

EXPLORATION DU RÔLE DU CONTRÔLE ATTENTIONNEL DANS LA COMPRÉHENSION DU LIEN ENTRE PERFORMANCES EN MATHÉMATIQUES ET ANXIÉTÉ DES MATHÉMATIQUES CHEZ LES ÉLÈVES

E. Wauthia, A. Leboutte, N. Duroisin

Service Éducation et Sciences de l'Apprentissage, École de Formation des Enseignants, Université de Mons, Mons, Belgique.

Auteur de correspondance : erika.wauthia@umons.ac.be

Publication : A.N.A.E., 195, Avril 2025

RÉSUMÉ

Les évaluations PISA (OECD, 2023) ont montré un déclin des compétences mathématiques chez les élèves âgés de 15 ans, essentielles à leur réussite (Shi et al., 2022). L'anxiété des mathématiques (AM) jouerait un rôle clé (Levine & Pantoja, 2021). La Théorie du Contrôle Attentionnel (Eysenck et al., 2007) offre une perspective utile pour comprendre les liens entre AM et performances, mais des études ciblées sur les élèves d'âge scolaire sont nécessaires pour mieux comprendre les mécanismes de l'AM et développer des interventions éducatives adaptées.

Mots clés : Mathématiques, Anxiété, Contrôle attentionnel, Mémoire de travail, Inhibition.

INTRODUCTION

Le rôle prédominant des compétences en mathématiques dans la réussite scolaire, mais également dans le développement personnel et collectif est bien établi. En effet, les compétences élémentaires en mathématiques sont indispensables pour résoudre divers problèmes de la vie quotidienne ainsi que pour le développement de compétences plus avancées, essentielles aux domaines scientifiques modernes (Campbell & Xue, 2001).

Pourtant, les récentes évaluations du Programme International pour le Suivi des Acquis des élèves (PISA) ont révélé que près d'un élève âgé de 15 ans sur quatre, parmi les pays membres de l'OCDE, pourrait être considéré comme un « faible performeur » en mathématiques (OECD, 2023). Parmi les principaux facteurs expliquant cette diminution de la performance, le niveau d'anxiété des mathématiques (AM) a été identifié. En effet, celui-ci tel que rapporté par les adolescents de 15 ans, a augmenté depuis la précédente évaluation internationale (Baye et al., 2023).

Bien que de nombreuses études se soient intéressées aux liens entre AM et performances dans cette matière chez les adolescents, les études existantes chez les enfants sont plus rares ou aboutissent à des résultats divergents (Barroso et al., 2021). Dans ce contexte, il semble crucial d'explorer de manière approfondie cette relation chez les élèves les plus jeunes (dès l'école primaire) afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents et de permettre aux professionnels de développer des interventions éducatives efficaces, ciblant la problématique de l'AM.

La Théorie du Contrôle Attentionnel (Eysenck et al., 2007) offre une perspective pertinente pour comprendre cette association dès le début de l'apprentissage formel des mathématiques. Afin d'éclaircir cette question, ce chapitre débutera par une définition de l'AM et une description de ses caractéristiques. Il examinera ensuite l'état des connaissances concernant la relation entre l'AM et les performances en mathématiques, en mettant l'accent sur les élèves d'âge scolaire (6-12 ans). Une attention particulière est portée aux liens entre les déficits de contrôle attentionnel et l'AM, afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents. Enfin, le chapitre abordera des pistes d'intervention prometteuses, qu'elles visent directement les élèves pour réduire leur anxiété ou les enseignants pour mieux les accompagner dans leur apprentissage des mathématiques.

ANXIÉTÉ DES MATHÉMATIQUES

Afin d'aborder de manière rigoureuse la problématique de l'AM, il est primordial d'en proposer une définition précise, d'en décrire les principales caractéristiques et d'explicitier comment celle-ci impacte les performances en mathématiques.

Définition et développement

L'anxiété des mathématiques fait référence à l'ensemble des émotions négatives, telles que le stress ou l'anxiété, que ressentent les individus lorsqu'ils sont engagés dans une activité liée aux mathématiques ou lorsqu'ils pensent à ces activités (Ashcraft & Kirk, 2001 ; Caviola et al., 2022 ; Hembree, 1990 ; Levine & Pantoja, 2021 ; Richardson & Suinn, 1972). En général, ce type d'anxiété est susceptible d'interférer avec la capacité des individus qui en souffrent, à résoudre des problèmes mathématiques à l'école ou dans leur vie quotidienne (Ashcraft, 2002 ; Beilock & DeCaro, 2007 ; Hembree, 1990).

L'AM est un concept multidimensionnel (Namkung et al., 2019 ; Szczygiał et al., 2024), qui peut se référer, selon les individus et les circonstances, à l'anxiété ressentie en situation d'apprentissage ou à l'anxiété ressentie en situation d'évaluation (Namkung et al., 2019). Que ce soit dans l'une ou l'autre situation, l'AM comprend une composante cognitive impliquant des pensées négatives envers les mathématiques et une anticipation de l'échec uniquement dans cette matière, ainsi qu'une composante affective impliquant une détresse émotionnelle ressentie à l'égard des mathématiques (Levine & Pantoja, 2021 ; Piccirilli et al., 2023).

Bien qu'elle soit davantage étudiée chez l'adolescent, l'AM peut toutefois s'observer plus précocement. Effectivement, la littérature démontre des manifestations d'AM dès le début des apprentissages formels en mathématiques, soit dès l'âge de 7 ans (Caviola et al., 2022 ; Namkung et al., 2019). De plus, étant donné qu'elle concerne spécifiquement l'objet « mathématiques », l'AM pourrait se distinguer d'autres formes de troubles anxieux, telles que l'anxiété de performance ou le trouble anxieux généralisé, dès l'âge de 8 ans (Carey et al., 2017 ; Ramirez et al., 2013 ; Vukovic et al., 2013).

