : « la boîte à gauche », « celle en dessous »...).

- **Jeux de la chorégraphie** : On montre différents gestes à l'enfant. Chaque geste présenté est associé à un numéro. Le premier geste correspond au numéro 1 et le dernier au 4.

L'enfant doit analyser et mémoriser chaque geste pour être capable de les reproduire à l'identique.

On lui demande ensuite de réaliser un enchaînement reprenant tout ou partie des gestes dans un ordre différent de celui de présentation.

Pour réaliser la séquence 2→4→3→1, le sujet doit manipuler les informations stockées en MT pour les réorganiser dans l'ordre adéquat.

On peut faire appel à la stratégie d'ordre en rafraichissant d'abord le stockage des différents gestes puis en les manipulant pour les organiser dans l'ordre demandé.

Cette activité reprend l'idée de « la phrase à rebours » de Barthes (2008) ou l'enfant doit reproduire une séquence de gestes dans l'ordre inverse de présentation. Dans un protocole de rééducation de la MT, elle propose également un exercice de synthèse de posture. Ce dernier exercice implique d'observer trois postures différentes. La première mobilise les membres inférieurs, la seconde le membre supérieur au niveau axial et enfin la troisième les membres supérieurs en distal. Il est alors demandé à l'enfant de stocker et manipuler les informations pour proposer une posture finale faisant la synthèse des trois postures initiales.

- **Jeux du poster** : On présente à l'enfant une affiche avec des objets répartis aléatoirement selon les quatre points cardinaux.

L'enfant prend un temps d'observation de l'affiche et tente de la mémoriser.

Ensuite, l'affiche est masquée et l'on demande de restituer les éléments en les classant selon des critères visuels et ou spatiaux. Par exemple « Quels étaient les objets de couleur jaune ? », « Quels étaient les objets situés à droite de l'affiche ? », « quels étaient les objets situés au-dessus du ballon ? »

Cette épreuve met en évidence l'intérêt de la stratégie de double codage de l'information en associant le nom de chaque item avec sa localisation spatiale. On peut également proposer la stratégie de regroupement en tentant d'associer mentalement plusieurs objets à la localité similaire.

## ***FJ DISCUSSION***

Les études en neuroimagerie ont permis de mettre en évidence des corrélations entre structures cérébrales soutenant le fonctionnement exécutif, dont la MT, avec celles décrites comme étant altérées chez les patients TDA/H. En effet des zones essentielles pour la MT présentent des anomalies morphovolumétriques ou des retards de maturation. Avec les possibilités de réorganisation neuronales offertes par la plasticité cérébrale, on comprend aisément l'intérêt que suscite une perspective de rééducation de la MT chez des patients TDA/H.

Toutefois, s'il semble bien exister un lien intime entre MT et la triade inattention, hyperactivité et impulsivité. Les études actuelles ne vont pas dans le sens d'une

suprématie indiscutable d'un déficit de MT comme cause centrale des difficultés propres aux sujets TDA/H. Pour le moment la recherche n'appuie pas de manière unanime le modèle explicatif de Rapport (2001).

Par ailleurs, les tentatives de rééducation en ciblant isolément d'autres domaines neuropsychologiques, telles que l'attention, ne se sont pas montrées concluantes (Cortese, 2015). Cela nous fait penser que concevoir les fonctions exécutives isolément pourrait être une erreur. La classification des fonctions supérieures ne fait pas consensus dans la littérature. Elles sont intriquées les unes aux autres, donnant naissance à des fonctions « composites ». Le quotidien nous met très rarement face à des problèmes recrutant une seule fonction cognitive (Diamond, 2013). Il en est de même dans les activités proposées en prise en charge psychomotrice qui tendent à se rapprocher de situations écologiques.

Ces données sous-entendent de combiner la sollicitation de différentes fonctions cognitives dans un même programme rééducatif sans chercher à les isoler. Le déficit exécutif objectivé chez une large proportion de sujets TDA/H pourrait être plus global que ne laisse supposer les modèles explicatifs présentés dans ce mémoire (Rapport, (2001) ; Barkley, (1997)).

L'hétérogénéité du trouble est également à prendre en compte. Le déficit exécutif est parfois rapporté chez seulement une moitié des sujets diagnostiqués TDA/H (Coghill, 2014). On peut aussi supposer qu'entre deux sujets, le déficit exécutif ne sera pas identique. Et si les deux sujets objectivent des difficultés aux tests, le degré d'atteinte des différents domaines pourrait différer. Ce postulat conforte l'idée d'axer un travail de remédiation cognitive combinant plusieurs fonctions. Par leur interdépendance, la sollicitation d'une fonction préservée pourrait soutenir le développement d'une fonction plus déficitaire. Cela reprend un principe nous paraissant essentiel en psychomotricité qui est de s'appuyer sur les points forts du sujet pour amorcer un travail sur les difficultés.

La création d'un protocole de rééducation tenant compte de ces indications constitue une perspective de recherche très intéressante. Elle concerne largement le psychomotricien du fait du lien entretenu entre fonction exécutive et possibilité d'action. Rappelons par exemple que Baddeley (2000) considère que la fonction première de la MT est de permettre l'action immédiate. Ainsi une MT fonctionnelle serait un prérequis pour agir de manière adaptée. Le psychomotricien, défenseur d'une unicité corps-psychisme devrait assurément considérer ce lien entre cognition

et action. En prise en charge il semble primordial de prendre en compte cet aspect cognitif (le psychisme) pour envisager des problématiques plus motrices et comportementales (le corps en action).

