ENCYCLOPÉDIE
sur le développement
des jeunes enfants

Réflexions sur le développement des fonctions exécutives : commentaires sur les articles de Knapp & Morton, Munakata et coll., Rueda & Paz-Alonso, Benson & Sabbagh, Hook et coll., et Blair

Philip David Zelazo, Ph.D.

Institute of Child Development, University of Minnesota, États-Unis

Janvier 2013

Introduction

Il est maintenant reconnu que les fonctions exécutives (FE) constituent un aspect clé du développement humain. L'intérêt pour le développement des FE s'est considérablement accru au cours de la dernière décennie, notamment parce qu'on a montré que les différences individuelles

©2013-2026 ABILIO | FONCTIONS EXÉCUTIVES

dans les FE, mesurées pendant l'enfance, permettent de prédire un large éventail d'issues développementales, dont la préparation à l'école, le fonctionnement social, le rendement scolaire et même la santé mentale et physique.[1] En effet, les déficits des FE constituent une caractéristique saillante d'un grand nombre de troubles apparaissant pendant l'enfance, dont le TDAH, l'autisme et le trouble des conduites. En parallèle, toutefois, la recherche a généré des résultats qui suggèrent une plasticité ou une malléabilité considérable des FE, de sorte qu'elles sont en train de devenir une cible primaire des interventions conçues pour favoriser un développement sain des enfants. Les articles de ce thème[2-7] offrent une vue d'ensemble des principaux éléments investigués dans la recherche actuelle sur les FE, identifient les futures questions de recherche dans ce domaine et révèlent clairement pourquoi l'étude des FE et de leur développement a une importance capitale, à la fois pour notre compréhension scientifique fondamentale du comportement humain et pour nos efforts directs d'amélioration de la vie des enfants.

Recherche et conclusions

Cette série d'articles soulève plusieurs questions d'intérêts, mais les cinq suivantes sont les plus centrales.

1. Comment mesurer les FE pendant l'enfance et tout au long de la vie?

Blair[2] souligne le besoin de « mesures adaptées à la recherche longitudinale » et Knapp & Morton[3] notent que « les tâches conçues pour la mesure des FE à un âge donné ne conviennent généralement pas à la mesure des FE chez les enfants plus âgés. » Munakata et coll.[6] abordent aussi ce point. Il est important de disposer d'outils de mesure qui peuvent être utilisés dans une large tranche d'âge si l'on veut pouvoir comparer les différents niveaux d'habiletés des FE, qu'ils soient ou non liés à l'âge. De tels outils s'appuient sur notre compréhension de la structure des FE et l'alimentent en retour.

Une avancée méthodologique majeure sur ce plan est l'introduction de la batterie de tests cognitifs (Cognition Battery) contenue dans la nouvelle boîte d'outils pour l'évaluation du fonctionnement neurologique et comportemental (Toolbox for the Assessment of Neurological and Behavioral Function) proposée par les instituts nationaux de la santé américains (National Institutes of Health ou NIH).[8,9] Cette série de tests inclut des mesures des trois aspects clés des FE, à savoir la flexibilité cognitive, le contrôle inhibiteur et la mémoire de travail.

Respectivement, il s'agit d'une version du Dimensional Change Card Sort,[10] d'une version de la tâche Eriksen flanker dérivée de la tâche Attention Network,[11] et d'une tâche de List Sorting dérivée des échelles d'évaluation neuropsychologiques (Neuropsychological Assessment Scales) espagnoles et anglaises.[12] Les mesures des FE proposées dans la boîte à outils des NIH sont brèves (elles durent moins de cinq minutes chacune) et leurs *effets de séquence* sont minimes, de sorte qu'elles peuvent être utilisées plusieurs fois auprès des mêmes participants dans le cadre d'essais répétés, et ce, à tout âge. Une étude de validation de la boîte à outils des NIH (n = 476) a confirmé que les tests de mesure des FE inclus dans la boîte sont fidèles et valides. L'étude a aussi révélé des informations sans précédent sur la structure des FE à différents âges (de 3 à 85 ans).[13] En général, les résultats appuient l'idée d'une différentiation croissante des FE par rapport aux autres aspects du fonctionnement cognitif et ils montrent également leur spécialisation croissante, cohérente avec une caractérisation du développement neurocognitif que l'on qualifie de spécialisation fonctionnelle interactive.[14]

