

# Les Fonctions exécutives

## Introduction

Les fonctions exécutives sont souvent considérées comme représentant un « *construit* » rassemblant plusieurs fonctions cognitives de haut niveau représentant « l'apogée à la fois de l'évolution et du développement mental » (A.R. Aron, 2008)<sup>120</sup>, tout au moins en l'état actuel de l'évolution de notre branche *Hominidés*...

Chef d'orchestre de la totalité des autres fonctions cognitives au sein desquelles elles interviennent, elles constituent ainsi un « ensemble de processus permettant à un individu de réguler de façon intentionnelle sa pensée et ses actions afin d'atteindre des buts, ceci lorsque la tâche est nouvelle ou complexe » (N. Chevalier, 2010)<sup>121</sup>.

Ce sont A.D. Baddeley et G.J. Hitch (1974)<sup>122</sup> qui en firent la première description sous l'appellation « central executive » (administrateur central) au sein de leur modèle théorique de la mémoire de travail. L'idée de l'existence de ces fonctions cognitives a été la conséquence des observations de sujets cérébrolésés frontaux dont le plus célèbre est Phineas P. Gage (1823-1860), contremaître des Chemins de Fer travaillant dans le Vermont aux E.U. au moment de l'accident, ayant subi un traumatisme frontal majeur auquel il a survécu, un bourroir lui ayant traversé le crâne au niveau des lobes frontaux endommageant surtout le lobe frontal gauche. Dans le même registre, en 1890-91, H. Oppenheim a associé des changements perturbateurs de la personnalité à des atteintes orbito-frontales et mésales (frontal interne).

Les fonctions exécutives permettent d'exercer un contrôle intentionnel sur sa pensée et ses actions en supervisant la mobilisation de toutes les autres fonctions cognitives engagées dans une action orientée vers un but dans deux situations : 1) lorsqu'il n'existe pas de routine (i.e. d'automatisme cognitif) ou quand celles-ci sont inappropriées à l'action parce que cette dernière est nouvelle ; 2) lorsque l'activité est complexe (notion de surcharge cognitive).

Avec d'autres auteurs, D. Hongwanishkul et al. (2005)<sup>123</sup> distinguent encore des fonctions exécutives *hot (chaudes)* quand elles s'appliquent à des situations avec enjeux émotionnels ou motivationnels, et des fonctions exécutives *cool (froides)* quand elles s'appliquent à des problèmes abstraits ou décontextualisés.

La classification actuelle des fonctions exécutives est la suivante :

---

120: Aron, A.R. (2008). Progress in Executive function Research: From tasks, to functions to regions to networks. *Current Directions in Psychological Science*, 17(2):124-9

121 : Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant : concepts et développement. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, 51: 3, 149-163

122 : Baddeley, A.D., Hitch, G.J. (1974). Working memory. In : Bower, GA, (Ed), *Recent Advances in Learning and Motivation*. New York : Academic Press

123 : Hongwanishkul, D., Happaney, K.R., Lee, W.S.C., Zelazo, P.D. (2005) Assessment of hot and cool executive function in young children: age-related changes and individual differences. *Developmental Neuropsychology*, 28: 2, 617-644

- *L'inhibition de la réponse* : les processus d'inhibition ont pour but d'empêcher des informations non pertinentes de venir perturber la tâche en cours : a) *inhibition des réponses non pertinentes* (par ex. d'une réponse motrice ou verbale)
- *La fonction de mise à jour* : Elle recouvre la modification du contenu de la mémoire de travail en fonction des nouvelles entrées.
- *La flexibilité cognitive* : Elle représente la capacité de déplacer volontairement le foyer attentionnel d'une catégorie de stimuli à une autre, comme le passage volontaire d'un processus cognitif à un autre. Cette fonction exécutive considérée comme complexe entretient des liens très étroits avec la fonction d'inhibition, la fonction de mise à jour et la fonction d'orientation attentionnelle : elle se développe sur leur base tout en étant bien distincte.
- *La planification de l'action* : Elle concerne la capacité de construire mentalement un plan et de séquencer ses actions en vue de la réalisation d'un objectif spécifique.
- *La fluidité mentale (générativité/créativité)* : Elle concerne les capacités de créativité, c'est-à-dire les capacités de générer différents mots, dessins, différentes idées, etc... tous différents les uns des autres. Elle est souvent mesurée par des tests de fluence verbale avec laquelle la fluidité verbale est souvent confondue. *La fluence verbale* désigne le nombre de mots que le sujet peut exprimer en un temps donné et selon une consigne donnée. La fluence verbale dépend notamment des capacités élocutoires et articulatoires (organes fonctionnels) mais également des capacités cognitives du sujet (capacités mémorielles, intégratives, exécutives...). *La fluidité verbale* ne concerne que l'aspect élocutoire et articulatoire : débit de la parole, rythme de la parole, aisance à la lecture ou à la répétition de discours... Ainsi, la fluidité verbale est altérée chez un patient souffrant de bégaiement.