Dans l'attente d'un programme de remédiation cognitive atténuant amplement la symptomatologie des patients TDA/H qui serait solidement approuvé par la littérature scientifique. Il demeure prudent d'envisager en psychomotricité, la remédiation cognitive comme un simple outil de rééducation parmi d'autres. Nous encourageons ici à envisager la prise en charge psychomotrice des enfants TDA/H avec une approche multimodale.

Ainsi le psychomotricien peut proposer en plus d'une approche cognitive combinée, une approche méta-cognitive par l'apprentissage de stratégies évoquées dans ce mémoire.

De même cette approche cognitive peut venir compléter une intervention pharmacologique pour tenter de majorer les bénéfices. Il est également pertinent de proposer en parallèle, une prise en charge comportementale en visant directement la réduction des symptômes ou encore l'association avec une guidance parentale comme le recommande la Haute Autorité de Santé (HAS, 2014).

## ***GJ CONCLUSION GENERALE***

La modélisation de la MT permet d'appréhender facilement son mécanisme et les situations pour lesquelles elle va être primordiale. De plus, le modèle de Baddeley (2000) permet de comprendre le fonctionnement des différents composants de la MT et leurs spécificités.

La MT est essentielle pour réaliser de nombreuses activités quotidiennes. Elle permet de maintenir accessible à la pensée les règles et l'objectif d'une tâche mais aussi d'anticiper et programmer sa réponse en traitant les informations stockées temporairement. Elle soutient également les possibilités d'apprentissage par l'imitation en reproduisant l'ensemble des étapes d'une séquence motrice.

Dans un environnement instable en constante évolution, on comprend que l'altération d'une telle fonction aura des répercussions en cascade sur les possibilités d'adaptation du sujet. C'est ainsi que Rapport (2001) a construit son modèle

explicatif du TDA/H en plaçant le déficit de MT comme base pathologique générant des difficultés à différents niveaux.

Il n'y a pas d'évidence d'un déficit de capacité de MT verbale dans le TDA/H. Par contre une altération dans le domaine visuospatial semble être une réalité (Martinussen, 2005). Les enfants TDA/H présentent souvent des difficultés de stockage et de traitement d'informations visuospatiales (Martinussen et Tannock, 2006). Or ce domaine intéresse tout particulièrement le psychomotricien. En effet une MT visuospatiale altérée va avoir un impact direct sur les possibilités d'actions. Sans elle on ne peut pas se repérer dans l'espace, on ne peut pas non plus apprendre de nouvelles séquences motrices par imitation. De plus, certains résultats, bien que nuancés, suggèrent une possible amélioration des symptômes comportementaux inhérents au TDA/H. Rappelons que les problématiques motrices présentes dans ce trouble à la prévalence élevée en fait un public majeur pour les psychomotriciens. De plus, la cognition semble avoir un lien étroit avec l'aspect moteur. En effet de nombreuses études rapportent une cause à effet entre MT déficitaire et manifestations motrices indésirables. C'est notamment le cas pour l'impulsivité (Patros, 2015), l'hyperactivité (Hinson, 2003) ou encore l'inattention (Diamond, 2005 ; Kofler, 2009).

Une intervention ciblant les processus de MT est tout à fait pertinente pour le psychomotricien. Toutefois, comme nous l'avons explicité dans notre discussion, la rééducation de la MT se doit d'être combinée avec d'autres fonctions dans une approche multimodale.

Les multiples études reprenant les composants de la MT et les diverses tentatives de rééducation de la MT permettent de dégager des éléments clés de l'approche cognitive. En effet, en connaissant les processus de la MT les plus altérés chez des sujets TDA/H, le psychomotricien peut déterminer les outils d'évaluation appropriés et adapter le cadre de sa prise en charge dans le but d'optimiser les gains du patient et s'assurer de leur transfert au quotidien.

## **Bibliographie :**

- Albaret, J. M. (2006). Note de synthèse sur les programmes d'auto-instructions dans la prise en charge de l'enfant TDA/H. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 18(90), 324-329.
- Albaret, J.-M. (2005). Le TDA/H comme trouble de l'inhibition comportementale et de l'auto-contrôle : le modèle de Barkley. In F. Joly (Ed.), *L'hyperactivité en débat* (pp. 146-148). Toulouse : Erès.
- Alderson, R. M., Kasper, L. J., Hudec, K. L., & Patros, C. H. (2013). Attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) and working memory in adults: a meta-analytic review. *Neuropsychology*, 27(3), 287.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., & Elliott, J. (2010). Examining the link between working memory behaviour and academic attainment in children with ADHD. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 52(7), 632-636.
- Alvarez, G. A., & Cavanagh, P. (2004). The capacity of visual short-term memory is set both by information load and by number of objects. *Psychological Science*, 15, 106-111.
- Andrade, B. F., Brodeur, D. A., Waschbusch, D. A., Stewart, S. H., & McGee, R. (2009). Selective and sustained attention as predictors of social problems in children with typical and disordered attention abilities. *Journal of Attention Disorders*.
- Anguera, J. A., Bernard, J. A., Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Benson, B. L., Jennett, S., et al. (2012). The effects of working memory resource depletion and training on senso- rimotor adaptation. *Behavioural Brain Research*, 228, 107–115.
- Awh, E., Jonides, J., & Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(3), 780.
- Baddeley AD. (1986). *Working Memory*. Oxford, UK: Oxford Univ. Press.
- Baddeley AD. (2007). *Working Memory, Thought and Action*. Oxford, UK: Oxford Univ. Press
- Baddeley, A. (1996). The fractionation of working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(24), 13468-13472.

- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory?. *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2003). Working memory and language: An overview. *Journal of communication disorders*, 36(3), 189-208.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual review of psychology*, 63, 1-29.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2011). Binding in visual working memory: The role of the episodic buffer. *Neuropsychologia*, 49(6), 1393-1400.
- Baddeley, A., Chincotta, D., Stafford, L., & Turk, D. (2002). Is the word length effect in STM entirely attributable to output delay? Evidence from serial recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55A(2), 353–369.
- Bange et Vieyra (2014), in Bange F. (2014). *Aide-mémoire des TDA/H*. ed Dunod.
- Bange F. (2014). *Aide-mémoire des TDA/H*. ed Dunod.
- Barkley, R. A. (Ed.). (2014). *Attention-deficit hyperactivity disorder: A handbook for diagnosis and treatment*. Guilford Publications.
- Barkley, R. A., Cook, E. H., Diamond, A., Zametkin, A., Thapar, A., & Teeter, A. (2002). International consensus statement on ADHD. January 2002. *Clin Child Fam Psychol Rev*, 5(2), 89-111.
- Barkley, R. A., Murphy, K. R., & Bush, T. (2001). Time perception and reproduction in young adults with attention deficit hyperactivity disorder. *Neuropsychology*, 15(3), 351.
- Barkley, R.A. (1997). *ADHD and the nature of self-control*. New York : Guilford.
- Barthes Delphine (2008). *Rééducation de la mémoire de travail non verbale chez un enfant présentant un TDA/H*.
- Beauchamp, M. H., Thompson, D. K., Howard, K., Doyle, L. W., Egan, G. F., Inder, T. E., & Anderson, P. J. (2008). Preterm infant hippocampal volumes correlate with later working memory deficits. *Brain*, 131(11), 2986-2994.

- Beck, S. J., Hanson, C. A., Puffenberger, S. S., Benninger, K. L., & Benniger, W. B. (2010). A controlled trial of working memory training for children and adolescents with ADHD. *Journal of Clinical and Adolescent Psychology*, 39, 825–836.
- Bédard, A. C. V., Newcorn, J. H., Clerkin, S. M., Krone, B., Fan, J., Halperin, J. M., & Schulz, K. P. (2014). Reduced prefrontal efficiency for visuospatial working memory in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 53(9), 1020-1030.
- Berk, L. E., & Potts, M. K. (1991). Development and functional significance of private speech among attention-deficit hyperactivity disorder and normal boys. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 19, 1991, pp. 257-277.
- Berquin P, Castellanos FX, Giedd JN, Liu H, Rapoport JL. Functional MRI in attention deficit-hyperactivity disorder. *Brain & Development* 1998; 20: 437.
- Biederman, J., Petty, C. R., Evans, M., Small, J., & Faraone, S. V. (2010). How persistent is ADHD? A controlled 10-year follow-up study of boys with ADHD. *Psychiatry research*, 177(3), 299-304.
- Bollmann, S., Ghisleni, C., Poil, S. S., Martin, E., Ball, J., Eich-Höchli, D., ... & Brandeis, D. (2015). Age-dependent and-independent changes in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) during spatial working memory performance. *The World Journal of Biological Psychiatry*, 1-12.
- Brocki, K. C., & Bohlin, G. (2004). Executive functions in children aged 6 to 13: A dimensional and developmental study. *Developmental neuropsychology*, 26(2), 571-593.
- Brocki, K. C., & Bohlin, G. (2006). Developmental change in the relation between executive functions and symptoms of ADHD and co-occurring behavior problems. *Infant and Child Development*, 15, 19–40.
- Burgess, G. C., Depue, B. E., Ruzic, L., Willcutt, E. G., Du, Y. P., & Banich, M. T. (2010). Attentional control activation relates to working memory in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological psychiatry*, 67(7), 632-640.
- Bush G, Vogt BA, Holmes J, Dale AM, Greve D, Jenike MA, et al (2002): Dorsal anterior cingulate cortex: A role in reward-based decision making. *Proc Natl Acad Sci U S A* 99:523–528.
- Bush, G., Valera, E. M., & Seidman, L. J. (2005). Functional neuroimaging of attention-deficit/hyperactivity disorder: a review and suggested future directions. *Biological psychiatry*, 57(11), 1273-1284.