La boîte à outils actuelle des NIH présente toutefois une lacune : elle ne contient pas de mesure des FE dites « chaudes ». Comme le notent Rueda et Paz-Alonso,[4] il faut faire une importante distinction entre les formes cognitives « froides » des FE, qui sont utilisées dans les situations purement intellectuelles, et leurs formes plus « chaudes », émotionnelles, qui jouent un rôle clé dans les situations ayant une composante motivationnelle.[15] Les premières reposent davantage sur les réseaux neuronaux parcourant les régions latérales du *cortex préfrontal (CPF)*, notamment le CPF rostrolatéral, alors que les secondes s'appuient plutôt sur les réseaux parcourant les régions ventrales et médianes du CPF (p. ex., le cortex orbitofrontal, impliqué dans la réévaluation flexible de la signification affective ou motivationnelle de stimuli).

2. Qu'avons-nous appris sur les FE avec l'étude du cerveau?

L'utilisation d'un outil de mesure unique des FE à différents âges a permis d'observer que c'est au cours des années préscolaires que leur développement est le plus rapide, mais aussi que ce développement subit une accélération lors de la transition vers l'adolescence.[9] Ces deux périodes semblent être marquées par des changements relativement rapides, non seulement dans le comportement, mais aussi dans la structure et le fonctionnement des réseaux du CPF liés aux FE, dont discutent Knapp & Morton.[3] Bien que plus de recherches soient requises sur le sujet, ces périodes seraient dites « sensibles ». Ceci implique qu'elles constitueraient des périodes de sensibilité accrue aux influences environnementales, qui incluent à la fois les influences normatives prévisibles et celles qui sont propres à chaque individu.[16]

En général, le développement neurocognitif peut être considéré comme un processus dynamique d'adaptation au cours duquel les systèmes neuronaux sont construits en fonction de leur utilisation. Les fibres qui connectent les régions au sein d'un réseau (et entre les réseaux) sont myélinisées en fonction de leur niveau d'activité et les synapses inutilisées sont élaguées. Naturellement, ces processus sont accompagnés des changements correspondants dans le fonctionnement neurocognitif. Par exemple, en plus d'améliorer la performance des FE, l'entraînement des FE pendant la petite enfance produit des changements dans l'activité électrique du cerveau telle que mesurée sur le cuir chevelu. Ces changements, qui touchent, plus précisément, l'amplitude de la *composante N2*, reflètent l'activation du *cortex cingulé antérieur e*t peuvent être observés lorsque l'on place l'enfant dans une situation de détection de conflit.[17,18]

Cet exemple illustre également une autre caractéristique importante des FE : il y a une interaction dynamique entre les processus de haut en bas (« top-down ») qui constituent les FE et les influences de bas en haut (« bottom-up ») qui affectent les FE en particulier et le comportement en général. Les réponses neurocognitives relativement rapides, automatiques, qui surviennent du bas vers le haut (par ex., la réponse au conflit du cortex cingulé antérieur telle qu'illustrée par la composante N2) semblent influencer les processus relativement lents, volontaires, survenant de haut en bas qui constituent les FE (p. ex., en suscitant l'activation du CPF qui sous-tend la réflexion[19]). Le fonctionnement exécutif semble ensuite influencer en retour les processus qui surviennent plutôt du bas vers le haut (p. ex., il peut y avoir réduction de l'amplitude de la composante N2). L'étude longitudinale de Blair sur les FE et le stress/la réactivité au stress[20] aborde un autre aspect de cette interaction dynamique.

