Executive Functions and Mathematical Problem-Solving

DOI: 10.57642/AJOPSY921

Mimoun Es-salmi
mimoun.es-salmi@uit.ac.ma
Faculty of Humanities and Social Sciences, Ibno Tofail University, Kenitra, Morocco
Received: 24/04/2024 Accepted: 07/06/2024 Published: 30/06/2024

Abstract

The objective of this article is to demonstrate the impact of executive functions on problem-solving in mathematics, where it is evident that executive functions play a significant role in learning problem-solving in mathematics. These roles manifest in the nature of the inhibition function during the process of selecting relevant data and maintaining relevant data, as well as working memory, through its role in encoding and processing data, as well as retrieving the most relevant data for the solution from long-term memory through planning. The essential feature that must be distinguished during problem-solving is cognitive flexibility, which allows for the inhibition of certain data while maintaining other relevant data. Furthermore, studies indicate a weak relationship between the performance of the planning function and problem-solving in mathematics, suggesting a lack of correlation between planning and problem-solving in mathematics among students. Executive functions are a comprehensive concept used to represent cognitive competencies contributing to goal-directed behaviours, as a unique indicator of mathematics performance. These three core subcomponents of executive functions (inhibition, shifting, and working memory) contribute to increased standards in mathematical skills. A set of results indicates that modelling the structure of the equation indicates that non-verbal IQ, processing speed, and the meaning of numbers interfere with calculation.

Keywords: executive functions, problem-solving, working memory, planning, inhibition, cognitive flexibility

الوظائف التنفيذية وحل مسائل الرياضيات

ميمون السالمي
mimoun.es-salmi@uit.ac.ma
كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية، جامعة ابن طفيل، القنيطرة، المغرب
الاستلام: 2024/04/24 القبول: 2024/06/07 النشر: 2024/06/30

ملخص

يتحدد هدف هذا المقال في إظهار مدى تأثير اشتغال الوظائف التنفيذية على حل المسائل في الرياضيات، حيث تبين أن الوظائف التنفيذية تلعب دورا هاما في تعلم حل المسائل في الرياضيات. وهذه الأدوار تتجلى في طبيعة اشتغال وظيفة الكف خلال عملية كف المعطيات غير ذات الصلة والإبقاء على المعطيات ذات الصلة، وكذلك الذاكرة العاملة، من خلال دورها في ترميز المعطيات ومعالجتها، وكذا استرجاع المعطيات الأنسب للحل من الذاكرة بعيدة المدى، عبر التخطيط له. والميزة التي من الضروري أن يتميز بها خلال حل المسائل هي المرونة المعرفية التي تسمح بكف معطيات والإبقاء على معطيات أخرى ذات الصلة. علاوة على ذلك، تظهر الدراسات وجود علاقة ضعيفة بين أداء وظيفة التخطيط وحل المسائل في الرياضيات، مما يحيل إلى غياب الارتباط بين التخطيط وحل المسائل في الرياضيات لدى التلاميذ. وتعد الوظائف التنفيذية مفهوما شاملا يستعمل لتمثيل الكفاءات المعرفية المساهمة في السلوكات الموجهة نحو الهدف، كمؤشر فريد لأداء الرياضيات، كما تسهم هذه المكونات الفرعية الأساسية الثلاثة للوظائف التنفيذية (الكف، التحويل، والذاكرة العاملة) في زيادة نمو المعايير في مهارات الرياضيات. حيث تشير مجموعة من النتائج أن نمذجة بنية المعادلة أن معدل الذكاء غير اللفظي وسرعة المعالجة ومعنى الأعداد تتدخل في ضبط الحساب.

الكلمات المفتاحية: الوظائف التنفيذية، حل المسائل، الذاكرة العاملة، التخطيط، الكف، المرونة المعرفية

مقدمة

يرجع الاهتمام بالوظائف التنفيذية Executive functions في النصف الثاني من القرن التاسع عشر، إلى اللحظة التي عرفت نموا ملحوظا في المعرفة حول الجهاز العصبي المركزي (Müller & Kerns, 2015). ويورد مولر Müller وكيرنس Kerns (2015) أن علماء النفس الفيزيولوجيون التجريبيون و العصبيون سباقون إلى تكثيف جهودهم لفهم وموضعة الوظائف التنفيذية في القشرة ما قبل الجبهية (Müller & Kerns, 2015). ويتعلق الأمر بالتخطيط Planning، والذاكرة العاملة Working memory، والانتباه Attention، والكف Inhibition، والمراقبة الذاتية، والتنظيم الذاتي، والبدء في مناطق القشرة الجبهية والفصوص الجبهية (Goldstein & Naglieri, 2014, p. 3). بينما يضيف جولدستان Goldstein ونجلييري Naglieri (2014) أنه على الرغم من أن مفهوم الوظائف التنفيذية تم تعريفه لأول مرة في السبعينيات، فقد تمت مناقشة مفهوم آلية التحكم منذ أربعينيات القرن التاسع عشر. وفي هذا الصدد، تعتبر حالة فينيس كاج Phineas gage واحدة من أكثر دراسات الحالة المرتبطة بالوظائف التنفيذية. ومنذ وقت مبكر كانت إحدى النتائج الرئيسية التي تم تحديدها على أنها ناتجة عن الضرر الذي لحق بالقشرة ما قبل الجبهية تتمثل في تغيرات الشخصية، كما هو موضح في دراسة هارلو Harlo (1868) ل فينيس كاج Phineas gage، عامل السكك الحديدية الذي عانى من تلف على مستوى القشرة ما قبل الجبهية (Müller & Kerns,2015). ويشير جولدستان Goldstein ونجلييري Naglieri (2014) أيضا إلى أنه بحلول الخمسينات من القرن الماضي، أصبح علماء النفس وعلماء الأعصاب أكثر اهتماما بفهم دور القشرة ما قبل الجبهية في السلوك الذكي. وفي ذات السياق، قدم شيفرين Shiffrin وشنايدر Schneider (1977) فكرة أن الانتباه الانتقائي يرتبط ارتباطا وثيقا بالوظائف التنفيذية Executive functions (Goldstein & Naglieri, 2014). وفي عام 1975، استعمل عالم النفس مايكل بوسنر Michael Posner مفهوم " التحكم المعرفي Cognitive control " في فصل من كتاب "الانتباه والتحكم المعرفي"، واقترح أن هناك فرعا تنفيذيا منفصلا لنظام الانتباه مسؤول عن تركيز الانتباه على جوانب منتقاة من المحيط (Posner, 1975). ووفقا لفوستر Fuster (2008) ترتبط القشرة ما قبل الجبهية الأمامية بالذاكرة العاملة ووظائف التخطيط، وترتبط القشرة ما قبل الجبهية البطينية بالعجز في المجال الاجتماعي. ويظهر بشكل أساسي كعجز في الكف الاجتماعي، وتشارك القشرة الحزامية الأمامية في تنظيم الانتباه والرصد وتصحيح الأخطاء (Müller & Kerns, 2015). وكذلك، اقترح بادلي Baddeley و هيتش Hitch (1974) نظاما مشابها في نموذجهما للذاكرة العاملة، أطلقا عليه اسم "مركز التنفيذ" (Goldstein & Naglieri, 2014). وأبانت الدراسات أن الوظائف التنفيذية ترتبط بالأداء في الرياضيات.

وفي هذا الصدد، سننطلق في هذا المقال من مفهوم الوظائف التنفيذية وأهم مكوناته (التحيين في الذاكرة العاملة، الكبح المعرفي، المرونة المعرفية، والتخطيط)، والموضعة العصبية لكل مكون على حدة، وعلاقتها بمراحل تطورها معرفيا وعصبيا، وكذا كيفية إسهامها في حل المسائل Problem-solving في الرياضيات. ويمثل الاشتغال التنفيذي من المنظور المعرفي المحدد الرئيسي للفرد، إذ يؤثر في مختلف أنشطته السيكولوجية والاجتماعية والتربوية؛ ويسهم في حل مسائل problem-solving الرياضيات والعمليات الحسابية المعقدة ويتدخل بشكل كبير في ضبط وتوجيه السلوكات والممارسات اليومية للأفراد والجماعات في مختلف ميادين الحياة. وبهذا الاعتبار، سنحاول الإجابة عن الأسئلة التالية: ما المقصود بالوظائف التنفيذية في الاشتغال التنفيذي Executive functioning؟ وما طبيعة تطور مكوناتها ونموها؟ وأين تتجلى مرجعيتها العصبية في الدماغ؟ وكيف يسهم الاشتغال التنفيذي للوظائف التنفيذية في حل مسائل الرياضيات والعمليات الحسابية المعقدة؟

تعريف الوظائف التنفيذية

في مستهل الحديث الوظائف التنفيذية والاشتغال التنفيذي، فهذا المفهوم يشير عموما إلى العمليات "ذات المستوى العالي" التي تتولى مراقبة السيرورات المعرفية "ذات المستوى الأدنى" وتنظيمها وتوجيه السلوك نحو الهدف (Alvarez & Emory, 2006). وشهدت السنوات الأخيرة اهتماما متزايدا بالوظائف التنفيذية، لكن لا تزال هناك أسئلة كثيرة تتعلق بعناصر الوظائف التنفيذية وكيفية قياسها. وبذلك، فالوظائف التنفيذية بناء متعدد الأبعاد من السيرورات المعرفية العليا، التي تراقب عددا متنوعا من الوظائف المعرفية، والانفعالية، والسلوكية وتنظيمها. ويلعب النظام الجبهي دورا مهما في الوظائف التنفيذية (Vriezen & (Pigott, 2002).