On peut également présenter ces fonctions comme comprenant :

- « L'élaboration d'un plan incluant l'estimation du point de départ, du point d'arrivée et des stratégies intermédiaires pour s'y rendre » (*planning*);
- La prise de décision impliquant la capacité de choisir l'action la plus appropriée pour atteindre le but visé (*volition*);
- Le jugement dans lequel intervient l'évaluation des options les plus pertinentes (*purposive action*);
- L'autocorrection qui assure le contrôle et le maintien de la programmation jusqu'à son achèvement complet (*effective performance*) » (F. Lussier et J. Flessas, 2009),

Ce que P.D. Zelazo (2011), à l'instar d'A.R. Luria (1980)<sup>4b</sup>, énonce comme « Imaginer, Planifier, Exécuter et Evaluer » répartissant ainsi en sous-fonctions ce qu'il appelle « *La Fonction Exécutive* ». *Imaginer*, c'est : se représenter le problème, que faut-il faire ? Qu'est-ce qui m'empêche de le faire ? *Planifier*, c'est trouver un plan pour résoudre le problème ; *Exécuter*, c'est mettre en œuvre le plan et *Evaluer*, c'est évaluer l'efficacité de la solution. Pour lui, « La fonction exécutive orchestre toutes ces sous-fonctions » dans le contexte de la résolution de problèmes.

Comme pour le système attentionnel, les différentes composantes du système exécutif sont fonctionnellement indépendantes, mais intrinsèquement en étroite interaction dans une tâche

donnée. C'est ainsi que dans leur recherche princeps, A. Miyake et al (2000)<sup>124</sup> ont montré que trois fonctions exécutives « classiques » (de mise à jour, de flexibilité et d'inhibition) se distinguaient certes clairement l'une de l'autre, mais qu'elles n'apparaissent pas complètement indépendantes et posséderaient quelques processus en commun, d'où le titre de leur article : *L'unité dans la diversité*. C'est cette conception qui semble donc émerger actuellement comme étant la plus probable.

## Données développementales

### Quelques données préliminaires

1) Il est bien établi que le développement des fonctions exécutives est lié aux processus de maturation du cortex préfrontal dans ses diverses composantes concernées (cortex préfrontal dorsolatéral, orbito-frontal et médian), du cortex cingulaire antérieur, mais également aux processus de maturation du cortex pariétal supérieur et des ganglions de la base.

E. E. Nelson and A. E. Guyer (2011)<sup>125</sup> notamment, ont montré que le rythme de maturation du cortex préfrontal est particulièrement intense entre 2 et 6 ans, cette maturation jusqu'à son apogée étant toutefois plus tardive et plus longue que pour les autres régions du cerveau en ne s'achevant que vers la fin de l'adolescence : « Cette longue maturation du cortex préfrontal semble accompagner l'efficiency croissant des fonctions exécutives jusqu'à la fin de l'adolescence » (N. Chevalier, 2010).

Par ailleurs, le processus de myélinisation est linéaire pendant l'enfance et l'on sait qu'il se poursuit du postérieur vers l'antérieur cérébral. Les régions préfrontales sont donc les dernières concernées. Or, il est admis que la substance blanche (tissu du système nerveux central, principalement composé d'axones associées (ou non) à des gaines de myéline) relie différentes aires de la substance grise où se situent les corps cellulaires des neurones. Ce processus permet la connectivité des différents réseaux neuronaux. Il est associé à l'augmentation progressive des capacités fonctionnelles de la substance grise (J.H. Bernstein et D.P. Waber, 2007)<sup>126</sup>

Nous insistons ici sur ce point dans la mesure où les fonctions exécutives reposent sur de larges réseaux neuronaux distribués à grande échelle impliquant bien d'autres structures que le cortex préfrontal, telles le cortex pariétal, temporal et des structures sous-corticales (ganglions de la base - noyaux gris centraux), thalamus). Les études de tracking (visualisation du tracé) des faisceaux de la substance blanche sont donc particulièrement importantes pour comprendre les liens entre ces différentes régions et leurs processus de maturation fonctionnelle.