3. Quelles sont les influences naturelles sur les FE et leur développement et comment exercent-elles leurs effets?

Bien qu'il soit clair qu'il existe des corrélats génétiques et plusieurs corrélats environnementaux des FE, dont certains exercent probablement une influence causale, il est, comme le soulignent Hook, Lawson et Farah,[5] « difficile de départager le rôle que jouent les facteurs génétiques et environnementaux dans le développement des fonctions exécutives ». En fait, une telle distinction pourrait tout simplement être inconcevable, car les influences génétiques et environnementales interagissent de manière dynamique au fil du temps pour produire les phénotypes des FE observés. Pour étudier cette interaction, il faut étudier les mécanismes causaux bidirectionnels qui lient les gènes, le comportement et les aspects de l'environnement. Par exemple, il sera très intéressant de comparer les changements épigénétiques qui

accompagnent l'évolution naturelle des FE et ceux qui surviennent lors de changements dans les FE induits expérimentalement.

4. Quels sont les corrélats sociodémographiques des FE?

Les articles de Blair[2] et Hook et coll.[5] décrivent certains des nombreux corrélats sociodémographiques des FE, qui incluent le statut socioéconomique (et toutes les sources de variabilité capturées simultanément par ce construit) et, plus précisément, des aspects spécifiques du parentage, du fonctionnement social et du rendement scolaire.

Il est intéressant de noter que les aspects du fonctionnement cognitif qui sont reliés le plus fortement au statut socioéconomique, soit le langage et les fonctions exécutives, sont précisément ceux que l'on pourrait intuitivement imaginer comme étant les plus dépendants de l'enculturation.

Hook et coll.[5] soulignent que la recherche actuelle suggère que les enfants de faible statut socioéconomique soient les plus susceptibles de bénéficier d'interventions ciblant les FE. Dans la mesure où ces interventions offrent des opportunités spécifiques que les enfants de faible statut socioéconomique risquent moins de rencontrer au quotidien (p. ex., jouer à des jeux qui requièrent un contrôle inhibiteur, comme le jeu « Jean dit »), ces enfants pourraient effectivement retirer des interventions des apprentissages nécessaires au développement sain ou optimal de leurs FE. Les enfants de la classe moyenne pourraient être plus susceptibles de rencontrer ces exercices de développement des fonctions exécutives (qui sont aussi ludiques, amusants, motivants, etc.) dans leurs interactions quotidiennes avec leurs parents, enseignants, frères et sœurs plus âgés et autres personnes de leur entourage. Bien sûr, ces enfants sont aussi plus susceptibles d'évoluer dans un environnement sûr et stable, d'être impliqués dans des discussions autoréflexives faisant appel à la *distanciation psychologique*, de recevoir un soutien sensible de leur entourage et de bénéficier de plusieurs autres facteurs favorables au développement de leurs FE.

Il est aussi possible, cependant, que les enfants dont les FE s'appuient déjà sur une solide base et qui ont atteint un niveau d'autoréflexion et de conscience de soi approprié soient ceux qui puissent tirer le meilleur parti de toute intervention. Quoi qu'il en soit, il sera important, comme le note Blair,[2] d'en apprendre davantage sur les limites de la plasticité des FE. Il serait également utile d'établir dans quelle mesure cette plasticité évolue avec l'âge (p. ex., en termes

de périodes de sensibilité accrue), de déterminer quelles variables influencent la plasticité, d'évaluer si ces influences évoluent avec l'âge, etc. Nous en savons actuellement bien peu sur le sujet, si ce n'est qu'il y a une certaine plasticité des FE et que leur développement traverse des périodes de croissance relativement rapides pendant lesquelles les influences environnementales jouent un rôle actif prédominant.

5. Que savons-nous sur les caractéristiques des interventions d'amélioration des FE?

La gamme d'interventions efficaces qui permettent d'améliorer les FE a fait l'objet d'une revue détaillée.[21] Selon cette revue et d'autres sources, les interventions efficaces semblent avoir les caractéristiques suivantes :

a. Elles tendent à exiger la résolution d'un problème en fonction d'un but à atteindre dans un contexte motivationnel. Le rôle exact de la motivation dans ces interventions n'est pas encore clair, mais l'apprentissage et, vraisemblablement, le degré de plasticité sont généralement améliorés lorsque les enfants sont intéressés par quelque chose (un objectif, par exemple). Il est possible qu'il existe un intervalle optimal pour le niveau d'intérêt envers l'activité et la motivation générale, qui permette d'obtenir un maximum de bénéfices.