لا يزال النقاش مستمرا بشأن قبول الوظائف التنفيذية بوصفها بنية أحادية أم متعددة الأبعاد (Vriezen & Pigott, 2000). وبشكل عام تعرف الوظائف التنفيذية على أنها مجموعة من العمليات والسيرورات المتصلة، التي تراقب وتوجه الأداء المعرفي cognitive والانفعالي Emotional والسلوكي Behavioral وتنظيمه (Gioia et al., 2002). وتشمل الوظائف التنفيذية التوقع والتخطيط والتنظيم ومراقبة العمليات والمرونة المعرفية مع الاحتفاظ بهذه العمليات في الذاكرة العاملة (Gioia et al., 2002). وعلى العموم، فهي مفهوم شامل يستخدم لمجموعة متنوعة من العمليات المعرفية المفترضة، بما في ذلك التخطيط والذاكرة العاملة والانتباه، والكف والمراقبة الذاتية والتنظيم الذاتي، والتي تعمل على تنفيذها باحات الفص الجبهي (Goldstein & Naglieri, 2014).

تسمح الوظائف التنفيذية كمهارات لدى الفرد بإدراك المثيرات في بيئته، والاستجابة التكيفية لها، وتغيير الاتجاه بشكل واضح، وتوقع الأهداف المستقبلية، والنظر في النتائج، والاستجابة بطريقة متكاملة أو منطقية (Goldstein & Naglieri, 2014). علاوة على ذلك، يرى باحثون آخرون أن الوظائف التنفيذية هي عمليات عديدة تشمل التوقع واختيار الهدف، والتخطيط، وبدء النشاط، والتنظيم الذاتي للسلوك من أجل تحقيق الهدف (Anderson, 2002)، وهذه الاستجابة الموجهة نحو الهدف تخضع للمراقبة سواء في المواقف الجديدة أو الوضعيات المألوفة (Hughes & Ensor, 2009). ودعمت دراسات التصوير العصبي الوظيفي حديثا أن القشرة ما قبل الجبهية هي المسؤولة عن الوظائف التنفيذية، وبخاصة منطقتا القشرة الحزامية الأمامية Anterior cingulate cortex والقشرة قبل الجبهية الظهرية الجانبية Dorsolateral Prefrontal Cortex (Goldstein (& Naglieri, 2014). وفي مقابل ذلك، أكدت دراسات أخرى اعتمت على التصوير أن اشتغال الوظائف التنفيذية يرتبط بقشرة الفص ما قبل الجبهي، والمناطق القشرية والباحات تحت القشرية التي لها صلة، والتي يتم قياسها باختبارات الفحص النفسي العصبي (Best et al., 2009 ; Fuster, 2002). وهذا الاختلاف في التحديد العصبي للباحات الدماغية المسؤولة على الوظائف التنفيذية تقود لوجهات النظر المختلفة لدى الباحثين وخلفيتهم النظرية.

مكونات الوظائف التنفيذية ومراحل نموها

إن الحديث عن مكونات الوظائف التنفيذية في الاشتغال التنفيذي، يحيل إلى الاختلاف من حيث عدد المكونات وفقا للنماذج المتعلقة بها، وذلك حسب طبيعة الخلفية النظرية والمقاربة المعتمدة، لكن أغلب الباحثين أجمعوا على أن العناصر التنفيذية تتشكل من الذاكرة العامة، الكف، المرونة المعرفية، والتخطيط. وتعتبر الذاكرة العاملة سيرورة لتخزين المعلومات داخل النظامين الفرعيين، الحلقة الفونولوجية والبصرية المكانية، لتذكر المعلومات اللفظية والبصرية-المكانية على التوالي، ومعالجة هذه المعلومات تحت إشراف مركز التنفيذ (Wager & Smith, 2003). وتتمثل أيضا وظيفة الذاكرة العاملة في اتخاذ القرارات، حل المسائل، والتعامل مع الوضعيات غير الاعتيادية، حيث تتم عملية الرجوع لما تم تخزينه في الذاكرة العاملة قريبة أو بعيدة المدى، واستحضار ما هو مناسب منها لاستعماله في التعامل مع الوضعية الجارية، وحل المسائل وتحقيق الهدف، وهذا الاستحضار يجب أن يستمر خلال الفترة الزمنية الضرورية لحل المسائل وإنجاز المهمة (قدام، 2020). وتتميز هذه البنية بأنها من أهم الوظائف التنفيذية، لأن الفاعلية الذاتية للذاكرة تعد عاملا معرفيا اجتماعيا مهما يجب دراسته (Hastings & West, 2011, p. 476). يرى هوفمان Hofmann وآخرون (2012) أن العناصر الثلاثة الأساسية للوظائف التنفيذية هي (التحيين، الكف، والتحويل). وثانيا، الوظائف التنفيذية لا يمكنها أن تشتغل في معزل عن وظيفة الذاكرة العاملة، لأنها بمثابة النظام المسؤول عن الترميز، وفك التشفير، واسترجاع المعلومات المخزنة، واستقبال المعلومات الواردة من الخارج عبر الحواس. وتتجلى وظيفتها الأساسية في الاحتفاظ بالمعطيات وما تم استرجاعه من الذاكرة بعيدة المدى والذاكرة قصيرة المدى من معارف ومعلومات، وخبرات تسمح بتنفيذ المهمة وإنجازها (Hofmann et al., 2012). وتتجلى أهمية الذاكرة العاملة في الاشتغال الذهني عند الأشخاص الذين يعانون من محدودية وظيفتها واشتغالها، حيث لا يتمكنون من الاحتفاظ بالمعلومات المناسبة لصياغة الحل (قدام، 2020).

النموذج الأول للذاكرة العاملة

يمثل نموذج بادلي Baddeley وهيتش Hitch (1974) تتويجا لبعض النماذج السابقة، والتي اقترحها برودبانت Brodbent (1958) وأتنكسون Atkinson و شفرين Shiffrin (1968)، حيث يتكون هذا النموذج من ثلاثة مكونات رئيسية، أحدها مركز التنفيذ central executive، والحلقة الفنولوجية Phonological loop، ومدعومة بمكون ثالث هو المفكرة البصرية-المكانية visual-spatial sketchpad (Baddeley & Hitch, 2000). وأضاف بادلي Baddeley مكونا رابعا إلى مكونات الذاكرة العاملة هو الدارئ المشهدي Episodic buffer (Baddeley, 2000).

مكونات النموذج الأول لـ بادلي وهيتش (1974)

يتشكل النموذج الأولي للذاكرة العاملة من ثلاث مكونات رئيسة (El-Mir, 2022)، ويتعلق الأمر بالحلقة الفونولوجية، والمفكرة البصرية المكانية، ومركز التنفيذ يدير عمل المكونين.

شكل 1

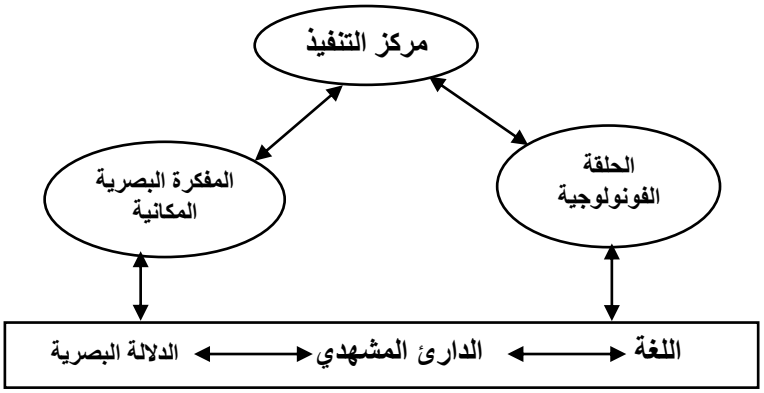
مكونات نموذج الذاكرة العاملة لـ بادلي وهيتش (نقلا عن El-Mir, 2022)

النموذج الثاني للذاكرة العاملة ل بادلي

لقد قام بادلي Baddeley بتعديل النموذج الأول للذاكرة العاملة، إذ أضاف مكونا رابعا، أطلق عليه الدارئ المشهدي Episodic buffer (Baddeley & Hitch, 2000). ويذكر المير (El-Mir, 2022)، أن الحلقة الفونولوجية تعالج المعطيات اللفظية، والمفكرة البصرية المكانية تعمل على إنشاء ومعالجة المعلومات البصرية والمكانية، ويراقب مركز التنفيذ عمليات المعالجة، في حين إن الدارئ المشهدي يقوم بدمج المعلومات المختلفة الصيغية Modality في شفرة وحيدة متعددة الأبعاد والأوجه. وهذا المكون وفقا لبادلي Baddeley (2000) " يعمل كنظام تخزين مؤقت وله القدرة على الاحتفاظ بالمعلومات في نظام الذاكرة العاملة على شكل رموز متعددة الصيغيات" (ص. 135). وتتجاوز قدرة النظامين الفونولوجي والبصري-المكاني، ومن دون الاستناد إلى مركز التنفيذ أو الاسترجاع المباشر من الذاكرة بعيدة المدى (El-Mir, 2022)، واعتبر بادلي Baddeley أنه عندما تكون هناك معلومات مختلفة المصدر يعمل الدارئ المشهدي على تجميعها أو دمجها في شانكات، أو مشاهد episodes، ومنها جاءت تسمية مشهدي Episodic، ويوفر أداة لدمج معلومات مختلفة الصيغية في شفرة وحيدة متعددة الأوجه (El-Mir, 2022)،

شكل 2

النموذج المعدل للذاكرة العاملة (نقلا عن El-Mir, 2022)



الكف

إن تناول مفهوم الكف المعرفي يقود إلى تناوله باعتباره مفهوما شائعا في مجالات علم النفس المعرفي (Chevalier, 2010). ومن ثم، يعرف الكف على أنه سيرورة تعمل على إيقاف الاستجابة أو تجاهل المعلومات غير ذات الصلة، من أجل تحقيق الهدف المنشود (Chevalier, 2010; Simpson & Riggs, 2007). إذ يشير الكف إلى حذف المعلومات الموجودة سابقا في الذاكرة العاملة، أو تلك الخاصة بالاستجابات، وتعتبر مقاومة التداخل بمثابة حظر للمعلومات قبل دخولها إلى الذاكرة العاملة. كما أن مقاومة التداخل تسمح بحماية المعلومات ذات الصلة الموجودة في الذاكرة العاملة (Chevalier, (2010, p. 152).