Son développement, au cours de l'enfance et de l'adolescence, n'est pas linéaire. En effet, une méta-analyse réalisée sur ce sujet (Hembree, 1990) révèle que le niveau d'AM a tendance à augmenter de 11 à 14 ans, atteignant son pic vers l'âge de 14/15 ans, avant de se stabiliser lors des dernières années du lycée et des études supérieures (Levine & Pantoja, 2021).

AM et performances en mathématiques

La grande majorité des recherches, menées jusqu'à présent sur les adolescents et les adultes, ont révélé une corrélation négative entre l'AM et les performances en mathématiques (Ashcraft & Kirk, 2001 ; Barroso et al., 2021 ; Hembree, 1990 ; Hopko et al., 1998 ; Justicia-Galiano et al., 2017 ; Richardson & Suinn, 1972). Cette relation a été observée aussi bien lors de tâches mathématiques simples, comme la réalisation d'additions, que lors de tâches de résolution de problèmes plus complexes (Ashcraft & Faust, 1994 ; Maloney et al., 2010).

Les études portant sur les enfants plus jeunes sont moins nombreuses (Justicia-Galiano et al., 2017), mais elles tendent quand même à suggérer que la relation entre AM et moindres performances en mathématiques surviendrait dès l'apprentissage formel de cette matière, soit vers l'âge de 7 ans comme évoqué précédemment. De plus, des auteurs tels que Namkung et al. (2019) ajoutent que cette corrélation négative tend à s'intensifier avec l'âge ($r = -.27$ à l'école primaire et $r = -.36$ à l'école secondaire), suggérant que plus l'enfant grandit et progresse dans les niveaux scolaires, plus le lien négatif entretenu entre AM et performances dans cette matière se renforce. Enfin, le niveau d'AM en première année primaire permettrait de prédire les performances dans cette matière deux ans plus tard (Levine & Pantoja, 2021).

Ces constats renforcent la nécessité de s'intéresser à la problématique de l'AM dès le plus jeune âge afin de contrecarrer au mieux cette relation négative et d'améliorer les expériences scolaires des élèves. Dans cette perspective, il apparaît que la relation négative entre l'AM et les performances en mathématiques pourrait être, comme dans d'autres troubles anxieux, entretenue par un cercle vicieux (Carey et al., 2016) au cours duquel l'AM générerait une tension émotionnelle chez les élèves. Cette tension réduirait le plaisir ressenti lors de l'apprentissage des mathématiques, ce qui, ensuite, diminuerait la confiance que les élèves ont dans leurs capacités à résoudre des problèmes mathématiques (Cuder et al., 2023).

Par conséquent, ces émotions peuvent encourager des comportements d'évitement vis-à-vis des mathématiques (Ashcraft, 2002 ; Ashcraft & Krause, 2007). La tension émotionnelle ressentie entraînerait donc, chez les élèves, l'évitement des situations impliquant les mathématiques. Le manque d'expérience en mathématiques qui en résulte empêcherait les

élèves de développer adéquatement leurs compétences, ce qui influencerait à nouveau négativement leur confiance en eux et leurs sentiments d'anxiété.

LES MODÈLES THÉORIQUES DE L'AM

Les modèles théoriques de l'AM s'ancrent solidement dans les disciplines de la psychologie cognitive et des neurosciences, avec pour objectif de décoder les mécanismes internes qui expliquent son impact sur les performances scolaires. Deux modèles se distinguent particulièrement dans cette perspective : la Théorie de l'Efficiencia du Traitement de l'Information (Eysenck & Calvo, 1992) et la Théorie du Contrôle Attentionnel (Eysenck et al., 2007). Complémentaires, ces cadres théoriques offrent des regards croisés et approfondis sur la manière dont l'anxiété interagit avec des processus cognitifs fondamentaux tels que l'attention, la mémoire de travail et l'efficiencia cognitive.

La Théorie de l'Efficiencia du Traitement de l'Information

La Théorie de l'Efficiencia du Traitement de l'Information a été développée par Eysenck et Calvo (1992). Elle est à l'origine de la Théorie du Contrôle Attentionnel, proposée plus tard par Eysenck et al. (2007), qui semble être un modèle théorique pertinent pour comprendre les liens entre AM et performances scolaires.

La Théorie de l'Efficiencia du Traitement de l'Information (Eysenck & Calvo, 1992) établit une distinction cruciale entre les concepts d'efficiencia et d'efficacité du traitement de l'information. D'après cette théorie, l'efficiencia renvoie à la relation existante entre les ressources octroyées à la réalisation d'une tâche (par exemple, activation neuronale, temps de réponse) et la qualité de la performance obtenue à l'issue de cette tâche. L'efficacité, en revanche, renvoie directement à la qualité de la performance telle qu'objectivée par des mesures comportementales (par exemple, exactitude d'une réponse) (Eysenck et al., 2007 ; Eysenck & Calvo, 1992).

Sur la base de cette distinction, Eysenck et Calvo (1992) postulent que l'anxiété impacterait davantage l'efficiencia que l'efficacité du traitement de l'information. En effet, l'anxiété se caractérise majoritairement par la présence de ruminations et d'inquiétudes (Borkovec, 1994). Le traitement du contenu de ces ruminations consommerait d'importantes ressources cognitives. Ce faisant, elles limiteraient la quantité de ressources disponibles pour le traitement d'informations, ce qui ensuite entraverait la réalisation d'une tâche donnée.

Eysenck et Calvo (1992) ajoutent que cette interférence pourrait être compensée par les individus grâce à l'utilisation de ressources supplémentaires permettant d'assurer une bonne efficacité lors d'une tâche, mais à des coûts plus élevés en termes d'efficiencia. Cette théorie est étroitement liée aux fonctions exécutives (FE), qui jouent un rôle dans le contrôle du comportement et des pensées. En effet, Eysenck et Calvo (1992) précisent que l'interférence occasionnée par les inquiétudes impacterait plus précisément l'administrateur central de la mémoire de travail.