b. Elles requièrent typiquement que les enfants centrent leur attention autoréflexive vers un défi quelconque de manière soutenue (c.-à-d., qu'elles impliquent un traitement réflexif et continu de l'information). Pour relever ce type de défi, les enfants sont appelés à ralentir, réfléchir sur le contexte de l'activité (notamment sur les règles et objectifs pertinents) et sélectionner la règle ou l'objectif approprié à mettre en action.

c. Elles impliquent souvent des défis adaptatifs. Bien sûr, à la base, les défis doivent être adaptatifs pour rester des défis et pour qu'il y ait un apprentissage à en tirer, mais l'ampleur du défi interagit également avec la motivation. L'une des conséquences de poser continuellement des défis aux enfants est de favoriser le maintien de leur motivation à un niveau approprié.

d. Elles ont tendance à impliquer beaucoup de répétitions et de pratique. L'importance de la pratique pour l'acquisition des habiletés en général est largement reconnue. À cet égard, il est maintenant possible d'observer les processus Hebbian, par lesquels la pratique répétée de comportements particuliers renforce les mécanismes neuraux qui sous-tendent ces comportements.[22]

Conclusion

Au cours de la dernière décennie, notre compréhension des FE et de leur développement pendant l'enfance a fait l'objet de progrès considérables. Les articles[2-7] de ce thème, qui survolent les connaissances acquises à ce jour et les questions qui n'ont toujours pas trouvé réponse, constituent une excellente introduction sur le sujet.

Références

1. Carlson, S. M., & Zelazo, P. D., & Faja, S. (in press). Executive function. In P. D. Zelazo (Ed.), *Oxford handbook of developmental psychology* (Vol. 1: Body and mind). New York: Oxford University Press.
2. Blair C. Executive functions in the classroom. Morton JB, topic ed. In: Tremblay RE, Boivin M, Peters RDeV, eds. *Encyclopedia on Early Childhood Development* [online]. Montreal, Quebec: Centre of Excellence for Early Childhood Development and Strategic Knowledge Cluster on Early Child Development; 2013:1-7. Available at: http://www.child-encyclopedia.com/documents/BlairANGxp1-Cognitive_stimulation.pdf. Accessed January 14, 2013.
3. Knapp K, Morton B. Brain development and executive functioning. Morton JB, topic ed. In: Tremblay RE, Boivin M, Peters RDeV, eds. *Encyclopedia on Early Childhood Development* [online]. Montreal, Quebec: Centre of Excellence for Early Childhood Development and Strategic Knowledge Cluster on Early Child Development; 2013:1-7. Available at: http://www.child-encyclopedia.com/documents/Knapp-MortonANGxp1.pdf. Accessed January 14, 2013.
4. Rueda MR, Paz-Alonso PM. Executive function and emotional development. Morton JB, topic ed. In: Tremblay RE, Boivin M, Peters RDeV, eds. *Encyclopedia on Early Childhood Development* [online]. Montreal, Quebec: Centre of Excellence for Early Childhood Development and Strategic Knowledge Cluster on Early Child Development; 2013:1-7. Available at: http://www.child-encyclopedia.com/documents/Rueda-Paz-AlonsoANGxp1.pdf. Accessed January 14, 2013.
5. Hook CJ, Lawson GM, Farah MJ. Socioeconomic status and the development of executive function. Morton JB, topic ed. In: Tremblay RE, Boivin M, Peters RDeV, eds. *Encyclopedia on Early Childhood Development* [online]. Montreal, Quebec: Centre of Excellence for Early Childhood Development and Strategic Knowledge Cluster on Early Child Development; 2013:1-8. Available at: http://www.child-encyclopedia.com/documents/Hook-Lawson-FarahANGxp1.pdf. Accessed January 14, 2013.
6. Munakata Y, Michaelson L, Barker J, Chevalier N. Executive functioning during infancy and childhood. Morton JB, topic ed. In: Tremblay RE, Boivin M, Peters RDeV, eds. *Encyclopedia on Early Childhood Development* [online]. Montreal, Quebec: Centre of Excellence for Early Childhood Development and Strategic Knowledge Cluster on Early Child Development; 2013:1-6. Available at: http://www.child-encyclopedia.com/documents/Munakata-Michaelson-Barker-ChevalierANGxp1.pdf. Accessed January 14, 2013.
7. Benson J, Sabbagh MA. The relation between executive functioning and social cognition. Morton JB, topic ed. In: Tremblay RE, Boivin M, Peters RDeV, eds. *Encyclopedia on Early Childhood Development* [online]. Montreal, Quebec: Centre of Excellence for Early Childhood Development and Strategic Knowledge Cluster on Early Child Development; 2013:1-7. Available at: http://www.child-encyclopedia.com/documents/Benson-SabbaghANGxp1.pdf. Accessed Accessed January 14, 2013.
8. Zelazo, P. D., Anderson, J. E., Richler, J., Wallner-Allen, K., Beaumont, J. L., & Weintraub, S. (in press). NIH Toolbox Cognition Battery (NIHTB-CB): measuring executive function and attention. In P. D. Zelazo & P. J. Bauer (Eds.), *National Institutes of Health Toolbox Cognition Battery (NIHTB-CB): Validation for children between 3 and 15 years. Monographs of the Society for Research in Child Development*.
9. Zelazo, P. D., & Bauer, P. J. (Eds.) (in press). *National Institutes of Health Toolbox Cognition Battery (NIHTB-CB): Validation for children between 3 and 15 years. Monographs of the Society for Research in Child Development*.
10. Zelazo, P. D. (2006). The Dimensional Change Card Sort: A method of assessing executive function in children. *Nature Protocols*, 1, 297-301.