يحتاج الفرد في مهمة ستروب (Stroop) إلى كف أو تجاوز الميل إلى إنتاج استجابة مهيمنة أو تلقائية (Miyake et al., 2000). ويسمح الكف بتجاهل المعلومات الواردة غير المناسبة، وإزالتها من أجل تحيين الذاكرة العاملة (Chevalier, 2010, p. 152). وترتبط وظيفة الكف بانتقاء مثير بعينه من بين مجموعة من المثيرات التي يستقبلها الفرد، سواء داخلية أو خارجية، وهنا الحديث عن الفصل بين ما هو ملائم للمهام وتنشيطه، وما هو غير ملائم وكفه أو حذفه (قدام، 2020، ص. 79). وهذا الكف لكي يكون له فاعلية يجب أن يكون في الوقت المناسب، بغية كف وحذف شيء ما غير مرغوب فيه (قدام، 2020، ص. 79).

ويرى قدام (2020) "أن الوظيفة التنفيذية المتعلقة بالكف لها دور مهم في ضمان تكيف الفرد مع مجتمعه، وتمكنه من تفادي الأخطاء والهفوات في حل المسائل واتخاذ القرارات. فالكف يعني نوعا من التمييز بين ما هو مسموح به وآنذاك تنطلق عملية التنشيط والاستحضار والمعالجة، وما هو غير مسموح به ويجب حذفه وكفه" (ص. 80). والمعيار هو خدمة الخطة الاستراتيجية الموضوعة لتحقيق الهدف (Simpson & Riggs, 2007). بالإضافة إلى ذلك، يرتبط الكف أيضا بتفاعله مع الذاكرة العاملة والمراقبة المعرفية لرصد السلوكات التكيفية من أجل حذف أو كف الاستجابة غير المناسبة، أو كف المعلومات غير المناسبة من الذاكرة العاملة (Cristofori et al., 2019, p. 198). ويتجلى هذا الكف في مقاومة التفكير أو الانفعال، أو الفعل وكفه بناء على الدافع الأول (El Houari & Zarhbouch, 2022).

التخطيط

إن الحديث عن التخطيط Planning في الاشتغال التنفيذي، يتطلب الحديث عن المهارات التنفيذية بحكم أنها تساعد على تنظيم الأفعال والتفكير والانفعال، وهي أساس السيرورات المعرفية ذات المستوى العالي، كاتخاذ القرار، والاستراتيجيات والضبط الانفعالي (Kirby et al., 2005). والتخطيط هو وظيفة معرفية ذات مستوى عالي تشارك في صياغة وتقييم وانتقاء الإجراءات المطلوبة لتحقيق هدف ما. تمت دراسة التخطيط باستخدام مهام متنوعة، مثل برج لندن (Cristofori et al., 2019). والتي تهم وظيفة التخطيط، حيث ترتبط بالأفراد الذين لديهم إصابات في القشرة ما قبل الجبهية بصعوبات في اتخاذ القرار وحل المشكلات في الواقع (Cristofori et al., 2019). وتشير نتائج دراسة نيومان Newman وآخرون (2003) حول التخطيط إلى أن كل من الفصوص قبل الجبهية اليمنى واليسرى تشارك بشكل متساو أثناء حل المشكلة. لكن قبل الجبهية اليمنى تشارك بشكل مختلف في بناء خطة لحل المسألة، في حين تشرف القشرة قبل الجبهية، على تنفيذ الخطة (Cristofori et al., 2019).

لا تتدخل وظيفة الكف إلا في حالة المهام غير الاعتيادية وغير الروتينية، عكس الوظائف الأخرى، حيث التخطيط يرتبط بالمهام غير الآلية والوضعيات والمسائل الجديدة، واتخاذ القرارات، وكذا المهام المزدوجة، والوضعيات والمسائل الجديدة، والتي تتطلب دمج وتنظيم مختلف المعلومات اللازم معالجتها وكذلك التخطيط للمهام المعقدة مثل حل المسائل (قدام، 2020)، بالإضافة إلى البرمجة. ويشمل التخطيط التفكير في أفضل الاجراءات الممكن أن تحقق الهدف لذلك يتم انتقائها وتركيبها لبناء استراتيجية لهدف ما وتحديد وتنظيم الوقت وتوقع المجهود اللازم لتحقيق الهدف (قدام، 2020).

المرونة المعرفية

أما بخصوص المرونة المعرفية Cognitive flexibility فهي تشكل القدرة على التحول والتحويل، وهي وظيفة تنفيذية لها مفاهيم وتعاريف عدة، والوصف الأول بأنها سلوك تكيفي مع مستجدات الوضعية والانتقال الفعال بين المهام المتعددة والقدرة على التحويل والتبديل بين المهام (Chevalier, 2010). إلى جانب الوظائف التي تشملها المرونة، يمكن تعريفها بأنها القدرة على الانتقاء التكيفي من بين التمثلات المتعددة أو الاستراتيجيات المتعددة أو سجلات مهام متعددة. وهذا التكيف الناتج عن نوع من الليونة في تطبيق الاستراتيجية الأولية، يتمثل في التغير الذي يطال الإجراءات والاستراتيجيات والمواقف بناء على التغييرات والمستجدات التي تهم الوضعية (Chevalier, 2010). إن القدرة على إعادة تشكيل النظام المعرفي لتلبية متطلبات المهام المتغيرة واضحة، وتتمثل إحدى المشكلات الأساسية لدراسة المراقبة المعرفية، في تحديد السيرورات النفسية والعصبية التي تتحقق من خلالها هذه المرونة وتغيير المهام بنجاح (Badre & Wagner, 2006).

وهذه الوظيفة تحظى بأهمية قصوى وخاصة عندما يتعلق الأمر بالوضعيات والمسائل غير الاعتيادية، وحينما لا يتوفر الفرد على معرفة سابقة بها أو لم يسبق أن كانت موضوع التعلم أو اكتساب، لذلك فهي تتطلب مجهودا معرفيا إضافيا للتكيف، وهو ما يتم من خلال إعادة التنظيم الداخلي للبنية المعرفية لكي تتحول إلى بنية مناسبة (قدام، 2020). ويعرف قدام (2020) المرونة المعرفية " بأنها القدرة على التكيف مع المستجدات وتصحيح الهفوات والمرور من مهمة إلى أخرى بدون تلك المقاومة السلبية التي قد تعيق العملية برمتها، وهي بذلك تمكن الفرد من إعادة تنظيم أفكاره وبنياته الداخلية لمواجهه المعلومات والمعطيات الجديدة حتى يتمكن من تغيير استراتيجياته الأولية التي صارت دون جدوى" (ص. 83). وتسمح المرونة المعرفية بالتبديل من مهمة إلى أخرى والكبح المراقب والذاكرة العاملة (Cristofori et al., 2019).

تطور مكونات الوظائف التنفيذية وأسسها العصبية

على الرغم من أن مفهوم الوظائف التنفيذية تم تعريفه لأول مرة في السبعينيات من القرن الماضي، إلا أن مفهوم آلية التحكم تمت مناقشتها منذ أربعينيات القرن التاسع عشر (1840)، وحالة فينيس كاج Phineas Gage من أكثر الحالات المدروسة، والمرتبطة بالوظائف التنفيذية (Goldstein & Naglieri, 2014). وقد تعرض فينيس كاج لإصابة ثنائية في الفصوص الجبهية، مما جعله تائها وسريع الانفعال، ونشاطه مفرط وغير منضبط (Ratiu & Talos, 2004). دفعت هذه الحالة وغيرها علماء الأعصاب إلى إجراء المزيد من التحقيق في دور الفصوص الجبهية والوظائف التنفيذية (Goldstein & Naglieri, 2014). لعل بريبرام Pribram (1973) من الأوائل الذين استعملوا مصطلح التنفيذية عند

مناقشة وظيفة قشرة الفص قبل الجبهي، ومنذ ذلك الحين، تم تضمين ما لا يقل عن 30 بنية أو أكثر تحت مفهوم الوظائف التنفيذية، مما يجعل المفهوم صعبا من الناحية الإجرائية (Goldstein & Naglieri, 2014, p. 4).

كانت الآليات العصبية **للذاكرة العاملة** موضوع العديد من الدراسات، فتضرر القشرة ما قبل الجبهية يؤدي إلى عجز في أداء مهمة الذاكرة البصرية، ويعني هذا أن الذاكرة العاملة البصرية تخضع شبكة الفصوص تحت الصدغية لدرجة من المراقبة التنفيذية من طرف القشرة قبل الجبهية (Fuster, 2002). وتتفق مجموعة من النتائج مع فكرة أن الذاكرة العاملة تتأسس على انعكاس النشاط بين الشبكات التنفيذية للقشرة ما قبل الجبهية والشبكات الحسية للقشرة الخلفية (Fuster, 2002). وخلال عملية تنشيط الدماغ المرتبطة بالاختيار لوحظ أن الذاكرة العاملة عنصر في الفص قبل الجبهي (النواة المذنبة الظهرية، القسم الجبهية المدارية والبطينية)، والقشرة الجدارية (الجدارية الوسطية والداخلية). في المقابل، ارتبطت صيانة المواضع بالتنشيط الثنائي للقشرة ما قبل الجبهية، والقشرة الجدارية الجانبية الداخلية (El Houari & Zarhbouch, 2022)، والحصين والمناطق الترابطية الأولية والثانوية من القشرة المخية الحديثة، بما في ذلك المناطق الصدغية الخلفية والجدارية والقفوية (El Houari & Zarhbouch, 2022). وعلى العموم، تشير مجموعة من الدراسات إلى أن الوظائف التنفيذية تعتمد في الأغلب إلى القشرة ما قبل الجبهية للشبكات العصبية، وغيرها من مناطق القشرة مثل القشرة الجدارية والصدغية وتحت-القشرية، على سبيل المثال الذاكرة العاملة، مثل Anterior-corom radiata وSuperior longitudinal fasciculus، من باحات الدماغ المرتبطة بالقشرة قبل الجبهية والتي تؤثر على الاشتغال الصحيح للوظائف التنفيذية (Cristofori et al., 2019).