Selon la conceptualisation tripartite de la mémoire de travail proposée par Baddeley (1986), l'administrateur central est la composante du traitement de la mémoire de travail, qui assure diverses fonctions cognitives telles que le contrôle de l'attention, la mise à jour, ou encore, la planification (Smith & Jonides, 1999).

Plusieurs limites ont été formulées à l'égard de cette théorie (Eysenck et al., 2007). Premièrement, le modèle d'Eysenck et Calvo (1992) ne permet pas de préciser quelle fonction de l'administrateur central serait principalement impactée par des niveaux élevés d'anxiété. Deuxièmement, de nombreuses preuves empiriques démontrent que les individus anxieux, y compris les enfants, voient leurs performances cognitives négativement impactées par la présence de stimuli qu'ils considèrent comme menaçants (Dudenev et al., 2015). Or, le modèle d'Eysenck et Calvo (1992) ne permet pas d'expliquer pourquoi la performance des individus anxieux est impactée par la présence de ces distracteurs (Calvo, 1996 ; Eysenck, 2013).

La Théorie du Contrôle Attentionnel

La Théorie du Contrôle Attentionnel développée plus tard par Eysenck et al. (2007) pour répondre à ces limitations, avance que l'anxiété diminuerait spécifiquement les capacités de contrôle attentionnel. Pour mieux comprendre ceci, il convient de préciser que le système attentionnel peut être subdivisé en deux (Corbetta & Shulman, 2002 ; Posner & Petersen, 1990).

Le premier système, dit bottom-up (ou « ascendant »), est automatiquement activé par la détection de stimuli porteurs d'une saillance motivationnelle et/ou émotionnelle. Le second système dit top-down (ou « descendant ») s'active, quant à

lui, de manière stratégique, en fonction des objectifs poursuivis au cours d'une tâche donnée.

Par exemple, si un élève est amené à résoudre un problème où il doit multiplier deux fractions, il va utiliser, grâce à son système top-down, les règles qu'il a apprises auparavant en classe afin de parvenir à la solution. Si, au cours de la résolution de son calcul, un camarade de classe fait tomber un livre bruyamment à côté de lui, ce bruit soudain va capter son attention de manière bottom-up. Dès lors, le contrôle attentionnel serait une fonction spécifique du top-down appartenant à l'administrateur central de la mémoire de travail, qui permettrait un maintien de l'équilibre entre les deux systèmes attentionnels. Dans l'exemple, le contrôle attentionnel permettrait à l'élève de rapidement se rendre compte que ce bruit n'est pas important pour la bonne réalisation de sa tâche actuelle, l'amenant donc à réorienter son attention de manière top-down vers son problème de multiplication.

Selon la Théorie du Contrôle Attentionnel, l'anxiété perturbe le contrôle attentionnel, engendrant un déséquilibre entre ces deux systèmes. L'influence du système bottom-up serait alors accrue, facilitant la détection des stimuli menaçants, tandis que celle du système top-down serait diminuée, à la suite du dysfonctionnement du contrôle attentionnel associé. Cela favoriserait l'orientation de l'attention vers les distracteurs internes (comme les inquiétudes) ou externes (tels que les stimuli cohérents avec le trouble anxieux, comme les visages menaçants dans le cas de l'anxiété sociale), tout en réduisant simultanément les ressources allouées à l'exécution efficace d'une tâche concurrente.

Ces difficultés pourraient se généraliser et se manifester même en l'absence de contenu menaçant. Ainsi, dans ce contexte, l'individu anxieux adopterait une hypervigilance, scrutant son environnement à la recherche de toutes menaces potentielles et mobilisant largement ses ressources attentionnelles, ce qui affecterait sa capacité à effectuer efficacement une tâche concurrente.

Cette hypervigilance, pour les menaces potentielles présentes dans l'environnement, a fait l'objet de nombreuses recherches et bénéficie de preuves empiriques (pour une revue, voir Bar-Haim et al., 2007 pour les adultes et Dudeney et al., 2015 pour les enfants). Cette orientation de l'attention de manière préférentielle vers les stimuli porteurs d'une information négative ou menaçante se manifeste à des niveaux précoces du traitement de l'information, de manière automatique et en dehors de toute conscience (Taylor & Fragopanagos, 2005). Elle correspond au concept de « biais attentionnels » envers la menace (Bar Haim et al., 2007 ; Cisler & Koster, 2010 ; Dudeney et al., 2015).

Le déséquilibre entre les deux systèmes attentionnels, occasionné par le déficit de contrôle attentionnel, pourrait être accentué lorsque les niveaux d'anxiété sont plus élevés, lorsque les stimuli (internes ou externes) perçus sont hautement saillants/émotionnels ou encore lorsque la tâche à réaliser impose une charge cognitive importante sur l'administrateur central de la mémoire de travail (par exemple, situation de double tâche, multiplication des consignes).

Toutefois, la mémoire de travail ne serait pas la seule fonction impliquée. En effet, la modélisation proposée par Eysenck et al. (2007) précise également que les fonctions du contrôle attentionnel les plus impactées par l'anxiété seraient l'inhibition et la flexibilité. En effet, l'impact de l'anxiété sur la capacité d'inhibition a pu être mis en évidence à l'aide de la tâche d'anti-saccades (Derakshan et al., 2009a ; Hallett, 1978). Dans cette tâche, les participants doivent regarder ou ne pas regarder un stimulus présenté d'un côté ou de l'autre d'un point central, puis diriger leur regard rapidement dans la direction opposée à ce stimulus.