---

124 : Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, M.J., Witzki, A.H., Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex « frontal lobe » tasks : A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.

125 : Nelson, E.E. & Guyer, A.E. (2011). The Development of the Ventral Prefrontal Cortex and Social Flexibility. *Dev Cogn Neurosci.*, 1(3): 233-245.

126 : Bernstein, J.H. & Waber, D.P. (2007). Bernstein, J. H., & Waber, D. P. (2007). Executive capacities from a developmental perspective. In L. Meltzer (Ed.), *Executive function in education: From theory to practice* (pp. 39-54). New York, NY: Guilford Press.

2) Des facteurs influençant le développement des fonctions exécutives se trouvent également dans l'interaction entre l'environnement et la structuration anatomo-fonctionnelle du cerveau via les processus de plasticité cérébrale ;

3) Il existe aussi un impact du développement du langage, comme nous le verrons un peu plus loin, sur le développement des fonctions exécutives (P.D. Zelazo, 2011 ; J.H. Bernstein et D.P. Waber, 2007). C'est ainsi que « des effets bénéfiques des verbalisations ont été rapportés dans des épreuves mettant en jeu de l'inhibition, de la flexibilité ou encore de la planification. En outre, les enfants dont les capacités langagières sont plus avancées présentent généralement aussi un avantage en ce qui a trait aux fonctions exécutives » (N. Chevalier, 2010).

4) Enfin, il a été montré que les variables socio-économiques modulent le développement des fonctions exécutives. Il est possible que le statut socio-économique influence les compétences langagières qui, à leur tour, médiatisent l'efficacité des fonctions exécutives, ceci étant compatible avec l'impact du langage sur le développement des fonctions exécutives.

Il convient maintenant de s'intéresser au développement des trois principales fonctions exécutives: l'inhibition, la mise à jour (mémoire de travail) et la flexibilité. Le développement de la fonction exécutive de planification (organisation) à l'âge scolaire sera également abordé étant donné son importance pour les apprentissages scolaires.

## **L'inhibition**

Il a été montré que cette fonction exécutive apparaissait très tôt, dès les premiers mois de vie de l'enfant.

A 8 mois, il est connu que les bébés peuvent aller chercher un jouet que l'on vient de cacher sous un tissu. Pour P.D. Zelazo (2011), ce geste témoigne de la mise en œuvre d'une fonction exécutive parce que le bébé a gardé à l'esprit le jouet et qu'il pose un geste (retirer le tissu) pour faire un autre geste (retrouver le jouet). La pensée consciente contrôle le geste orienté vers un but.

Dans le même paradigme du jouet caché, un enfant de 8 mois a néanmoins du mal à résoudre la tâche dite « A-non B » depuis J. Piaget qui l'a mise au point en 1954 : dans cette tâche, on cache un jouet sous un tissu en A. Il y a un deuxième tissu présent en B. Après quelques essais réussis dans la mesure où l'enfant va chercher le jouet en A où il se trouve effectivement, on le cache devant lui en B. Un enfant de 8 mois va alors commettre fréquemment l'erreur de continuer à chercher le jouet en A, erreur dite de persévérance.

C'est à partir de 12 mois que les enfants vont pouvoir inhiber la réponse prépondérante en allant chercher le jouet en B. Cette donnée converge avec les résultats obtenus à d'autres épreuves d'inhibition motrice montrant que cette dernière est efficace à partir de 12 mois.

Néanmoins, si l'on complique le schéma expérimental en augmentant (jusqu'à 5) le nombre de cachettes, les enfants jusqu'à 2 ans continuent à commettre des erreurs de persévérance (P.D. Zelazo, 2011). C'est alors le développement du langage qui permet de réduire ce type d'erreur.