وفي سياق الحديث عن الكف يتبين وجود إسهام كبير لسيرورات متعددة في الأداء الذهني، بما في ذلك إنتاج وتحديد المفاهيم، واختيار الفرضية، وصيانة الانتباه ومقاومة التداخل، واستخدام التغذية الراجعة لتوجيه السلوك والمحتمل عندما يكون أكثر من مفهوم، تحويل الفئات وكبح المواظبة على الفئات السابقة. وفي دراسة كلاسيكية أجريت سنة 1963 قامت، ميلنر Milner بتوثيق تأثير إصابة القشرة الجبهية عبر اختبار فرز البطاقات (WCST)، وعادة ما يرتبط التلفيف الجبهي السفلي بالكف في الذاكرة العاملة (Cristofori et al., 2019; Houdé et al., 2011). كما أن هناك اتفاق حول فرضية أن الفص الجبهي هو ركيزة العديد من الوظائف المعرفية العليا من قبيل الكف أثناء مهام تداخل الاستجابة، هذا التنشيط الجبهي السفلي يعكس الرصد الإدراكي والبصري-المكاني (Houdé et al., 2011). حيث أثبتت تفسيرات لدراسات حديثة عبر التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي لدى الأطفال بالمدارس أن الأنسيلا Insula هي منطقة في الدماغ تنشط على وجه التحديد خلال مهام الوظائف التنفيذية، ومن بين هذه الوظائف التنفيذية، وظيفة الكف بالإضافة إلى وظيفتي الذاكرة العاملة وتحويل الاستجابة (Houdé et al., 2011). كما أشارت أبحاث التصوير بأن القشرة الجبهية السفلية اليمنى منطقة خاصة بالكف. وتوضح دراسة أخرى متعلقة بالتصوير، بالرنين المغناطيسي الوظيفي لتحديد المناطق التي يتم تنشيطها أثناء حجب الاستجابة الحركية السريعة، حيث تم تحديد هذه الباحات في النصف الأيمن من الدماغ، وشملت اللفيف الجبهي السفلي والوسيط، الباحة القشرية اللمبية، الأنسيلا الأمامية، والفصل الجداري العلوي (Cristofori et al., 2019).

في خضم الحديث عن المرونة المعرفية، يتبين أن الإصابات في باحات الفص قبل الجبهي تؤدي إلى عجز على مستوى المرونة المعرفية، حيث أظهرت الدراسات أن التلف الذي يلحق القشرة الجبهية المدارية Orbitofrontal Cortex (OFC) يضعف الانعكاسية في التعلم ولكن ليس في تحويل الانتباه (Cristofori et al., 2019). ظهر من خلال عملية مسح الإصابات إلى أن السيرورات المتقاربة تعتمد على شبكة مشتركة من المناطق الجبهية والصدغية والجدارية، حيث كشفت بعض التفسيرات التباين الواضح بخصوص المرونة المعرفية عن تلف محدد على مستوى التلفيف الصدغي العلوي، وتعرف بمنطقة دعم الاستبصار والتعرف على العلاقات الدلالية الجديدة (Cristofori et al., 2019, p. 202). ووفقا لدراسة واجر Wager وآخرون (2004) أسفرت نتائجها عن أن سبع مناطق في الدماغ ترتبط بالمرونة المعرفية وخصوصا القشرة الدماغية. وشملت هذه المناطق على حد سواء المناطق الخلفية (الجدارية والقفوية) والمناطق الجبهية وأيضا المناطق الجبهية الأمامية بما في ذلك القشرة قبل الجبهية الظهرية، والأنسيلا الأمامية والفص الجداري (p.1685).

أما فيما يرتبط بوظيفة التخطيط، فقد حددت دراسات التصوير الدماغي الوظيفي الحديثة أن القشرة قبل الجبهية الظهرية لها دور في الأداء في وظيفة التخطيط (Cristofori et al., 2019, p. 205). ونظرت دراسة أخرى إلى الاختلافات في القشرة قبل الجبهية وعلاقتها بالتخطيط (Cristofori et al., 2019). وأشارت نتائج الدراسة إلى أن كلا من قشرة الفص الجبهي اليسرى واليمنى تشارك بشكل متساو أثناء حل مشكلة، لكن القشرة قبل الجبهية اليمنى تساهم بشكل مختلف في تحديد خطة لحل المشكلة، في حين أن القشرة قبل الجبهية اليسرى تساهم في تنفيذ الخطة (Cristofori et al., 2019).

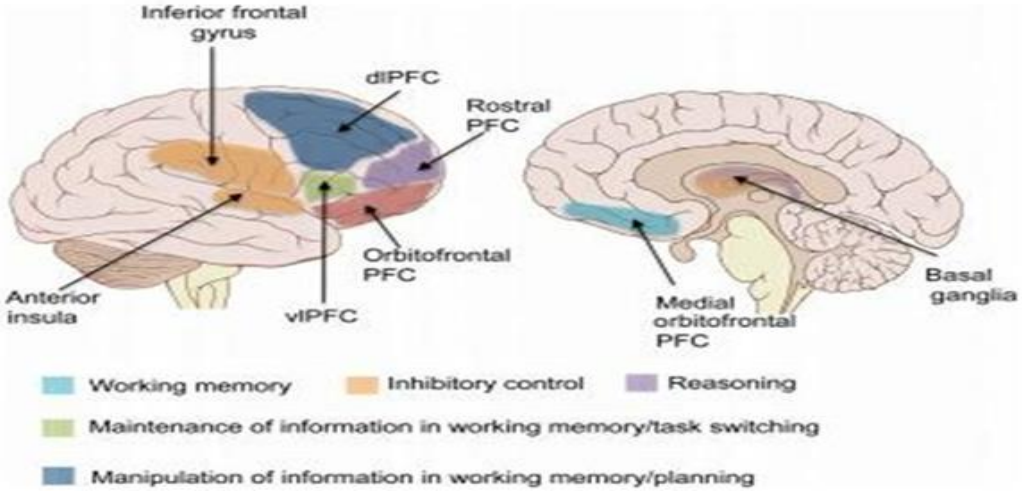
كما أنه خلال الكشف عن البنية العصبية لوظيفة التخطيط، تم من خلال اختبار برج لندن كشف مجموعة من المناطق تنشط خلال هذه الوظيفة، وتتجلى في المنطقة القشرية وتحت القشرية غير الموجودة في القشرة قبل الجبهية، بما في ذلك أيضا القشرة الحركية الأمامية والقشرة الحركية الخلفية والقشرة الجدارية الخلفية (Cristofori et al., 2019). بالإضافة، إلى القشرة ما قبل الجبهية الخلفية المتوسطة، والقشرة الحزامية الأمامية، والتلفيف فوق الحدي، والقشرة الزاوية اليمنى واليسرى قبل الجبهية (الهواري وزغبوش، 2022). والمنطقة الجدارية وتحت الصدغية، وتتلقى قشرة ما قبل

الجبهية المعلومات أيضا من الحصين، والقشرة الحزامية، والمادة السوداء وهي منطقة من الدماغ المتوسط والمهاد والنواة المذنبة الظهرية (Bechara, 2004; Unterrainer & Owen, 2006).

إن الحديث عن المناطق المسؤولة عن التخطيط حسب بشارة Bechara (2004) نجدها تتجلى في كون "أن منطقة القشرة المدارية في القشرة ما قبل الجبهية تشمل التلفيف المستقيم والتلفيف المداري، والتي تشكل السطح السفلي للفصوص الجبهية وتقع مباشرة فوق الصفائح المدارية، وإصابات هذه المنطقة لا تقتصر عادة على القشرة الجبهية المدارية، وإنما تمتد إلى القشرة المجاورة وتشمل مساحة مختلفة من منطقة الفص ما قبل الجبهي البطيني، وتتضمن منطقة الفص ما قبل الجبهي البطيني البؤرة الوسطى ومختلف مجالات القشرة ما قبل الجبهية المدارية الجانبية، وتضم أيضا باحات برودمان Brodman، والمنطقة الوسطى الجانبية والمادة البيضاء الخاضعة لجميع هذه الباحات، والذين يعانون من إصابات على مستوى هذه القشرة ما قبل الجبهية المدارية يتطور لديهم ضعف حاد في اتخاذ القرار الشخصي والاجتماعي على الرغم من الحفاظ على القدرات الذهنية. ويضيف بشارة Bechara (2004) أنه قبل تلف الدماغ يكون لدى الأفراد ذكاء وإبداع طبيعيين، لكن بعده يواجهون صعوبات في التخطيط اليومي لعملهم وللمستقبل وفي اختيار الأصدقاء والأنشطة.