La condition d'anti-saccades nécessite l'utilisation de processus attentionnels pour inhiber le réflexe de regarder le stimulus et générer simultanément une saccade opposée (Hutton & Ettinger, 2006). Une étude ayant utilisé ce paradigme a constaté que les adultes anxieux étaient plus lents en condition d'anti-saccades (nécessitant l'inhibition), mais qu'ils ne commettaient pas davantage d'erreurs que les non-anxieux. Cela suggère que l'anxiété était négativement associée à la vitesse du traitement alors que la qualité de la performance était, quant à elle, maintenue chez les participants anxieux (Derakshan et al., 2009a).

Dans une seconde étude utilisant des visages exprimant différentes émotions comme stimuli au sein du même paradigme, Derakshan et al. (2009a) ont constaté que des niveaux élevés d'anxiété étaient associés à des latences plus longues en condition d'anti-saccades, surtout en présence de stimuli exprimant une émotion menaçante. Ces résultats indiquent que les individus anxieux sont susceptibles de rencontrer des difficultés à inhiber le traitement des visages menaçants et à détourner leur attention de ceux-ci. En revanche, dans cette étude comme dans la précédente, l'anxiété n'était pas associée à une altération du taux de réponses correctes, ce qui montre une interaction plus importante avec la vitesse qu'avec la précision du traitement de l'information. En d'autres termes, l'anxiété serait associée à plus de changements au niveau de l'efficacité qu'au niveau de l'efficacité du traitement de l'information.

Si l'association entre anxiété et flexibilité attentionnelle a été moins étudiée, certaines études ont toutefois fait état de performances réduites chez les participants avec des niveaux élevés d'anxiété généralisée amenés à résoudre des

opérations mathématiques de manière flexible, c'est-à-dire en alternant entre la résolution d'additions, de soustractions, de multiplications ou de divisions, ou encore de manière répétitive, c'est-à-dire en résolvant une succession d'additions, par exemple (Derakshan et al., 2009b).

Ces données obtenues par Derakshan et al. (2009b) et corroborées par des recherches plus récentes (Wauthia et al., 2022 ; 2023b) permettent de soutenir le postulat de départ de la Théorie de l'Efficiencia du Traitement de l'Information (Eysenck & Calvo, 1992), qui établit la distinction entre l'efficiencia et l'efficacité du traitement de l'information et qui avance que l'anxiété influencerait davantage la première que la seconde.

La Théorie du Contrôle Attentionnel (Eysenck et al., 2007) défend également cette idée et postule que les individus anxieux compenseraient les effets néfastes de l'anxiété sur l'efficiencia du contrôle attentionnel grâce à des efforts supplémentaires et une utilisation accrue de ressources. Par conséquent, l'anxiété aurait des effets nuls ou minimes sur la qualité de la performance. Cependant, si les demandes de la tâche augmentent, la mobilisation cognitive va s'avérer de plus en plus difficile et les opéranda de l'anxiété seront de plus en plus visibles. (Wauthia et al., 2022 ; Wauthia et al., 2023b).

DÉFICITS DE CONTRÔLE ATTENTIONNEL ET BIAIS ATTENTIONNELS CHEZ LES ÉLÈVES AM

Appliquer la Théorie du Contrôle Attentionnel à la compréhension de l'AM des élèves semble pertinent. En effet, chez les individus présentant des niveaux élevés d'AM, un déficit de contrôle attentionnel entraînerait :

- a) une allocation excessive de l'attention aux ruminations portant sur leurs performances ou sur leurs compétences en mathématiques et/ou
- b) une allocation excessive de l'attention aux stimuli mathématiques dans leur environnement (Colomé et al., 2023 ; Lyons & Beilock, 2012).

En d'autres termes, les élèves souffrant d'AM présenteraient des biais attentionnels envers leurs ruminations et/ou les stimuli liés aux mathématiques présents dans leur environnement. En conséquence, ils disposeraient de moins de ressources cognitives pour effectuer une tâche impliquant les mathématiques.

Bien que les études sur les biais attentionnels chez les élèves présentant un niveau élevé d'AM soient moins fréquentes que celles menées chez les adultes (par exemple, Rubinsten et al., 2015 ; Suárez-Pellicioni et al., 2015), quelques preuves empiriques en attestent. L'étude de Shi et al. (2022), par exemple, s'est spécifiquement penchée sur cette question auprès d'élèves âgés de 7 à 10 ans.

Dans une première manipulation expérimentale, ces auteurs ont tenté de démontrer le postulat de départ de la Théorie du Contrôle Attentionnel selon lequel l'anxiété impacte davantage l'efficiencia que l'efficacité du traitement de l'information. Pour ce faire, ils ont étudié l'effet d'une modulation de la charge cognitive sur l'efficacité du traitement de l'information au cours d'une tâche mathématique chez des élèves présentant des niveaux d'AM faibles ou élevés.

Plus précisément, ils ont proposé aux élèves une double tâche au cours de laquelle ils devaient mémoriser des séries de deux ou trois chiffres et réaliser une addition à un ou deux opéranda, avec ou sans retenue. Si aucun effet de la charge cognitive n'a pu être mis en évidence chez les élèves présentant de faibles niveaux d'AM lors de la réalisation des additions, il est cependant apparu que les temps de réaction pour les élèves avec des niveaux élevés d'AM étaient plus importants lorsque la charge cognitive contenue dans l'exercice augmentait.

Parallèlement, dans la condition imposant une charge très importante sur la mémoire de travail (par exemple, la résolution d'additions avec deux opéranda avec retenue), la qualité de la performance des élèves avec des niveaux élevés d'AM se voyait également impactée négativement. Ces observations ont permis à Shi et al. (2022) de conclure à une association entre l'AM et l'efficiencia du traitement de l'information, mais également avec la qualité de la performance, lorsque la charge cognitive de la tâche augmente. Ces données vont donc bien dans le sens des hypothèses principales de la Théorie du Contrôle Attentionnel.