- Buzy, W. M., Medoff, D. R., & Schweitzer, J. B. (2009). Intra-individual variability among children with ADHD on a working memory task: An ex-Gaussian approach. *Child Neuropsychology*, 15, 441–459.
- Castellanos FX, Tannock R (2002): Neuroscience of attention-deficit/hyper- activity disorder: The search for endophenotypes. *Nat Rev Neurosci* 3:617– 628.
- Castellanos, F. X., Lee, P. P., Sharp, W., Jeffries, N. O., Greenstein, D. K., Clasen, L. S., ... & Zijdenbos, A. (2002). Developmental trajectories of brain volume abnormalities in children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Jama*, 288(14), 1740-1748.
- Castellanos, F. X., Sonuga-Barke, E. J., Milham, M. P., & Tannock, R. (2006). Characterizing cognition in ADHD: beyond executive dysfunction. *Trends in cognitive sciences*, 10(3), 117-123.
- Castellanos, F.X. et al. (2005) Varieties of attention-deficit/hyper- activity disorder-related intra-individual variability. *Biol. Psychiatry* 57, 1416–1423.
- Coghill DR, Hayward D, Rhodes SM, Grimmer C, Matthews K (2013). A longitudinal examination of neuropsychological and clinical functioning in boys with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD): improvements in executive functioning do not explain clinical improvement. *Psychological Medicine*.44(5), 1087-1099.
- Coghill DR, Rhodes SM, Matthews K (2007). The neuropsychological effects of chronic methylphenidate on drug-naive boys with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry* 62, 954–962.
- Coghill, D. R., Seth, S., & Matthews, K. (2014). A comprehensive assessment of memory, delay aversion, timing, inhibition, decision making and variability in attention deficit hyperactivity disorder: advancing beyond the three-pathway models. *Psychological medicine*, 44(09), 1989-2001.
- Cogmed. (2011) ADHD and working memory.
- Colle HA, Welsh A. (1976). Acoustic masking in primary memory. *J. Verbal Learn. Verbal Behav.* 15:17–32
- Conners, CK. Conners (1997). Rating Scales – Revised: Long Form. Multi-Heath Systems; North Tonawanda, NY.
- Corsi, P. M. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain. *Dissertation Abstracts International*, 34, 819B.

- Cortese, S., Ferrin, M., Brandeis, D., Buitelaar, J., Daley, D., Dittmann, R. W., ... & Zuddas, A. (2015). Cognitive training for attention-deficit/hyperactivity disorder: meta-analysis of clinical and neuropsychological outcomes from randomized controlled trials. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 54(3), 164-174.
  
- Coyette F, Verreclt E, Seron X. (2003). Rééducation des troubles de l'administrateur central de la mémoire. In: Meulemans T, Desgranges B, Adam S, Eustache F (eds). Évaluation et prise en charge des troubles mnésiques. Marseille: Solal, 2003:293-314.
  
- D'Esposito, M., Aguirre, G. K., Zarahn, E., Ballard, D., Shin, R. K., & Lease, J. (1998). Functional MRI studies of spatial and nonspatial working memory. *Cognitive Brain Research*, 7(1), 1-13.
  
- D'Esposito, M., Postle, B. R., Ballard, D., & Lease, J. (1999). Maintenance versus manipulation of information held in working memory: an event-related fMRI study. *Brain and cognition*, 41(1), 66-86.
  
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 19(4), 450-466.
  
- Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N., & Wilson, L. (1999). Pattern span: a tool for unwelding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia*, 37(10), 1189-1199.
  
- Diamond, A. (1985). Development of the ability to use recall to guide action, as indicated by infants' performance on AB. *Child development*, 868-883.
  
- Diamond, A. (2005). Attention-deficit disorder (attention-deficit/hyperactivity disorder without hyperactivity): a neurobiologically and behaviorally distinct disorder from attention-deficit/hyperactivity disorder (with hyperactivity). *Development and psychopathology*, 17(03), 807-825.
  
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135.
  
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, 333(6045), 959-964.
  
- Diamond, A., & Wright, A. (2014). An effect of inhibitory load in children while keeping working memory load constant. *Frontiers in psychology*, 5, 213.

- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Neuroplasticity: changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427(6972), 311-312.
- Du Boisgueheneuc, F., Levy, R., Volle, E., Seassau, M., Duffau, H., Kinkingnehun, & Dubois, B. (2007). Functions of the left superior frontal gyrus in humans: a lesion study. *Brain*, 129(12), 3315-3328.
- Durston, S. (2003). A review of the biological bases of ADHD: what have we learned from imaging studies?. *Mental retardation and developmental disabilities research reviews*, 9(3), 184-195.
- Duval, J. Coyette, F, Seron, X. (2007). Programme multifactoriel, cognitif et écologique de rééducation de l'administrateur central de la mémoire de travail. In Aubin, G., Coyette, F. Pradat-Diehl, P. Vallat-Azouvi, C. (Eds.). *Neuropsychologie de la mémoire de travail*. pp. 211-240. Solal. Marseille.
- Emond, V., Joyal, C., & Poissant, H. (2009). Neuroanatomie structurelle et fonctionnelle du trouble déficitaire d'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH). *L'Encéphale*, 35(2), 107-114.
- Fassbender, C., Schweitzer, J. B., Cortes, C. R., Tagamets, M. A., Windsor, T. A., Reeves, G. M., & Gullapalli, R. (2011). Working memory in attention deficit/hyperactivity disorder is characterized by a lack of specialization of brain function. *PLoS One*, 6(11), e27240.
- Fuster J. M. (1997) *The Prefrontal Cortex: Anatomy, physiology and neuropsychology of the frontal lobe*. New York: Lippincott-Raven.
- Gathercole, S. E., Brown, L., & Pickering, S. J. (2003). Working memory assessments at school entry as longitudinal predictors of National Curriculum attainment levels. *Educational and Child Psychology*, 20(3), 109-122.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental psychology*, 40(2), 177.
- Gathercole. S. E., & Baddeley, A. D. (1993). *Working memory and language*
- Goldman-Rakic, P. S. (1987). Circuitry of primate prefrontal cortex and regulation of behavior by representational memory. *Comprehensive Physiology*.