شكل 3

البنيات الدماغية المرتبطة بالوظائف التنفيذية المختلفة بناء على دراسات التلف و/أو التصوير العصبي (نقلا عن كريستفوري Cristofori وآخرون، 2019)



إجمالا، تعتبر القشرة ما قبل الجبهية من المناطق التي لها علاقة باشتغال الوظائف التنفيذية، وتتلقى ذلك من مدخلات شبكة واسعة من المناطق القشرية الأخرى كالجدارية والصدغية، وأيضا تتلقى المعلومات من الحصين والقشرة الحزامية، والمادة الرمادية، والمهاد، والنواة البطينية الظهرية، والقشرة ما قبل الجبهية ترسل التوقعات إلى النواة الظهرية البطينية، وكذلك إلى اللوزة ونواة الحاجز وقشرة ما تحت المهاد (Cristofori et al., 2019). وتنظم قشرة الفص ما قبل الجبهي السلوك الانفعالي من خلال المراقبة من الأعلى إلى الأسفل في الجزء القاعدي للوزة. ويسمح هذا الاتصال للقشرة ما قبل الجبهية بشكل تفضيلي بنشاط القشرة اللوزية، وعصبونات اللوزة الحصينية، بالإضافة إلى القشرة ما قبل الجبهية المدارية الأمامية، والقشرة الجبهية المدارية المرتبطة بضعف الوظائف التنفيذية (Cristofori et al., 2019).

اشتغال الوظائف التنفيذية ودورها في حل المسائل الرياضية

إذا كانت الوظائف التنفيذية تسمح للفرد بإدراك المثيرات في بيئته، والاستجابة التكيفية لها، وتغيير الاتجاه بشكل واضح، وتوقع الأهداف المستقبلية، والنظر في النتائج، والاستجابة بطريقة متكاملة أو منطقية. نقلا عن (Goldstein & Naglieri, 2014)، وتعمل أيضا كبينة تشمل وظائف المراقبة الموجهة نحو الهدف في القشرة ما قبل الجبهية ا (Best et al., 2009; Best & Miller, 2010). وأيضا كعمليات عديدة تشمل التوقع واختيار الهدف، والتخطيط، وبدء النشاط، والتنظيم الذاتي للسلوك من أجل تحقيق الهدف (Anderson, 2002). كما أنها لا تنفصل أيضا بشكل أو بآخر عن الأداء في الرياضيات من خلال حل المشكلات والعمليات الحسابية، حيث تسهم في هذه المهارات التنفيذية في معرفة ما إذا كان الأطفال الذين يعانون من عجز على مستوى الوظائف التنفيذية يواجهون صعوبات في حل المشكلات الرياضية والعمليات الحسابية، ووفقا لهذا الطرح، سنحاول في هذا المحور الإجابة عن الأسئلة التالية: كيف يسهم الاشتغال التنفيذي لمكونات الوظائف التنفيذية في حل مشكلات الرياضيات والعمليات الحسابية؟ وما هي الأسس التي يستند إليها خلال هذه العملية؟ وما طبيعة الخصائص التي تنبني عليها؟

دور الذاكرة العاملة البصرية المكانية في حل مسائل الرياضيات

يشير كل من فروشارت Fruchart وروبيني Rubini (2016) إلى أن أشكنازي Ashkenazi (2013) أظهر ارتباطا بين ضعف الذاكرة البصرية المكانية والنتائج الضعيفة في حل مسائل الرياضيات. من وجهة نظر تشريحية، يتم تفسير ذلك من خلال حقيقة أنه أثناء حل مسألة حسابية، ترتبط استجابات القشرة الجدارية الخلفية اليسرى، والقشرة الظهرية والبطينية قبل الجبهية، والقشرة الجبهية، واللفيف الحزامي والمغزلي مع مهارات عمل الذاكرة المكانية-البصرية عند الأطفال. لكن، الأطفال الذين يعانون من صعوبات حادة في الرياضيات لا يستعملون هذا المورد بشكل صحيح أثناء التمرين (Fruchart, 2016)؛ إذ تستند معالجة العدد في الذاكرة العاملة على أحدث عمل حول النمو المعرفي للكفاءات الحسابية لدى الأطفال وبشكل خاص على نموذج الرمز الثلاثي Triple Code عند دوهاين Dehaene (2011). ويأتي أصل نموذج الرمز الثلاثي عند دوهاين Dehaene من اكتشاف وجود تمثل تناظري للعدد الفطري، الموجود أيضًا لدى الحيوان. وفي هذا الإطار، يتم تمثل الأرقام في دماغنا من خلال 3 رموز مميزة. وبالتالي، يسمح التمثل التناظري أو النظام الرقمي التقريبي (SAN) الفطري والمستقل عن اللغة بتمثيل غير ثنائي للكميات. وهو يتطابق مع الجانب الدلالي، "معنى" الرقم الذي يسمح بـ "القدرة على تحديد كمية الأشياء عن طريق نظرة سريعة دون عدها Subitization (التقدير الفوري) حتى ثلاثة وتقدير الكميات التي تليها. ويتطور التمثل التناظري إلى مرحلة الرشد، وتفعل إمكانية الولوج من خلال التمثل الذهني لخط رقمي موجه من اليسار إلى اليمين (في المناطق التي تتم فيها القراءة من اليسار إلى اليمين) ويتم ضغطه على جانب الأعداد الكبيرة (Levrard-Fruchart, 2016). أما التمثل الفونولوجي فينبني على أساس التعلم الضمني؛ الذي يتطلب استخلاص الكلمات من اللغة، ومن ثم فهو يعتمد على اللغة الأم (Levrard-Fruchart, 2016).

وفي هذا الاطار، إن الحديث عن النموذج والتشريح الوظيفي يسمح بالحديث عن كون أنه خلال هذه العملية، تعمل النمذجة على معالجة كل رمز في جزء معين من الدماغ، حيث يتم التعامل مع الطريقة التناظرية في المنطقة الجدارية السفلية (HIPS) بشكل ثنائي، والطريقة اللفظية تعالج في المنطقة الزمانية اليسرى المحيطية لأعداد الكلمات وفي التلفيف الزاوي الأيسر لتنشيط الوقائع الحسابية، أما الطريقة البصرية فتعالج بشكل ثنائي في المنطقة القفوية-الصدغية Occipito-temporal (Levrard-Fruchart, 2016). وعند تعلم الرموز، يلاحظ وجود تنشيط لقشرة الفص الجبهي يسمح بالتقاء نظامين، النظام الظهري الذي يكتشف العدد والجهاز القفوي البطيني الذي يكتشف الشكل اللفظي أو البصري. ويتم تنشيط القشرة ما قبل الجبهية، بعد ذلك بقليل أثناء التشغيل الآلي للترميز، حيث تتوافق هذه القشرة مع تنشيط الوظائف التنفيذية، وهي وظائف أساسية للتعلم. وبذلك، تنتج الاضطرابات في الحساب عن فشل واحد أو أكثر من الرموز أو الروابط بين الرموز.

دور الذاكرة العاملة في تعلم الحساب

أجرى جيري Geary (2005) في مجلة للأبحاث تظهر كيفية مساهمة بعض الإواليات المعرفية (بما في ذلك الذاكرة العاملة) في ظهور صعوبات تعلم الحساب. وأثناء النمو وخلال مرحلة التعلم المدرسي، ينتقل الأطفال من استعمال الإجراءات القائمة على العد إلى الإجراءات القائمة على الذاكرة لحل المسائل الحسابية البسيطة (3 + 4 = 7). يؤدي هذا التغيير إلى انخفاض مدة الوصول إلى الحل وانخفاض الحاجات إلى موارد الذاكرة العاملة. حيث تتمظهر صعوبات تعلم الحساب لدى الأطفال في صعوبة استعادة الوقائع الحسابية؛ فهم يرتكبون أخطاء أكثر ومدة الاستجابة أطول من مدة الأطفال الصغار الذين لا يواجهون صعوبات في التعلم. وهذه الصعوبات لا تتحسن حقا خلال سنوات الدراسة الابتدائية. بالنسبة إلى حل مسائل الرياضيات الأكثر تعقيدًا (17 + 34)، يستخدم الأطفال الذين لديهم صعوبات في تعلم الحساب نفس إجراءات العد والتحلل مثل أقرانهم، لكنهم ارتكبوا الكثير من الأخطاء في التنفيذ وفي الذاكرة العاملة (Levrard-Fruchart, 2016).

في ذات السياق، أظهر استرجاع الوقائع الحسابية حسب كامبل Campbell (2008) أن الراشدين يحلّون المسائل المرتبطة بالقسمة والطرح بالإشارة إلى العملية الانعكاسية، باستثناء المسائل الصغيرة التي يكون فيها الاسترجاع من الذاكرة مباشرا. لذلك لا نحفظ فقط جداول الجمع والضرب التي نتعلمها في المدرسة، ولكن أيضًا النتائج الأخرى للعمليات البسيطة الأكثر استعمالا (Campbell & Timm, 2000). فقد أظهر نويل Noël أن الحساسية للتداخل يمكن أن تطرح مشكلة عند استرجاع استجابة لعملية ما في الحساب الذهني (Levrard-Fruchart, 2016). ويمكن أن تطرح أيضًا مشكلة في الترميز (Noël et al., 2013). وترتبط الأخطاء في استرجاع الوقائع الحسابية في الضرب بالتداخل بين العمليات والنتيجة (Domahs et al., 2006). كما أوضح نويل Noël دور الحلقة الفونولوجية في الحساب (Noël et al., 2013)، وأن التشابه في الحسابات له أثر على السرعة والدقة، وخلص إلى أن الحلقة الفونولوجية أكثر استعمالا من المفكرة البصرية المكانية في التحيين في الذاكرة العاملة. وأكد باسولونغي Passolunghi (2004) بخصوص مبدأ التحيين أن هناك علاقة بين قدرات التحيين والأداء في حل مسائل الرياضيات (الذكاء اللفظي المتساوي) (Passolunghi & Pazzaglia, 2004). أما فيما يرتبط بالتنسيق، يتضح أن حل مسائل الرياضيات يتطلب التنسيق بين العديد من السيرورات. ويحدث هذا التنسيق في وقت مبكر جدًا من نمو المهارات الرقمية. وأثبت كل من كامو وفايول Fayol

وبارولیه Barollet (1999) أهمية التنسيق وصعوبة تنفيذه في الأداء في الحساب خلال مرحلة الطفولة المبكرة (Levrard-Fruchart, 2016).