Dans une seconde manipulation expérimentale, Shi et al. (2022) ont tenté de démontrer le déséquilibre entre les systèmes attentionnels bottom-up et top-down postulé par la Théorie du Contrôle Attentionnel (Corbetta & Shulman, 2002 ; Eysenck et al., 2007) et plus particulièrement, le traitement attentionnel préférentiel des informations considérées comme menaçantes. Ils ont donc proposé une tâche de sondage visuel, aux mêmes élèves d'âge primaire, au cours de laquelle ces

derniers étaient invités à traiter des informations liées aux mathématiques (par exemple, des chiffres, des symboles mathématiques basiques et des opérations) et du matériel neutre.

Ils ont observé une différence de traitement entre les deux types de matériel chez les enfants avec AM élevée, alors qu'aucune différence significative n'a pu être mise en évidence chez les enfants avec AM faible. Plus précisément, les premiers étaient plus prompts à réagir à des stimuli associés aux mathématiques qu'aux stimuli neutres. Ces observations ont amené Shi et al. (2022) à conclure que les stimuli liés aux mathématiques, contenus dans la tâche, avaient placé les élèves avec AM dans un état d'hypervigilance, facilitant le traitement de ce type de stimuli et soutenant l'hypothèse d'un déséquilibre entre les systèmes attentionnels bottom-up et top-down.

Les FE, et plus particulièrement le contrôle attentionnel et l'administrateur central de la mémoire de travail, jouent donc un rôle central dans le traitement des stimuli anxiogènes, liés aux mathématiques. Afin de compléter ces données, une étude récente a été menée pour explorer les performances en mémoire de travail d'enfants présentant des niveaux élevés d'AM, associés ou non à une dyscalculie développementale (DD) (Wauthia et al., 2024).

L'un des objectifs était de différencier les performances d'enfants confrontés à du matériel mathématique ou non afin d'établir la présence de biais attentionnels dans cette population. L'autre objectif était d'évaluer les effets de la modulation de la charge cognitive sur les performances des élèves confrontés à du matériel mathématique.

Les données obtenues dans cette étude ont révélé des performances supérieures en calcul mental chez les enfants présentant des niveaux d'AM élevés, comparativement aux groupes d'enfants avec DD, avec DD et AM élevée, ainsi qu'avec les enfants du groupe contrôle. De plus, il est apparu qu'en cas d'augmentation de la charge cognitive, c'est-à-dire lorsque les élèves devaient résoudre des calculs mentaux avec davantage d'opérandes et avec retenue, les performances des enfants anxieux des mathématiques restaient globalement supérieures à celles des autres groupes.

Ces résultats peuvent également être interprétés dans le cadre de la théorie proposée par Eysenck et Derakshan (2011) qui postule que, lorsque les exigences d'une tâche sur la mémoire de travail sont faibles ou que ses objectifs sont flous, les individus anxieux peuvent manquer de motivation. En revanche, si les contraintes sur la mémoire de travail sont élevées ou si les objectifs sont clairement définis, ils tendent à mobiliser davantage leurs ressources attentionnelles pour atteindre ces objectifs, en renforçant leur contrôle attentionnel orienté vers un but.

Les données issues de l'étude de Wauthia et al. (2024) pourraient ainsi refléter une stratégie compensatoire, dans laquelle le contrôle attentionnel est mobilisé pour atténuer les effets de l'anxiété sur la mémoire de travail chez les enfants avec AM. Cependant, peu d'études se sont directement intéressées aux effets de la motivation sur les performances cognitives de ce type de public. Cette lacune dans la littérature souligne l'importance de conduire des recherches supplémentaires pour approfondir cette relation et confirmer ces hypothèses.

Corroborer ces résultats pourrait permettre d'ouvrir des perspectives intéressantes pour l'élaboration de stratégies pédagogiques visant à renforcer la motivation des élèves en mathématiques, afin de stimuler cette utilisation compensatoire des ressources cognitives et d'améliorer leurs performances malgré l'anxiété.

LES POSSIBILITÉS D'INTERVENTION

Afin de cibler la relation négative entre AM et performances scolaires, plusieurs types d'interventions ont été développées, visant à soutenir tant les élèves que les enseignants. Ces interventions, qui se déclinent en approches motivationnelles, émotionnelles et cognitives, ont pour objectif d'atténuer les effets de l'AM et d'améliorer les compétences en mathématiques, tout en tenant compte des spécificités du contexte scolaire et des relations entre enseignants et élèves. Ces interventions seront abordées dans cette section.

Interventions ciblant les élèves

Le constat d'une association négative entre AM et apprentissages en mathématiques suggère la nécessité de pouvoir proposer des solutions pédagogiques ou thérapeutiques efficaces aux élèves, au cours de leur scolarité.

À cet effet, plusieurs types d'interventions ont déjà vu le jour et peuvent être rassemblées sous trois catégories différentes, à savoir motivationnelles, émotionnelles et cognitives (Sammallahti et al., 2023).

Les premières, comme leur nom l'indique, visent à accroître le niveau de motivation des élèves en leur offrant des opportunités d'apprentissage stimulantes et en y intégrant des éléments de rétroaction, renforçant la valeur perçue des

apprentissages et favorisant leur auto-détermination (Eccles & Wigfield, 2002).

Les interventions émotionnelles visent à réduire l'AM en ciblant les émotions que ressentent les élèves à l'égard de cette matière (Villavicencio & Bernardo, 2016). L'objectif de ce type d'intervention est, par le biais de stratégies telles que la relativisation ou la régulation émotionnelle, d'amener les élèves à associer des émotions positives à l'apprentissage des mathématiques, ce qui favoriserait également leur engagement et leur réussite (Villavicencio & Bernardo, 2016).