- Goodman, R., Simonoff, E., & Stevenson, J. (1995). The impact of child IQ, parent IQ and sibling IQ on child behavioural deviance scores. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 36(3), 409-425.
- Green, C. T., Long, D. L., Green, D., Iosif, A. M., Dixon, J. F., Miller, M. R., et al. (2012). Will working memory training generalize to improve off-task behavior in children with attention-deficit/hyperactivity disorder? *Neurotherapeutics*, 9, 639–648.
- HAS. (2014) Conduite à tenir en médecine de premier recours devant un enfant ou un adolescent susceptible d'avoir un trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité.
- Hinson, J.M., Jameson, T.L, Whitney, P. (2003). Impulsive Decision Making and Working Memory, in *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, vol 29, No 2, 298-306.
- Hoekzema, E., Carmona, S., Ramos-Quiroga, J. A., Barba, E., Bielsa, A., Tremols, V., ... & Tobena, A. (2011). Training-induced neuroanatomical plasticity in ADHD: A tensor-based morphometric study. *Human brain mapping*, 32(10), 1741-1749.
- Holmes, J., Gathercole, S. E., Place, M., Dunning, D. L., Hilton, K. A., & Elliott, J. G. (2010). Working memory deficits can be overcome: Impacts of training and medication on working memory in children with ADHD. *Applied Cognitive Psychology*, 24, 827–836.
- Johnson, D. A., Roethig-Johnston, K., & Middleton, J. (1988). Development and evaluation of an attentional test for head injured children—1. Information processing capacity in a normal sample. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 29(2), 199-208.
- Jones DM, Macken WJ. (1993). Irrelevant tones produce an irrelevant speech effect: implications for phonological coding in working memory. *J. Exp. Psychol.: Learn. Mem. Cogn.* 19:369–81
- Kane, M. J., Conway, A. R., Miura, T. K., & Colflesh, G. J. (2007). Working memory, attention control, and the N-back task: a question of construct validity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(3), 615.
- Kasper, L. J., Alderson, R. M., & Hudec, K. L. (2012). Moderators of working memory deficits in children with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): a meta-analytic review. *Clinical psychology review*, 32(7), 605-617.

- Kim, S., Liu, Z., Glizer, D., Tannock, R., & Woltering, S. (2014). Adult ADHD and working memory: neural evidence of impaired encoding. *Clinical Neurophysiology*, 125(8), 1596-1603.
  
- Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 317–324.
  
- Klingberg, T., & Forssberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 781–791.
  
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlström, K., et al. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD — A randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44, 177–186.
  
- Kofler, M. J., Alderson, R. M., Raiker, J. S., Bolden, J., Sarver, D. E., & Rapport, M. D. (2014). Working memory and intraindividual variability as neurocognitive indicators in ADHD: examining competing model predictions. *Neuropsychology*, 28(3), 459.
  
- Kofler, M. J., Rapport, M. D., Bolden, J., Sarver, D. E., & Raiker, J. S. (2009). ADHD and working memory: the impact of central executive deficits and exceeding storage/rehearsal capacity on observed inattentive behavior. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 38(2), 149-161.
  
- Kofler, M. J., Rapport, M. D., Bolden, J., Sarver, D. E., & Raiker, J. S. (2010). ADHD and working memory: the impact of central executive deficits and exceeding storage/rehearsal capacity on observed inattentive behavior. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 38, 149–161.
  
- Kofler, M. J., Rapport, M. D., Bolden, J., Sarver, D. E., Raiker, J. S., & Alderson, R. M. (2011). Working memory deficits and social problems in children with ADHD. *Journal of abnormal child psychology*, 39(6), 805-817.
  
- Lahey, B. B., & Willcutt, E. G. (2010). Predictive validity of a continuous alternative to nominal subtypes of attention-deficit/hyperactivity disorder for DSM–V. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 39(6), 761-775.
  
- Lawrence, B. M., Myerson, J., Oonk, H. M., & Abrams, R. A. (2001). The effects of eye and limb movements on working memory. *Memory*, 9(4-6), 433-444.
  
- Levy & Volle (2007), in Aubin. G, Coyete. Pradat-Dielph. P, Vallat-Azouvi. C (2007), Neuropsychologie de la mémoire de travail. Edition SOLAL.