Après 3 ans, durant la période pré-scolaire, il est souvent utilisé des épreuves de type stroop adapté (dire « nuit » devant l'image du soleil et « jour » devant l'image de la lune) ou encore de type go/no-go (donner une réponse pour un type de stimulus et ne pas donner de réponse pour un autre type de stimulus). A ces deux types d'épreuves, il est observé d'importants progrès entre 3 et 6 ans. Ceci nous rappelle les importants progrès en contrôle attentionnel (attention exécutive) observés entre 3 et 7 ans, ces résultats étant à mettre en relation.

Pour l'âge scolaire, A. Roy (2007)<sup>127</sup> a synthétisé les résultats d'un certain nombre d'études à propos de cette maturation de l'inhibition selon les diverses tâches proposées pour la mettre en évidence. Ainsi, entre 6 et 15 ans, on observe avec l'âge des progrès marqués dans la réussite des tâches d'inhibition, mais les niveaux de maturité sont très hétérogènes selon la tâche -test utilisée, avec des courbes développementales diverses d'une tâche ou d'une version à l'autre, voire pour une même tâche selon les auteurs.

### **La mémoire de travail : maintien et mise à jour**

A 6 mois, les bébés se souviennent de l'endroit où ils ont vu disparaître le jouet, ceci après un délai pendant lequel l'expérimentateur leur a présenté des informations non pertinentes, ce qui est une manifestation précoce de la MdT.

Avec des épreuves d'empan à l'envers (répéter une série de chiffres dans l'ordre inverse de celui donné) et d'empan complexe (par exemple rappeler des chiffres et des lettres présentées dans le désordre en les remettant dans l'ordre numérique et alphabétique), on observe une hausse linéaire progressive des performances de 3 à 11 ans, âge auquel le rendement est proche de celui de l'adulte.

Par ailleurs, A.S.C. Thorn et S.E. Gathercole (1999)<sup>128</sup> précisent à propos des deux composantes de la boucle phonologique (stock phonologique et mécanisme de répétition sub-vocale) que le stock phonologique est présent dès 2-3 ans, alors que le processus de répétition sub-vocale n'apparaît que vers l'âge de 7 ans.

Relativement au calepin visuo-spatial, il a été montré qu'à partir de 7-8 ans, les enfants utilisent préférentiellement la voie phonologique pour encoder et stocker des images : ils nomment les objets présentés pour les retenir plutôt que de mémoriser leurs aspects visuo-spatiaux (forme, orientation, etc...). Selon A.S.C. Thorn et S.E. Gathercole (1999), ceci serait un des facteurs les plus importants de l'accroissement de l'efficacité fonctionnelle en association avec l'amélioration des capacités attentionnelles, celle de la vitesse de traitement et le recours à des stratégies de mémorisation.

### **La flexibilité cognitive**

Les épreuves les plus souvent utilisées réfèrent au paradigme dans lequel l'enfant doit traiter des formes ou des couleurs ou des nombres de formes en fonction de la consigne donnée, ceci pendant un certain temps, puis changer en fonction d'une nouvelle consigne. « Dans ce

---

127 : Roy, A. (2007). Fonctions exécutives chez les enfants atteints d'une neurofibromatose de type 1 approche clinique et critique thèse de doctorat – tome i psychologie école doctorale d'Angers

128 : Thorn, A. S. C., & Gathercole, S. E. (1999). Language-specific knowledge and short-term memory in bilingual and non-bilingual children. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52A, 303-324.

type de tâche, la plupart des enfants de 3 ans parviennent à trier une série de cartes en fonction d'une dimension initiale (par ex., la couleur) sur plusieurs essais, mais échouent à changer de dimension (par ex., la forme), et persèverent dans l'utilisation de la dimension initiale. Par contraste, les enfants de 4-5 ans réussissent généralement à effectuer cette bascule. Ces résultats suggèrent que les capacités de flexibilité cognitive connaissent un très fort développement durant la période préscolaire, en particulier de 3 à 4 ans » (N. Chevalier, 2010).

Entre 7 et 15 ans, on observe la progression de la maturation de cette fonction.

### **Données développementales pour les tests de planification**

Entre 6 et 15 ans, « les effets liés à l'âge témoignent d'une amélioration progressive et constante des capacités de résolution de problèmes et d'organisation visuoconstructive de l'enfance à la fin de l'adolescence, certaines données témoignant cependant d'un ralentissement marqué des progrès à l'adolescence » (A. Roy, 2007).