Les interventions cognitives ont, quant à elles, l'objectif de fournir un soutien aux élèves en renforçant des fonctions cognitives telles que la mémoire de travail et des processus tels que la résolution de problèmes (Kroeger et al., 2012). Ces interventions fournissent également aux élèves différents types d'instructions, qui visent à mettre à leur disposition des tutoriels ou des outils leur permettant de réaliser des tâches complexes (par exemple, l'accès à une calculatrice). Plus précisément, elles visent à améliorer les performances en mathématiques des élèves en les aidant à adopter des stratégies (par exemple, apprentissage distribué et récupération en mémoire) et des outils d'apprentissage efficaces. Ces interventions permettraient aux élèves de se sentir plus compétents dans cette matière.

Une méta-analyse proposée par Sammallahti et al. (2023) a démontré l'efficacité de ces interventions, particulièrement celles visant le soutien cognitif et la régulation des émotions pour réduire l'anxiété et améliorer les performances en mathématiques. Pizzie et Kraemer (2023) ont, quant à eux, comparé l'efficacité de ces interventions cognitives et émotionnelles. Plus précisément, ils ont implémenté ces interventions au sein de deux classes d'élèves âgés de 15 ans, en moyenne.

L'intervention de type émotionnel visait l'apprentissage des stratégies permettant la régulation des émotions des élèves (par exemple, stratégies permettant de prendre de la distance par rapport aux émotions ressenties) et l'autre, de type cognitif, visait à enseigner aux élèves des stratégies d'apprentissage réputées efficaces (par exemple, apprentissage distribué et récupération en mémoire). Les résultats ont montré que l'intervention cognitive était plus efficace pour améliorer les performances des élèves avec AM que l'intervention émotionnelle.

Chez les enfants d'âge scolaire, la question de l'intervention visant l'AM a fait l'objet d'une revue de littérature systématique par Balt et al. (2022). Dans cette revue, les auteurs distinguent les interventions ciblant les mathématiques des interventions cognitivo-comportementales. Les premières renvoient à la réalisation de différentes activités, de programmes et de jeux éducatifs visant à renforcer les compétences en mathématiques (par exemple, jeux de mouvement contenant des problèmes mathématiques, jeux informatisés), tandis que les secondes renvoient à des techniques et des activités destinées à cibler l'AM pour en diminuer l'intensité (par exemple, exercices d'auto-observation, restructuration cognitive).

Compte tenu de l'émergence des études menées sur ces questions chez les jeunes élèves, Balt et al. (2022) sont parvenus au constat que les interventions proposées jusqu'à présent sont difficilement comparables tant elles varient, notamment, en termes de modalités d'administration. Il apparaît toutefois, dans la revue systématique, que près de la moitié des interventions disciplinaires étaient associées à des effets positifs sur l'AM, ce qui indique que ce type d'intervention peut réduire les affects anxieux, mais qu'elles pourraient aussi permettre aux enfants de restructurer leurs croyances dysfonctionnelles à l'égard de la matière (par exemple, « Je suis nul en math »).

Quant aux interventions cognitivo-comportementales, la revue de Balt et al. (2022) suggère qu'elles pourraient efficacement réduire l'AM, mais auraient, en revanche, peu d'impact sur l'amélioration du niveau de maîtrise en mathématiques des élèves (Balt et al., 2022). Les auteurs expliquent ceci par le fait que l'excitation physiologique (par exemple, augmentation du rythme cardiaque) associée à une réponse anxieuse peut soutenir positivement une performance. Par conséquent, les auteurs expliquent que la réduction de l'excitation physiologique au travers d'exercices de respiration ou de régulation émotionnelle tels que préconisés par les interventions cognitivo-comportementales pourrait impacter la performance en mathématiques. Il conviendrait donc d'aider les élèves à interpréter ces symptômes physiques comme des signaux de défi à relever, capitalisant ainsi sur leur motivation.

Pour conclure, les résultats mitigés des interventions axées sur les mathématiques et des approches cognitivo-comportementales, observés entre les études menées chez les adultes et celles menées chez les enfants, suggèrent qu'une combinaison de ces deux types d'intervention pourrait constituer une solution particulièrement bénéfique pour les écoliers.

Cependant, pour pouvoir efficacement évaluer la portée de ce type d'intervention, il est nécessaire, comme nous l'évoquons plus haut, de disposer de davantage de données sur les relations précises existant entre l'AM et les performances en mathématiques afin de savoir quels mécanismes cibler au cours de ces interventions. Si l'applicabilité

de la Théorie du Contrôle Attentionnel s'avère pertinente, il convient de proposer des interventions visant le renforcement des capacités du contrôle attentionnel (par exemple, Wauthia et al., 2023a) et d'en mesurer l'efficacité.

L'AM étant fortement influencée par le contexte et les expériences scolaires, une piste intéressante pour aider les élèves à mieux la gérer pourrait consister à repenser le rôle et l'implication des enseignants dans ce processus.

Interventions ciblant les enseignants

Plusieurs études ont mis en évidence le rôle joué par les adultes, et particulièrement les enseignants, dans le développement de l'AM (Levine & Pantoja, 2021 ; Szczygiel, 2020). En effet, il a notamment été démontré que les élèves avec des niveaux d'AM importants ont souvent été confrontés à des enseignants présentant eux-mêmes des niveaux élevés d'AM au cours de leur scolarité (Hembree, 1990 ; Levine & Pantoja, 2021). Selon les auteurs s'étant penchés sur ce phénomène dans l'enseignement primaire, ceci pourrait être lié au fait que les enseignants anxieux seraient susceptibles de se sentir moins compétents lorsqu'ils sont amenés à enseigner cette matière. Cette croyance pourrait elle-même impacter négativement la manière dont ils enseignent cette matière (Bursal & Paznokas, 2006 ; Richland et al., 2020).

Il semble donc important et opportun de sensibiliser les enseignants, dès leur formation initiale, à la problématique de l'AM. Ce faisant, il conviendrait de proposer aux futurs enseignants des modules de formation leur permettant d'améliorer leurs connaissances disciplinaires, de prendre conscience de leurs croyances à l'égard de cette matière (par exemple, l'endossement de stéréotypes liés au genre, le sentiment de compétence ou d'incompétence), mais aussi de leur permettre de bénéficier de données scientifiques sur les caractéristiques cognitives liées à cette problématique.