- Levy, R., & Goldman-Rakic, P. S. (2000). Segregation of working memory functions within the dorsolateral prefrontal cortex. In *Executive control and the frontal lobe: Current issues* (pp. 23-32). Springer Berlin Heidelberg.
- Li, D., Christ, S. E., & Cowan, N. (2014). Domain-general and domain-specific functional networks in working memory. *NeuroImage*, 102, 646-656.
- Logie RH. (1995). *Visuo-Spatial Working Memory*. Hove, UK: Erlbaum.
- Logie, R. H., & Pearson, D. G. (1997). The inner eye and the inner scribe of visuo-spatial working memory: Evidence from developmental fractionation. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9(3), 241-257.
- Lussier, F. & Flessas J. (2010). Rééduquer les fonctions attentionnelle et exécutive : une approche métacognitive. In *Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité sous la direction de O. Revol et V. Brun*. Elsevier Masson (pp. 54-64).
- Mahone, E. M., Crocetti, D., Ranta, M. E., Gaddis, A., Cataldo, M., Slifer, K. J., ... & Mostofsky, S. H. (2011). A preliminary neuroimaging study of preschool children with ADHD. *The Clinical Neuropsychologist*, 25(6), 1009-1028.
- Makris, N., Seidman, L. J., Valera, E. M., Biederman, J., Monuteaux, M. C., Kennedy, D. N., ... & Faraone, S. V. (2010). Anterior Cingulate Volumetric Alterations in Treatment-Naïve Adults With ADHD A Pilot Study. *Journal of attention disorders*, 13(4), 407-413.
- Martinussen, R., & Tannock, R. (2006). Working memory impairments in children with attention-deficit hyperactivity disorder with and without comorbid language learning disorders. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 28(7), 1073-1094.
- Martinussen, R., Hayden, J., Hogg-Johnson, S., & Tannock, R. (2005). A meta-analysis of working memory impairments in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44(4), 377-384.
- Mayes, S. D., Calhoun, S. L., & Crowell, E. W. (2000). Learning disabilities and ADHD overlapping spectrum disorders. *Journal of learning disabilities*, 33(5), 417-424.
- Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2012). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental psychology*, 49(2), 270.

- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1), 49-100.
- Moret (2013), in Moret, A. C., & Mazeau, M. (2013). *Le syndrome dys-exécutif chez l'enfant et l'adolescent: Répercussion scolaires et comportementales*. Elsevier Masson. Page 42.
- Neveux, L., & Albaret, J.-M. (2014). Rééducation psychomotrice chez l'enfant et l'adolescent. In F. Bange (Ed.), *Aide-mémoire TDA/H Trouble Déficit de l'Attention/Hyperactivité* (pp. 405-416). Paris : Dunod.
- Nigg, J. T. (2001). Is ADHD a disinhibitory disorder? *Psychological bulletin*, 127(5), 571.
- Norman DA, Shallice T. (1986). Attention to action: willed and automatic control of behaviour. In *Consciousness and Self-Regulation. Advances in Research and Theory*, ed. RJ Davidson, GE Schwartz, D Shapiro, pp. 1–18. New York: Plenum.
- Owen, A. M., & Evans, A. C. (1996). Evidence for a two-stage model of spatial working memory processing within the lateral frontal cortex: a positron emission tomography study. *Cerebral Cortex*, 6(1), 31-38.
- Patros, C. H., Alderson, R. M., Lea, S. E., Tarle, S. J., Kasper, L. J., & Hudec, K. L. (2015). Visuospatial working memory underlies choice-impulsivity in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Research in developmental disabilities*, 38, 134-144.
- Pearson, D., & Sahraie, A. (2003). Oculomotor control and the maintenance of spatially and temporally distributed events in visuo-spatial working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 56(7), 1089-1111.
- Phillips, L. H., Tunstall, M., & Channon, S. (2007). Exploring the role of working memory in dynamic social cue encoding using dual task methodology. *Journal of Nonverbal Behavior*, 31, 137–152.
- Phillips, W. A. (1974). On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception & Psychophysics*, 16, 283-290.
- Pickering, S. J. (2001). The development of visuo-spatial working memory. *Memory*, 9(4-6), 423-432.

- Pochon, J. B., Levy, R., Fossati, P., Lehericy, S., Poline, J. B., Pillon, B., ... & Dubois, B. (2002). The neural system that bridges reward and cognition in humans: an fMRI study. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(8), 5669-5674.
  
- Polanczyk, G., de Lima, M. S., Horta, B. L., Biederman, J., & Rohde, L. A. (2007). The worldwide prevalence of ADHD: a systematic review and metaregression analysis. *American journal of psychiatry*.
  
- Postle, B. R., Idzikowski, C., Della Sala, S., Logie, R. H., & Baddeley, A. D. (2006). The selective disruption of spatial working memory by eye movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(1), 100–120.
  
- Prins, P. J., DAVIS, S., Ponsioen, A., Ten Brink, E., & Van der Oord, S. (2011). Does computerized working memory training with game elements enhance motivation and training efficacy in children with ADHD?. *Cyberpsychology, behavior, and social networking*, 14(3), 115-122.
  
- Proal, E., Reiss, P. T., Klein, R. G., Mannuzza, S., Gotimer, K., Ramos-Olazagasti, M. A., ... & Milham, M. P. (2011). Brain gray matter deficits at 33-year follow-up in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder established in childhood. *Archives of General Psychiatry*, 68(11), 1122-1134.
  
- Rapport, M. D., Alderson, R. M., Kofler, M. J., Sarver, D. E., Bolden, J., & Sims, V. (2008). Working memory deficits in boys with attention- deficit/hyperactivity disorder (ADHD): The contribution of central ex- ecutive and subsystem processes. *Journal of Abnormal Child Psychol- ogy*, 36, 825–837.
  
- Rapport, M. D., Chung, K. M., Shore, G., & Isaacs, P. (2001). A conceptual model of child psychopathology: Implications for understanding attention deficit hyperactivity disorder and treatment efficacy. *Journal of Clinical Child Psychology*, 30(1), 48-58.
  