11. Rueda, M. R., Fan, J., McCandliss, B. D., Halparin, J. D., Gruber, D. B., Lercari, L. P., & Posner, M. I. (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia,* 42, 1029-1040.

12. Mungas, D., Reed, B. R., Tomaszewski Farias, S., & DeCarli, C. (2005). Criterion-referenced validity of a neuropsychological test battery: equivalent performance in elderly Hispanics and non-Hispanic Whites. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 11, 620-630.

13. Mungas, D., Widaman, K., Zelazo, P. D., Tulsky, D., Heaton, R., Slotkin, J. et al. (in press). NIH Toolbox Cognition Battery (CB): Factor Structure for 3- to 15-year-olds. In P. D. Zelazo & P. J. Bauer (Eds.), *National Institutes of Health Toolbox—Cognition Battery (NIH Toolbox CB): Validation for children between 3 and 15 years. Monographs of the Society for Research in Child Development.*

14. Johnson, M. H. (2011).Interactive specialization: A domain-general framework for human functional brain development? *Developmental Cognitive Neuroscience*, 1, 7–21.

15. Zelazo, P. D., & Müller, U. (2002). Executive functions in typical and atypical development. In U. Goswami (Ed.), *Handbook of childhood cognitive development* (pp. 445-469). Oxford: Blackwell.

16. Greenough, W. T., Black, J. E., & Wallace, C. S. (1987). Experience and brain development. *Child Development*, 58, 539-559.

17. Espinet, S. D., Anderson, J. E., & Zelazo, P. D. (in press). Reflection training improves executive function in preschool-age children: Behavioral and neural effects. *Developmental Cognitive Neuroscience*.

18. Rueda, M. R., Rothbart, M. K., & Saccamanno, L., & Posner, M. I. (2005) Training, maturation and genetic influences on the development of executive attention. Proceedings of the National Academy of Sciences, 102, 14931-14936.

19. Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108, 624-652.

20. Blair, C., & Ursache, A. (2011). A bidirectional theory of executive functions and self-regulation. In R. Baumeister & K. Vohs (Eds.), *Handbook of self-regulation* (2nd ed., pp. 300–320). New York: Guilford.

21. Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, 333, 959-964.

22. Stiles, J. (2008). *The fundamentals of brain development: Integrating nature and nurture*. Cambridge, MA: Harvard University Press.