De plus, eu égard aux résultats obtenus par Sammallahiti et al. (2023) et Balt et al. (2022), il pourrait sans doute être utile de former les enseignants et futurs enseignants à la nécessité de collaborer avec les psychologues cliniciens formés à la psychothérapie cognitivo-comportementale pour favoriser l'implémentation des stratégies motivationnelles, émotionnelles et cognitives dans les classes.

CONCLUSIONS

Dans un contexte où AM et moindres performances académiques dans cette matière sont associées, la recherche sur les mécanismes sous-jacents revêt une importance cruciale. La compréhension de l'AM à travers le prisme de la Théorie du Contrôle Attentionnel offre une perspective pertinente au regard des éléments mis en évidence dans la littérature récente. En effet, cette théorie postule la présence de déficits de contrôle attentionnel chez les individus anxieux, mais également la capacité des enfants anxieux à développer des stratégies compensatoires pour améliorer leurs performances en mathématiques.

Poursuivre les recherches pour investiguer l'applicabilité de cette théorie à des jeunes élèves anxieux permettrait in fine de concevoir des interventions pédagogiques adaptées. Ces futures recherches devraient explorer plusieurs axes prioritaires :

1. l'évaluation de l'impact combiné des interventions cognitives et émotionnelles chez les jeunes élèves,
2. le développement de protocoles d'intervention personnalisés tenant compte de la variabilité individuelle de l'AM,
3. l'élaboration de formations spécifiques pour les enseignants centrées sur la détection précoce et l'accompagnement des élèves anxieux.

Des pistes concrètes incluent : la création de modules de formation continue sur la gestion de l'AM, l'expérimentation d'approches pédagogiques différenciées, et la mise en place de dispositifs de soutien psychologique intégrés au milieu scolaire.

Bien que certaines interventions existantes aient montré leur efficacité chez les adolescents souffrant d'AM, ce champ est encore émergent chez les élèves les plus jeunes. Il est essentiel d'élargir les recherches pour préciser les modalités idéales d'administration de ces interventions. Il est crucial de sensibiliser les enseignants à l'impact potentiel de l'AM sur les apprentissages et de les former à des stratégies d'enseignement efficaces qui permettraient de renforcer le sentiment de compétence des élèves et de briser le cercle vicieux de l'AM. Cette approche pourrait contribuer à créer un environnement éducatif plus favorable à la réussite des élèves présentant des niveaux d'AM élevés.

RÉFÉRENCES

- Ashcraft, M. H. (2002). Math anxiety: Personal, educational, and cognitive consequences. *Current Directions in Psychological Science*, 11(5), 181-185.
- Ashcraft, M. H., & Faust, M. W. (1994). Mathematics anxiety and mental arithmetic performance: An exploratory investigation. *Cognition and Emotion*, 8(2), 97-125.
- Ashcraft, M. H., & Kirk, E. P. (2001). The relationships among working memory, math anxiety, and performance. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 224-237.
- Balt, M., Börnert-Ringleb, M., & Orbach, L. (2022). Reducing math anxiety in school children: A systematic review of intervention research. *Frontiers in Education*, 7, 798516.
- Bandura, A. (1985). Model of causality in social learning theory. In M. J. Mahoney, & A. Freeman (Eds.), *Cognition and psychotherapy* (pp. 81-99). Springer US.
- Bar-Haim, Y., Lamy, D., Pergamin, L., Bakermans-Kranenburg, M. J., & Van Ijzendoorn, M. H. (2007). Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals: A meta-analytic study. *Psychological Bulletin*, 133(1), 1-24.
- Barroso, C., Ganley, C. M., McGraw, A. L., Geer, E. A., Hart, S. A., & Daucourt, M. C. (2021). A meta-analysis of the relation between math anxiety and math achievement. *Psychological Bulletin*, 147(2), 134-171.
- Baye, A., Bricteux, S., Crépin, F., Demonty, I., Hindryckx, G., Matoul, A., & Quittre, V. (2023). Performances des jeunes de 15 ans en mathématiques, sciences et lecture à la sortie de la crise sanitaire. Ministère de l'Enseignement.
- Beilock, S. L., & DeCaro, M. S. (2007). From poor performance to success under stress: Working memory, strategy selection, and mathematical problem solving under pressure. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(6), 983-998.
- Borkovec, T. D. (1994). The nature, functions, and origins of worry. In G. Davey, & F. Tallis (Eds.), *Worrying: Perspectives on theory, assessment and treatment* (pp. 3-30). Wiley.
- Bursal, M., & Paznokas, L. (2006). Mathematics anxiety and preservice elementary teachers' confidence to teach mathematics and science. *School Science and Mathematics*, 106(4), 173-180.
- Calvo, M. G. (1996). Phonological working memory and reading in test anxiety. *Memory*, 4(3), 289-306.
- Campbell, J. I., & Xue, Q. (2001). Cognitive arithmetic across cultures. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 299-314.
- Carey, E., Hill, F., Devine, A., & Szűcs, D. (2017). The modified abbreviated math anxiety scale: A valid and reliable instrument for use with children. *Frontiers in Psychology*, 8, 11.
- Caviola, S., Toffalini, E., Giofrè, D., Ruiz, J. M., Szűcs, D., & Mammarella, I. C. (2022). Math performance and academic anxiety forms, from sociodemographic to cognitive aspects: A meta-analysis on 906,311 participants. *Educational Psychology Review*, 34(1), 363-399.
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201-215.
- Cuder, A., Živković, M., Doz, E., Pellizzoni, S., & Passolunghi, M. C. (2023). The relationship between math anxiety and math performance: The moderating role of visuospatial working memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 233, 105688.
- Derakshan, N., Ansari, T. L., Hansard, M., Shoker, L., & Eysenck, M. W. (2009). Anxiety, inhibition, efficiency, and effectiveness: An investigation using the antisaccade task. *Experimental Psychology*, 56(1), 48-55.
- Derakshan, N., Smyth, S., & Eysenck, M. W. (2009). Effects of state anxiety on performance using a task-switching paradigm: An investigation of attentional control theory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(6), 1112-1117.