- Rapport, M. D., Chung, K., Shore, C., Denney, C. B., & Isaacs, P. (2000). Upgrading the science and technology of assessment and diagnosis: laboratory and clinic-based assessment of children with ADHD. *Journal of Clinical Child Psychology*, 29, 555–568.
  
- Rapport, M. D., Orban, S. A., Kofler, M. J., & Friedman, L. M. (2013). Do programs designed to train working memory, other executive functions, and attention benefit children with ADHD? A meta-analytic review of cognitive, academic, and behavioral outcomes. *Clinical psychology review*, 33(8), 1237-1252.

- Repovš, G., & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139(1), 5-21.
- Rhodes, S. M., Park, J., Seth, S., & Coghill, D. R. (2012). A comprehensive investigation of memory impairment in attention deficit hyperactivity disorder and oppositional defiant disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53(2), 128-137.
- Rossi-Arnaud, C., Pieroni, L., & Baddeley, A. D. (2006). Symmetry and binding in visuo-spatial working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 139, 393–400.
- Rubia, K., Overmeyer, S., Taylor, E., Brammer, M., Williams, S. C., Simmons, A., & Bullmore, E. T. (1999). Hypofrontality in attention deficit hyperactivity disorder during higher-order motor control: a study with functional MRI. *American Journal of Psychiatry*.
- Schachar R, Mota VL, Logan GD, Tannock R, Klim P (2000): Confirmation of an inhibitory control deficit in attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Abnorm Child Psychol* 28:227–235.
- Schweitzer JB, Faber TL, Grafton ST, Tune LE, Hoffman JM, Kilts CD (2000): Alterations in the functional anatomy of working memory in adult attention deficit hyperactivity disorder. *Am J Psychiatry* 157:278 –280.
- Seidman LJ, Valera EM, Bush G (2004): Brain function and structure in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Psychiatr Clin North Am* 27: 323–347.
- Sergeant, J. A., Geurts, H., & Oosterlaan, J. (2002). How specific is a deficit of executive functioning for attention-deficit/hyperactivity disorder?. *Behavioural brain research*, 130(1), 3-28.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 298(1089), 199-209.
- Shaw, P., Gilliam, M., Liverpool, M., Weddle, C., Malek, M., Sharp, W., ... & Giedd, J. (2011). Cortical development in typically developing children with symptoms of hyperactivity and impulsivity: support for a dimensional view of attention deficit hyperactivity disorder. *American Journal of Psychiatry*.
- Shipstead, Z., Hicks, K. L., & Engle, R. W. (2013). Cogmed working memory training: Does the evidence support the claims?. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 1(3), 185-193.

- Smith, E. E., Jonides, J., & Koeppe, R. A. (1996). Dissociating verbal and spatial working memory using PET. *Cerebral Cortex*, 6(1), 11-20.
  
- Sonuga-Barke EJ (2002). Psychological heterogeneity in AD/ HD – a dual pathway model of behaviour and cognition. *Behavioral Brain Research* 130, 29–36.
  
- Sonuga-Barke, E. J., Brandeis, D., Cortese, S., Daley, D., Ferrin, M., Holtmann, M., ... & Dittmann, R. W. (2014). Nonpharmacological interventions for ADHD: systematic review and meta-analyses of randomized controlled trials of dietary and psychological treatments. *American Journal of Psychiatry*.
  
- Stroes, A., Alberts, E., & van der Meere, J. (2003). Boys with ADHD in social interaction with a nonfamiliar adult: an observational study. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 42, 295–302.
  
- Thevenon. C (2016). Remédiation neuropsychologique de la mémoire de travail chez un enfant avec tdah: cas clinique / In approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant - a.n.a.e., 141 (mai 2016).
  
- Toplak, M. E., Connors, L., Shuster, J., Knezevic, B., & Parks, S. (2008). Review of cognitive, cognitive-behavioral, and neural-based interventions for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). *Clinical psychology review*, 28(5), 801-823.
  
- Toplak, M. E., Dockstader, C., & Tannock, R. (2006). Temporal information processing in ADHD: findings to date and new methods. *Journal of neuroscience methods*, 151(1), 15-29.
  
- Van der Linden, M., Meulemans, Th., Seron, X., Coyette, F., Andrès, P., & Prairial, C. (2000). L'évaluation des fonctions exécutives. In X. Seron & M. Van der Linden (Eds.), *Traité de Neuropsychologie Clinique*, Tome 1. Marseille: Solal (pp. 115-155).
  
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). Storage of features, conjunctions, and objects in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 92-114.
  
- Volle, E. (2007). Organisation anatomo-fonctionnelle du cortex préfrontal latéral pour la mémoire de travail (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).
  
- Wheeler, M., & Treisman, A. M. (2002). Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131, 48-64.

- Willcutt, E. G., Doyle, A. E., Nigg, J. T., Faraone, S. V., & Pennington, B. F. (2005). Validity of the executive function theory of attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analytic review. *Biological psychiatry*, 57(11), 1336-1346.

- Wolf, R. C., Plichta, M. M., Sambataro, F., Fallgatter, A. J., Jacob, C., Lesch, K. P., ... & Vasic, N. (2009). Regional brain activation changes and abnormal functional connectivity of the ventrolateral prefrontal cortex during working memory processing in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Human brain mapping*, 30(7), 2252-2266.