تعتبر نظرية جيلمان Gilman وغاليستل Galistel حول المبادئ الفطرية الخمسة للحساب أن هناك صعوبات في التنفيذ والتنسيق، وهذه الصعوبات هي التي تفسر أخطاء الأطفال وليس غياب اكتساب هذه المبادئ (Levrard-Fruchart, 2016). ويضيف أنه مع ذلك، لا تزال الذاكرة العاملة هي المؤشر الثاني للأداء في حل مسائل الرياضيات لدى التلاميذ الجيدين. لذلك يمكننا التحقق بشكل صريح من صحة فرضية أهمية الذاكرة العاملة في حل مسائل الرياضيات، لأن المؤشر المشترك الثاني للأداء بين جيدي وضعيفي الأداء في حل مسائل الرياضيات هو تذكر الوقائع الحسابية. ومع ذلك، فقد لوحظ أن معطيات الأدبيات تُظهر أن الأداء الجيد في الوقائع الحسابية يحرر مساحة من الذاكرة العاملة لاختيار وتخطيط استراتيجيات الحل (Levrard-Fruchart, 2016). يحيل ذلك، كما أشار ورك Work وبندوو Bendow أن تدريب الذاكرة العاملة يظهر السرعة اللفظية والرياضية الأولية (Bull & Johnston, 1997). وقد أفادت دراسات مختلفة من قبيل دراسة غاتركول Gatherole وآخرون (2004) وبول Bull وشريف Scerif (2001) عن وجود علاقة خطية بين مهام سعة الأرقام ومركز التنفيذ وحل المسائل في الرياضيات (D'Amico & Guarnera, 2005).

في السياق نفسه؛ أثبتت دراسات تقييم قدرات الإنجاز في الرياضيات أن الوضعيات التي تثقل أداء الذاكرة العاملة مثل العمليات الحسابية الذهنية بدلا من العمليات الحسابية الكتابية تؤدي إلى ضعف الأداء لدى الأطفال (D'Amico & Guarnera, 2005). وأظهرت سلسلة من الدراسات التجريبية كتلك التي أجراها هينجستيلر Hengsteler (2000) حول المهام المتتابعة التي تشمل مكون مركز التنفيذ، ودراسة فورست Fürst (2000) للحلقة الفونولوجية، و كاري Karry ولي Lee (2002) للمفكرة البصرية المكانية، على أن هذه البنيات الفرعية للذاكرة العاملة تؤثر على تنفيذ عمليات الحساب (D'Amico & Guarnera, 2005). على عكس ذلك، تم التوصل إلى فروق دالة بين المجموعتين في مهام كل من المفكرة البصرية المكانية. إلى جانب ذلك؛ بينت دراسات عديدة من بينها دراسة ديستيفانو Destefano و لوفيفر LeFevre (2004) وهيتش Hitch وفورست Fürst (2000) أن الذاكرة العاملة تساهم بشكل كبير في الأداء في الرياضيات لدى البالغين والأطفال (Andersson & Lyxell, 2007a)، ودفعت هذه النتائج التجريبية بعض الباحثين كـ مكلين McLean وهيتش Hitch (1999) إلى اقتراح أن الأطفال الذين يعانون من صعوبات في الرياضيات قد يعانون من ضعف في أداء الذاكرة العاملة يمنعهم من تطوير مهارات مناسبة في الرياضيات (Andersson & Lyxell, 2007a). كما اتضح في دراسة بيردكرالين Byrdcralen وآخرون (2004) ودراسة ولسون Wilson وسوانسون Swanson (2001) التي فحصت وظائف الذاكرة العاملة لدى الأطفال الذين لديهم صعوبات في تعلم الرياضيات أن أدائهم في مهام الذاكرة العاملة أضعف من أداء المجموعة الضابطة (Andersson & Lyxell, 2007b).

كما تم استكشاف نتائج عدة للدور الذي تقوم به مختلف مكونات الذاكرة العاملة في الأداء الحسابي لدى الأطفال الذين يعانون من صعوبات في تعلم الرياضيات وضبطها (D'Amico & Guarnera, 2005). ويتجلى الفشل في الأداء على مستوى مهام مركز التنفيذ في صعوبة معالجة المعلومات العددية والاحتفاظ بها. وأكدت دراسات عديدة على تدخل سعة مركز التنفيذ مع حل المسائل التي تتكون من رقم واحد خلال إنجاز العمليات (Raghubar et al., 2010). وبينت نتائج دراسات أخرى حول تعلم الرياضيات والذاكرة العاملة أن الأطفال الذين يعانون من صعوبات في تعلم الرياضيات يواجهون مشاكل في مهام الذاكرة العاملة التي تنبني أساسا على معلومات عددية (أرقام)، وليس المهام التي تنبني على معلومات فونولوجية أو كلمات (Andersson & Lyxell, 2007c). بالإضافة إلى ذلك يمكن القول إن الأبحاث التي تناولت الذاكرة العاملة في علاقتها بصعوبات تعلم الرياضيات أظهرت إسهام مركز التنفيذ في جميع أنواع مهام الرياضيات لدى الأطفال (Andersson & Lyxell, 2007c). وتسير هذه الدراسات حسب بيليس Byliss وآخرون (2003)، وبول Bull وشريف Scerif (2001)، وفورست Fürst وهيتش Hitch (2000) في اتجاه أن مركز التنفيذ مسؤول عن تنسيق ورصد وتسلسل مختلف خطوات معالجة المعلومات خلال إنجاز العمليات الحسابية (Andersson & Lyxell, 2007c).

إسهام الكف في حل المسائل الرياضية

بالنسبة للبياجويين الجدد مثل أوليفييه هودي Olivier Houdé، ستكون قدرات الكف ضرورية للنمو المعرفي لدى الطفل (Houdé, 2016). ويوافق على اقتراح دايموند Diamond بشأن الكف في الذاكرة العاملة والذي من شأنه أن يفسر حدوث خطأ A-non-B وليس عدم وجود ديمومة الشيء، وبالتالي فإن قدرات الكف تفسر التجاوزات و"العودة للخلف" في اكتساب القدرات (Diamond, 2013). يعتبر هودي Houdé الكف عاملا رئيسيا في النمو المعرفي، وهو يتناقض مع نظامين؛ النسق البديهي الأول القائم على الحواس والتجربة، والنسق المنطقي الثاني الذي يتطلب جهدًا معرفيا أكثر أهمية ولكن مع النتيجة الأكثر ضمانًا. يقترح وجود نظام تنفيذي ثالث (الكف) يسمح بكف النظام الأول لتنشيط النظام الثاني (Houdé, 2016). بالإضافة إلى ذلك، أظهر هودي Houdé أن تدريب قدرات الكف يسمح بنتائج أفضل من تدريب التفكير العقلاني لتجنب الوقوع في "وضعيات الفخ" (Houdé, 2016).

يتجلى الحديث عن الارتباط بين الكف وحل مسائل الرياضيات في عدد من الأبحاث، من بينها دراسة شبيغل Spiegel وآخرون (2021) الذين توصلوا من خلالها إلى أن الكف له تأثيرات مختلفة على الطلاقة r=0.36 والحساب r=0.27 مع وجود فرق دال جدا (Spiegel et al., 2021). هذا بالإضافة إلى وجود اختلافات في الارتباط بخصوص

الحساب والعد في مرحلة الطفولة المبكرة (مرحلة التعليم الأولي) في سياق دراسة الكف في علاقته بالرياضيات (Allan et al., 2014; Emslander & Scherer, 2022). وبالتالي، استنتجت مجموعة من الدراسات أن الكف يتدخل في حل مسائل الرياضيات والذي من شأنه أن يفسر حدوث الخطأ A-non-B مع عدم غياب ديمومة الشيء. وبالتالي فإن القدرات تفسر التجاوزات (الاسترجاع المعكوس) في اكتساب القدرات (Diamond, 2013).

كما تتوافق نتائج هذه الدراسة مع النتائج التي توصل إليها بروكمان بيرن Brookman-Byrne وآخرون (2018) عند تقييمهم لأطفال تتراوح أعمارهم ما بين 11 و15 سنة حول ما إذا كانت مسائل الرياضيات صحيحة (-7x7=49) أو خاطئة (-7x-7=49)، وتم التوصل إلى أن المسائل الخاطئة والمرتبطة بمفهوم خاطئ كانت الاستجابة فيها ذات علاقة ارتباطية سلبية بالأداء في مهمة go/no-go، وارتبطت أيضا العلاقة بشكل إيجابي بالأداء في مهام ستروب Stroop. وهذا المثال السابق يوضح الدور المهم للكف المراقب. ويسمح الكف بتوقع المهارات في الحساب، وهذا ما تبين من دراسة جيليمير Gélimer وآخرون (2015) على عينة من الأطفال تتراوح أعمارهم بين 11 و14 سنة. والجدير بالذكر أن وظيفة الكف قد تؤثر على عمليات الحساب بسبب السمات التي يحتمل أن تتداخل مثل العمليات والإجابات مع المسائل. بحيث يمكن للأفراد الخلط بين النتائج ذات الأرقام المتقاربة (8x7 و8x9) على الرغم من أن مثل هذا الخلط الارتباطي لم يتم العثور عليه في الدراسات الحديثة (Coulanges et al., 2021).