Remarques conclusives importantes sur ces données développementales :

Nous pouvons constater que les études développementales des fonctions exécutives chez l'enfant et l'adolescent confirment que celles-ci sont simultanément diverses, partiellement indépendantes, mais en interaction permanente étroite.

Au final, contrairement à ce que l'on pensait sur l'efficacité du contrôle exécutif qui ne l'aurait été qu'à l'adolescence, les données rapportées montrent que des formes de contrôle exécutif efficace sont observées dès le 12<sup>ème</sup> mois de vie. Les progrès concernant les différentes fonctions exécutives sont constants tout au long de l'enfance et de l'adolescence, même si la période préscolaire de 3 à 6 ans est le théâtre des plus forts. Ce développement des fonctions exécutives est donc relativement long et se caractérise par des trajectoires développementales de plus en plus différenciées avec l'âge. Ces dernières se termineraient à l'âge adulte seulement.

## **Les troubles des fonctions exécutives**

L'importance des fonctions exécutives se trouve dans le rôle qu'elles jouent vis-à-vis de l'ensemble des autres fonctions cognitives non automatisées, en particulier dans les apprentissages, la créativité et la fonction adaptative du sujet.

C'est ainsi que le rôle des fonctions exécutives dans les apprentissages scolaires a été bien documenté. On pourra consulter L. Meltzer et K. Krishnan (2007)<sup>129</sup> pour une revue des difficultés d'apprentissage en lien avec des dysfonctionnements exécutifs.

---

129 : Meltzer, L. & Krishnan, K. (2007) Executive Function Difficulties and Learning Disabilities: Understandings and Misunderstandings, In Lynn Meltzer, (Ed) *Executive Function in Education : from theory to practice*, New York : The Guilford Press.

Nous aborderons ici brièvement les deux principaux troubles des fonctions exécutives générant des demandes d'évaluation et d'intervention neuropsychologique : le TDAH et le syndrome dysexécutif.

Nous avons déjà abordé le TDAH à propos des fonctions attentionnelles et de leurs troubles. Il s'agit bien d'un syndrome dysexécutif particulier, en ce que les conceptions actuelles en font la conséquence d'un déficit d'inhibition de la réponse retentissant sur diverses autres fonctions exécutives. Le profil cognitif des enfants présentant un TDAH met en évidence des déficits exécutifs centraux concernant donc l'inhibition de la réponse, la mémoire de travail, la flexibilité cognitive et la planification de l'action (Marie-Claude Guay et Pierre Laporte, 2006). C'est ainsi que le TDAH peut être considéré comme étant un trouble dysexécutif (Pennington et Ozonoff, 1996 ; Rapport et al., 2001, Sergeant et al., 2002 ; Shallice et al., 2002 ; Willcutt et al., 2005).

Concernant le « syndrome dysexécutif », c'est en 1986 qu'A. Baddeley a consacré cette expression pour désigner un ensemble de dysfonctions portant sur un ensemble de fonctions exécutives (planification/organisation, flexibilité, contrôle de l'inhibition, initiation du comportement, production de réponses, mise à jour MdT).

## Petite bibliographie pour aller plus loin

- Chevalier, N. (2010). *Les fonctions exécutives chez l'enfant : concepts et développement*. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, 51: 3, 149-163
- Flessas, J. Lussier, F. (2006). *L'attention et les fonctions exécutives*, Actes du Symposium du Centre d'Evaluation Neuropsychologiques et d'Orientation Pédagogique, Montréal .
- Godefroy, O. et les membres du GREFEX (eds) (2008). *Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques*, Marseille : Solal éditeur.
- Meulemans, T., Collette, F. et Van der Linden, M. (eds) (2004), *Neuropsychologie des fonctions exécutives*, Marseille : Solal.
- Oddy, M., Worthington, A. (2009). *The Rehabilitation of Executive Disorders : A guide to theory and practice*, Oxford, New York : Oxford University Press.
- Zesiger, P. (2009). *Les troubles de l'attention et des fonctions exécutives*. In M. Poncelet, S. Majerus et M. Van der Linden (eds). *Traité de neuropsychologie de l'enfant*, Marseille : Solal éditeur.