### Annexes:

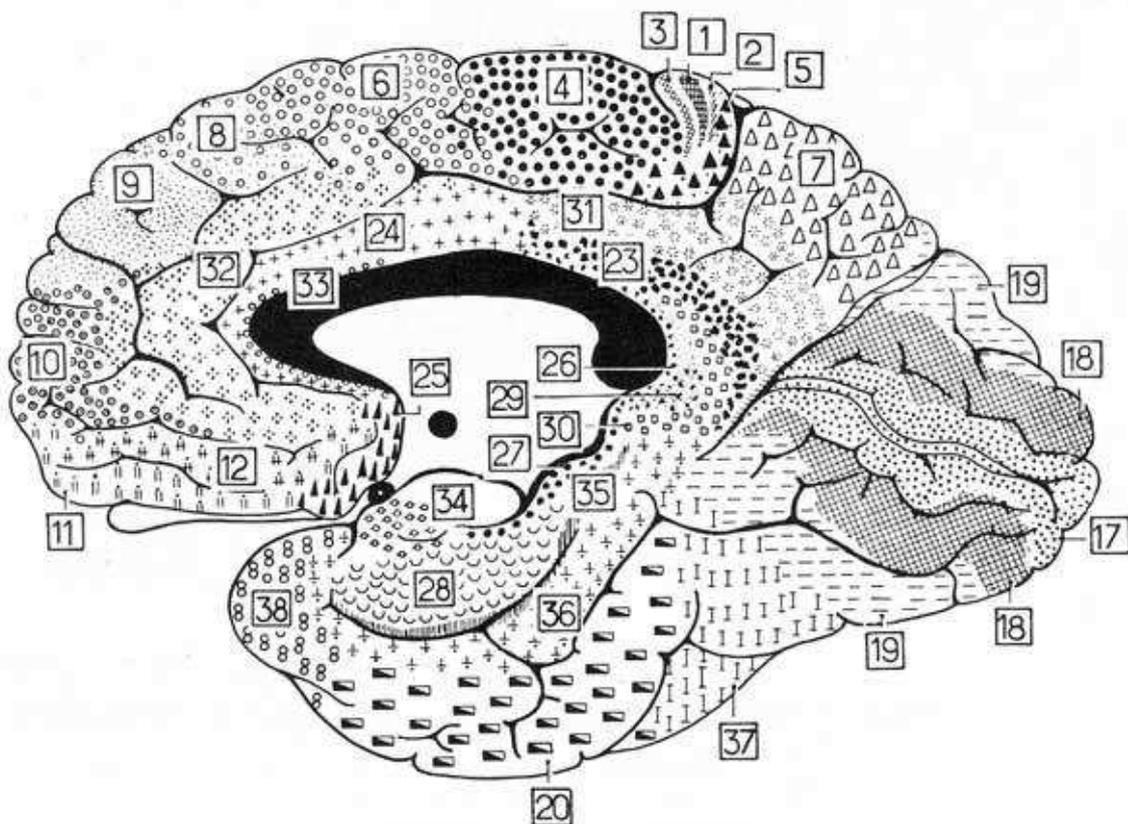


Schéma de la repartition topographique des aires de Brodman  
[http://www.alzheimer-adna.com/Images/Broadmann\\_Int.jpg](http://www.alzheimer-adna.com/Images/Broadmann_Int.jpg)

**Ce mémoire a été supervisé par Mr Jérôme Marquet-Doléac, psychomotricien et formateur à l'Institut de Formation de Psychomotricité de Toulouse.**

### **Résumé:**

Des dysfonctionnements exécutifs sont rapportés chez des patients présentant un trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H). C'est notamment le cas de la mémoire de travail (MT) dans le domaine visuospatial et pour sa composante exécutive. Cette fonction cognitive permet l'adaptation du sujet à l'environnement et aux situations complexes en recrutant les processus de stockage et de manipulation de l'information de la MT. Les anomalies liées au TDA/H et les processus de MT reposent sur des circuits cérébraux communs. Cela suggère qu'un déficit en MT pourrait être en partie responsable des difficultés que les sujets TDA/H rencontrent au quotidien. Enfin si l'amélioration de cette fonction est à envisager dans une prise en charge psychomotrice, les données actuelles issues de la recherche montrent une efficacité mitigée. Elles n'appuient pas suffisamment l'idée qu'un déficit en MT serait central dans le TDA/H. Cela soulève l'hypothèse qu'une remédiation cognitive structurée et plus globale, s'intégrant dans une prise en charge multimodale serait préférable.

Mots-clés : TDA/H, Mémoire De Travail, Entraînement Cognitif, Prise en Charge Psychomotrice

### **Summary:**

Executive deficits are reported in attention-deficit /hyperactivity disorder (ADHD). The Working Memory (WM) is particularly concerned in visuospatial domain and in its executive component. This cognitive function enable subject adaptation to environment and complex situations, using WM storage and manipulation processes to realize short-term actions. ADHD anomalies and WM processes are linked with overlapped neuronal circuits. It suggests that WM could be responsible in part of daily difficulties meet by ADHD subjects. Finally, although WM improvement should be contemplate in psychomotor rehabilitation, actual researches data show mixed results. It shows limited evidence that WM impairment could be central feature in ADHD. It raises the hypothesis that global and structured cognitive training embedded in multimodal intervention would be more valuable.

Key words: ADHD, Working Memory, Cognitive Training, Psychomotor Rehabilitation