هناك نتائج واعدة تفيد بأن وظيفة الكف ضرورية لتعلم الكفاءات المبكرة في الرياضيات (Spiegel et al., 2021)، والتحصيل في عمليات الرياضيات (Bull & Lee, 2014). وترتبط وظيفة الكف بشكل فريد بمهارات الرياضيات خلال جميع مستويات المدرسة الابتدائية (Spiegel et al., 2021). وقد توصل إمسلاندر Emslander وشيرين Scheren (2022) وألان Allan وآخرون (2014) إلى أن وظيفة الكف لها ارتباط إيجابي ضعيف r=0.36 بمهارات الرياضيات لدى تلاميذ ما قبل المدرسة وتلاميذ المرحلة الابتدائية (Allan et al., 2014; Emslander & Scherer, 2022). وكشفت الأعمال الأخيرة في تعلم العلوم الدور المهم لوظيفة الكف في المجالات التي تتطلب تغييرا مفاهيميا. مما يجعله مجالا مثاليا لفحص الحاجة إلى ضبط الكف في تعلم الرياضيات (Coulanges et al., 2021). وأظهرت دراسات أخرى لكل من فارما Varma وكارل Karl (2013) وهوبر Huber وآخرون (2014) ارتباط الكف بالتحصيل في الرياضيات (Coulanges et al., 2021).

المرونة المعرفية ودورها في حل المسائل في الرياضيات

تلعب المرونة المعرفية دورا أساسيا في تعلم الرياضيات، وقد تبين أن الكف المعرفي وليس السلوكي (go-nogo) هو الذي يؤثر في حل مسائل الرياضيات (Passolunghi et al., 2005). ويعزى ذلك إلى أن المرونة المعرفية تدعم اكتساب التلاميذ لمهارات الرياضيات لما لها من علاقة ارتباطية بالأداء الأكاديمي (Purpura et al., 2017). ينضاف إلى ذلك وفقا لـ بلين Blain ورازا Razza (2007) أنه من الممكن ألا تكون للمرونة المعرفية علاقة بنتائج الأداء في الرياضيات (Purpura et al., 2017). كما كشفت نتائج دراسة داميكو D'Amico وجارنيرا Guarnera (2005) عن فروق كبيرة دالة إحصائيا في جميع المهام -تقريبا- التي تشمل المرونة المعرفية (D'Amico & Guarnera, 2005). وهذا ما يتفق مع دراسة كروسبيرجر Kroesberger وآخرون (2009) التي أثبتت الدور الأساسي للاشتغال التنفيذي في تعلم الرياضيات وخاصة الحساب (al-Naboulsi & Vilette, 2021). وتوصل أندرسون Anderson (2008) إلى أن الأداء التنفيذي وخاصة المرونة المعرفية يتنبأ بالأداء في الحساب بعد مراقبة مستوى القراءة، والعمر، والفعالية الذهنية (al-Naboulsi & Vilette, 2021). كما سلطت أيضا مجموعة من الدراسات لـ غيري Geary وآخرون (2012) الضوء على تدخل الذاكرة العاملة والمرونة المعرفية في قدرات العد والاسترجاع العددي (al-Naboulsi & Vilette, 2021). وأشارت دراسات بول Bull وشريف Scerif (2001) ودوبس وآخرون Dobbs (2006) إلى وجود علاقة ارتباطية بين المرونة المعرفية والأداء الأكاديمي من سبع سنوات فما فوق، وتوضح تباين نتائج نمو المهارات الحسابية والرياضيات. ووجد لاند Land وآخرون (2011) أن الوظائف التنفيذية مرتبطة بمهارات العد والحساب المبكر (Purpura et al., 2017). وعلى العكس من ذلك؛ توصل بوربيرا Purpura وآخرون (2017) إلى أن المرونة المعرفية مرتبطة ارتباطا ضعيفا بمهارات الرياضيات، لا سيما تلك التي تتطلب معرفة مفاهيمية أو مجردة، وعلى وجه التحديد كان الارتباط قويا بين ثلاثة مقاييس فقط من أصل 12 مقياسا للرياضيات منها (ترتيب الأعداد) وكان الارتباط ذو دلالة إحصائية ضعيفة بتعيين الأعداد (Purpura et al., 2017). وأضاف أيضا بوربيرا وآخرون Purpura et al. (2017) أنه وفقا لـ ديامند وآخرون (2002) فالمرونة المعرفية ترتبط في المقام الأول بالأوجه الأكثر تجريدا للرياضيات (Purpura et al., 2017).

التخطيط ودوره في حل مسائل الرياضيات

يجري التعرف على إسهام التخطيط في تعلم الرياضيات، عبر قياس أداء هذه الوظيفة بالاختبارات التي من شأنها أن تعطي معطيات دقيقة تحدد طبيعة هذه العلاقة. في هذا الشأن، أثبتت نتائج بعض الدراسات وجود علاقة ضعيفة بين أداء في برج لندن (TOL) وحل المسائل في الرياضيات، إضافة إلى غياب الارتباط بين التخطيط وحل المسائل في الرياضيات

لدى التلاميذ الجيدين، كما تبين ارتباط ضعيف لدى ضعيفي الأداء في حل مسائل الرياضيات، مما يفسر أن كفاءات التخطيط يمكن أن تكون خاصة بـحل المسائل في الرياضيات، لأنها مستقلة إلى حد ما عن المؤشرات اللفظية والرقمية، لكن هذا الاختبار الذي تم تطويره يجب أن يخضع أيضا للصدق الخارجي. بالإضافة إلى ذلك، وفقا لـ مياك Miyake وآخرون (2000) فإن هذا الأخير يتم ربطه بمؤشر الكف. لذلك لا يمكننا التحقق من صحة أو خطأ الصلة بين كفاءات التخطيط والأداء في حل مسائل الرياضيات.

خلاصة

تبين من المعطيات الواردة أعلاه والمرتبطة باشتغال الوظائف التنفيذية وحل مسائل الرياضيات، أن الوظائف التنفيذية تلعب دورا هاما في تعلم الرياضيات. وهذه الأدوار تتجلى في طبيعة اشتغال وظيفة الكف خلال عملية كف المعطيات غير ذات الصلة والإبقاء على المعطيات ذات الصلة، وكذلك الذاكرة العاملة، من خلال دورها في ترميز المعطيات ومعالجتها، وكذا استرجاع المعطيات الأنسب للحل من الذاكرة بعيدة المدى، عبر التخطيط له، والميزة التي من الضروري التحلي بها خلال حل المسائل هي المرونة المعرفية التي تسمح بكف معطيات والإبقاء على معطيات أخرى ذات الصلة. وإجمالا؛ تعد الوظائف التنفيذية مفهوما شاملا يستعمل لتمثيل الكفاءات المعرفية المساهمة في السلوكات الموجهة نحو الهدف. ومع ذلك، فقد تناولت القليل من الدراسات كيف تتنبأ الوظائف التنفيذية الثلاث (الكف، والتحويل، والذاكرة العاملة) بنمو مهارات الرياضيات.وقد تبين أن الذاكرة العاملة هي الوظيفة التنفيذية الوحيدة التي تتنبأ بنمو الحساب (Wei et al., 2018). وأبانت دراسات أخرى عن أن الوظائف التنفيذية ترتبط بالأداء في الرياضيات.

المراجع

قدام، محمد (2020). الوظائف التنفيذية وسيرورات معالجة المعلومات. في باديدي، ت وقدام، م (محرران). *مجالات ونماذج الاشتغال المعرفي، نحو رؤى متداخلة لعلم النفس المعرفي*. مؤسسة باحثون للدراسات والأبحاث والنشر والاستراتيجيات الثقافية. المغرب (ط. 1، صص. 69-126).

Allan, N. P., Hume, L. E., Allan, D. M., Farrington, A. L., & Lonigan, C. J. (2014). Relations between inhibitory control and the development of academic skills in preschool and kindergarten : A meta-analysis. *Developmental Psychology, 50*, 2368-2379. https://doi.org/10.1037/a0037493

al-Naboulsi, D., & Vilette, B. (2021). Relations entre bilinguisme, performances scolaires et fonctions exécutives chez des enfants libanais de 8-10 ans. *Enfance, 4*(4), 391-411. https://doi.org/10.3917/enf2.214.0391

Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive Function and the Frontal Lobes : A Meta-Analytic Review. *Neuropsychology Review, 16*(1), 17-42. https://doi.org/10.1007/s11065-006-9002-x.

Anderson, P. (2002). Assessment and Development of Executive Function (EF) During Childhood. *Child Neuropsychology, 8*(2), 71-82. https://doi.org/10.1076/chin.8.2.71.8724

Andersson, U., & Lyxell, B. (2007a). Working memory deficit in children with mathematical difficulties : A general or specific deficit? *Journal of Experimental Child Psychology, 96*(3), 197-228. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.10.001

Andersson, U., & Lyxell, B. (2007b). Working memory deficit in children with mathematical difficulties : A general or specific deficit? *Journal of Experimental Child Psychology, 96*(3), 197-228. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.10.001

Andersson, U., & Lyxell, B. (2007c). Working memory deficit in children with mathematical difficulties : A general or specific deficit? *Journal of Experimental Child Psychology, 96*(3), 197-228. Scopus. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.10.001

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. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.042

Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2000). Development of Working Memory : Should the Pascual-Leone and the Baddeley and Hitch Models Be Merged? *Journal of Experimental Child Psychology, 77*(2), 128-137. https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2592

Badre, D., & Wagner, A. D. (2006). Computational and neurobiological mechanisms underlying cognitive flexibility. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 103*(18), 7186-7191. https://doi.org/10.1073/pnas.0509550103

Bechara, A. (2004). The role of emotion in decision-making : Evidence from neurological patients with orbitofrontal damage. *Brain and Cognition, 55*(1), 30-40. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2003.04.001

Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A Developmental Perspective on Executive Function : Development of Executive Functions. *Child Development, 81*(6), 1641-1660. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x

Best, J. R., Miller, P. H., & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5 : Changes and correlates. *Developmental Review, 29*(3), 180-200. https://doi.org/10.1016/j.dr.2009.05.002

Bull, R., & Johnston, R. S. (1997). Children's Arithmetical Difficulties : Contributions from Processing Speed, Item Identification, and Short-Term Memory. *Journal of Experimental Child Psychology, 65*(1), 1-24. https://doi.org/10.1006/jecp.1996.2358

Bull, R., & Lee, K. (2014). Executive Functioning and Mathematics Achievement. *Child Development Perspectives, 8*(1), 36-41. https://doi.org/10.1111/cdep.12059

Campbell, J. I. D. (2008). Subtraction by addition. Memory & Cognition, 36(6), 1094-1102. https://doi.org/10.3758/MC.36.6.1094

Campbell, J. I. D., & Timm, J. C. (2000). Adults' strategy choices for simple addition : Effects of retrieval interference. *Psychonomic Bulletin & Review, 7*(4), 692-699. https://doi.org/10.3758/BF03213008

Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant : Concepts et développement. Canadian *Psychology / Psychologie canadienne, 51*(3), 149-163. https://doi.org/10.1037/a0020031

Coulanges, L., Abreu-Mendoza, R. A., Varma, S., Uncapher, M. R., Gazzaley, A., Anguera, J., & Rosenberg-Lee, M. (2021). Linking inhibitory control to math achievement via comparison of

conflicting decimal numbers. *Cognition, 214*, 104767. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104767

Cowan, R., & Powell, D. (2014). The contributions of domain-general and numerical factors to third-grade arithmetic skills and mathematical learning disability. *Journal of Educational Psychology, 106*(1), 214–229. https://doi.org/10.1037/a0034097

Cristofori, I., Cohen-Zimerman, S., & Grafman, J. (2019). *Executive functions*. In Handbook of Clinical Neurology (Vol. 163, p. 197-219). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804281-6.00011-2

D'Amico, A., & Guarnera, M. (2005). Exploring working memory in children with low arithmetical achievement. *Learning and Individual Differences, 15*(3), 189-202. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2005.01.002

Dehaene, S. (2011). *The Number Sense : How the Mind Creates Mathematics*. Oxford University Press, USA.

Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology, 64*(1), 135-168. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750

Domahs, F., Delazer, M., & Nuerk, H.-C. (2006). What makes multiplication facts difficult : Problem size or neighborhood consistency? *Experimental Psychology, 53*(4), 275-282.

El Houari, F., & Zarhbouch, B. (2022). Executive Functions and mental health. The International Scientific Forum, 255-281. https://doi.org/10.36772/isf10.10

El-Mir, M. (2022). القراءة والذاكرة العاملة [Reading and working memory]. Books Cultural Center: Casablanca, Beirut, ISBN: 978-9920-677-25-7. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.21096664.v1

Emslander, V., & Scherer, R. (2022). The relation between executive functions and math intelligence in preschool children : A systematic review and meta-analysis. *Psychological Bulletin, 148*(5-6), 337. https://doi.org/10.1037/bul0000369

Friso-van Den Bos, I., Van Der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. H. (2013). Working memory and mathematics in primary school children : A meta-analysis. *Educational Research Review, 10*, 29-44. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.05.003

FÜrst, A. J., & Hitch, G. J. (2000). Separate roles for executive and phonological components of working memory in mental arithmetic. *Memory & Cognition, 28*(5), 774-782. https://doi.org/10.3758/BF03198412

Fuster, J. M. (2002). Frontal lobe and cognitive development. *Journal of Neurocytology, 31*(3), 373-385. https://doi.org/10.1023/A:1024190429920

Gioia, G. A., Isquith, P. K., Retzlaff, P. D., & Espy, K. A. (2002). Confirmatory Factor Analysis of the Behavior Rating Inventory of Executive Function (BRIEF) in a Clinical Sample. Child *Neuropsychology, 8*(4), 249-257. https://doi.org/10.1076/chin.8.4.249.13513

Goldstein, S., & Naglieri, J. A. (2014). *Executive functioning*. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-1-4614-8106-5.pdf

Hastings, E. C., & West, R. L. (2011). Goal orientation and self-efficacy in relation to memory in adulthood. Aging, *Neuropsychology, and Cognition, 18*(4), 471-493. https://doi.org/10.1080/13825585.2011.575926

Hofmann, W., Schmeichel, B. J., & Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(3), 174-180. https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.01.006

Houdé, O. (2016). Éducation et développement cognitif de l'enfant. Annales des Mines-*Réalités industrielles, 2*, 54-56. https://www.cairn.info/revue-realites-industrielles-2016-2-page-54.htm

Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoë, C., Lubin, A., Turbelin, M.-R., Rossi, S., Simon, G., Delcroix, N., Lamberton, F., Vigneau, M., Wisniewski, G., Vicet, J.-R., & Mazoyer, B. (2011). Functional magnetic resonance imaging study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children : A neo-Piagetian approach. *Journal of Experimental Child Psychology, 110*(3), 332-346. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.04.008

Hughes, C. H., & Ensor, R. A. (2009). How do families help or hinder the emergence of early executive function? *New Directions for Child and Adolescent Development, 2009*(123), 35-50. https://doi.org/10.1002/cd.234

Kirby, J. R., Dawson, P., & Guare, R. (2005). Executive Skills in Children and Adolescents : A Practical Guide to Assessment and Intervention. *Canadian Journal of Education / Revue Canadienne de l'éducation, 28*(1/2), 224. https://doi.org/10.2307/1602167

Levrard-Fruchart, M. (2016). *Facteurs de réussite en problèmes mathématiques : D'après l'étalonnage d'un outil de dépistage des troubles des apprentissages* [Mémoire, UNIVERSITE PARIS VI PIERRE ET MARIE CURIE]. Hal. https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01357861/document

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. https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=086a7d7e8315ce3d25e1a2a7a2602b1d2c60eb7a

Müller, U., & Kerns, K. (2015). The development of executive function. *Handbook of child psychology and developmental science: Cognitive processes, 2*, 571-623. https://doi.org/10.1002/9781118963418.childpsy214

Noël, M.-P., Rousselle, L., & De Visscher, A. (2013). La dyscalculie développementale : À la croisée de facteurs numériques spécifiques et de facteurs cognitifs généraux. *Développements, 15*(2), 24-31. https://doi.org/10.3917/devel.015.0024

Passolunghi, M. C., Marzocchi, G. M., & Fiorillo, F. (2005). Selective effect of inhibition of literal or numerical irrelevant information in children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) or arithmetic learning disorder (ALD). *Developmental neuropsychology, 28*(3), 731-753. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2803_1

Passolunghi, M. C., & Pazzaglia, F. (2004). Individual differences in memory updating in relation to arithmetic problem solving. *Learning and Individual Differences, 14*(4), 219-230. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2004.03.001

Purpura, D. J., Schmitt, S. A., & Ganley, C. M. (2017). Foundations of mathematics and literacy : The role of executive functioning components. *Journal of Experimental Child Psychology, 153*, 15-34. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.08.010

Raghubar, K. P., Barnes, M. A., & Hecht, S. A. (2010). Working memory and mathematics : A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning and Individual Differences, 20*(2), 110-122. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.10.005

Ratiu, P., Talos, I. F., Haker, S., Lieberman, D., & Everett, P. (2004). The tale of Phineas Gage, digitally remastered. *Journal of neurotrauma, 21*(5), 637–643. https://doi.org/10.1089/089771504774129964

Simpson, A., & Riggs, K. J. (2007). Under what conditions do young children have difficulty inhibiting manual actions? *Developmental Psychology*, 43, 417-428. https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.2.417

Spiegel, J. A., Goodrich, J. M., Morris, B. M., Osborne, C. M., & Lonigan, C. J. (2021). Relations between executive functions and academic outcomes in elementary school children : A meta-analysis. *Psychological Bulletin, 147*, 329-351. https://doi.org/10.1037/bul0000322

Träff, U. (2013). The contribution of general cognitive abilities and number abilities to different aspects of mathematics in children. *Journal of experimental child psychology, 116*(2), 139-156. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.04.007

Unterrainer, J. M., & Owen, A. M. (2006). Planning and problem solving : From neuropsychology to functional neuroimaging. *Journal of Physiology-Paris, 99*(4-6), 308-317. https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.03.014

Van Dooren, W., & Inglis, M. (2015). Inhibitory control in mathematical thinking, learning and problem solving : A survey. *ZDM, 47*(5), 713-721. https://doi.org/10.1007/s11858-015-0715-2

Vriezen, E. R., & Pigott, S. E. (2002). The Relationship Between Parental Report on the BRIEF and Performance-Based Measures of Executive Function in Children with Moderate to Severe Traumatic Brain Injury. *Child Neuropsychology, 8*(4), 296-303. https://doi.org/10.1076/chin.8.4.296.13505

Wager, T. D., Jonides, J., & Reading, S. (2004). Neuroimaging studies of shifting attention: a meta-analysis. *NeuroImage, 22*(4), 1679–1693. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.03.052

Wager, T. D., & Smith, E. E. (2003). Neuroimaging studies of working memory: Cognitive, Affective, & Behavioral *Neuroscience, 3*(4), 255-274. https://doi.org/10.3758/CABN.3.4.255

Wang, M., Gamo, N. J., Yang, Y., Jin, L. E., Wang, X. J., Laubach, M., Mazer, J. A., Lee, D., & Arnsten, A. F. (2011). Neuronal basis of age-related working memory decline. *Nature, 476*(7359), 210–213. https://doi.org/10.1038/nature10243

Wei, W., Guo, L., Georgiou, G. K., Tavouktsoglou, A., & Deng, C. (2018). Different Subcomponents of Executive Functioning Predict Different Growth Parameters in Mathematics: Evidence From a 4-Year Longitudinal Study With Chinese Children. *Frontiers in psychology, 9*, 1037. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01037