- Dudeney, J., Sharpe, L., & Hunt, C. (2015). Attentional bias towards threatening stimuli in children with anxiety: A meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, 40, 66-75.
- Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. *Annual Review of Psychology*, 53(1), 109-132.
- Eysenck, M. W. (2013). *Anxiety: The cognitive perspective*. Psychology Press.
- Eysenck, M. W., & Calvo, M. G. (1992). Anxiety and performance: The processing efficiency theory. *Cognition & Emotion*, 6(6), 409-434.
- Eysenck, M. W., & Derakshan, N. (2011). New perspectives in attentional control theory. *Personality and Individual Differences*, 50(7), 955-960.
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance: Attentional control theory. *Emotion*, 7(2), 336-353.
- Goetz, T., Cronjaeger, H., Frenzel, A. C., Lüdtke, O., & Hall, N. C. (2010). Academic self-concept and emotion relations: Domain specificity and age effects. *Contemporary Educational Psychology*, 35(1), 44-58.
- Hallett, P. E. (1978). Primary and secondary saccades to goals defined by instructions. *Vision Research*, 18(10), 1279-1296.
- Hembree, R. (1990). The nature, effects, and relief of mathematics anxiety. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(1), 33-46.
- Hopko, D. R., Ashcraft, M. H., Gute, J., Ruggiero, K. J., & Lewis, C. (1998). Mathematics anxiety and working memory: Support for the existence of a deficient inhibition mechanism. *Journal of Anxiety Disorders*, 12(4), 343-355.
- Hutton, S. B., & Ettinger, U. (2006). The antisaccade task as a research tool in psychopathology: A critical review. *Psychophysiology*, 43(3), 302-313.
- Justicia-Galiano, M. J., Martín-Puga, M. E., Linares, R., & Pelegrina, S. (2017). Math anxiety and math performance in children: The mediating roles of working memory and math self-concept. *British Journal of Educational Psychology*, 87(4), 573-589.
- Kroeger, L. A., Brown, R. D., & O'Brien, B. A. (2012). Connecting neuroscience, cognitive, and educational theories and research to practice: A review of mathematics intervention programs. *Early Education & Development*, 23(1), 37-58.
- Levine, S. C., & Pantoja, N. (2021). Development of children's math attitudes: Gender differences, key socializers, and intervention approaches. *Developmental Review*, 62, 100997.
- Maloney, E. A., Risko, E. F., Ansari, D., & Fugelsang, J. (2010). Mathematics anxiety affects counting but not subitizing during visual enumeration. *Cognition*, 114(2), 293-297.
- Minarni, B. W., Retnawati, H., & Nugraheni, T. V. T. (2018). Mathematics teachers' beliefs and its contribution toward teaching practice and student achievement. *Journal of Physics: Conference Series*, 1097, 012143.
- Namkung, J. M., Peng, P., & Lin, X. (2019). The relation between mathematics anxiety and mathematics performance: A meta-analytic review. *Educational Psychological Review*, 31(2), 307-329.
- Piccirilli, M., et al. (2023). Assessment of math anxiety as a potential tool to identify students at risk of poor acquisition of new math skills: Longitudinal study of grade 9 Italian students. *Frontiers in Psychology*, 14, 1185677.
- PISA (2023). *Results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publications.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13(1), 25-42.
- Ramirez, G., Gunderson, E. A., Levine, S. C., & Beilock, S. L. (2013). Math anxiety, working memory, and math achievement in early elementary school. *Journal of Cognition and Development*, 14(2), 187-202.

- Richardson, F. C., & Suinn, R. M. (1972). The mathematics anxiety rating scale: Psychometric data. *Journal of Counseling Psychology*, 19(6), 551-554.
- Richland, L. E., Naslund-Hadley, E., Alonzo, H., Lyons, E., & Vollman, E. (2020). Teacher and students' mathematics anxiety and achievement in a low-income national context. *Mind, Brain, and Education*, 14(4), 400-414.
- Sammallahti, E., Finell, J., Jonsson, B., & Korhonen, J. (2023). A meta-analysis of math anxiety interventions. *Journal of Numerical Cognition*, 9(2), 346-362.
- Shi, X., Xu, J., Wang, F., & Cai, D. (2022). Cognitive processing features of elementary school children with mathematical anxiety: Attentional control theory-based explanation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 224, 105513.
- Szczygiel, M. (2020). Gender, general anxiety, math anxiety and math achievement in early school-age children. *Issues in Educational Research*, 30(3), 1126-1142.
- Szczygiel, M., Szűcs, D., & Toffalini, E. (2024). Math anxiety and math achievement in primary school children: Longitudinal relationship and predictors. *Learning and Instruction*, 92, 101906.
- Villavicencio, F. T., & Bernardo, A. B. I. (2016). Beyond math anxiety: Positive emotions predict mathematics achievement, self-regulation, and self-efficacy. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 25(3), 415-422.
- Vukovic, R. K., Kieffer, M. J., Bailey, S. P., & Harari, R. R. (2013). Mathematics anxiety in young children: Concurrent and longitudinal associations with mathematical performance. *Contemporary Educational Psychology*, 38(1), 1-10.
- Wauthia, E., Blekic, W., & Rossignol, M. (2023a). Impact du réentraînement attentionnel sur les biais émotionnels et les réponses de stress chez les enfants souffrant d'anxiété sociale : Une étude préliminaire. *Revue Francophone de Clinique Comportementale et Cognitive*, 27, 1-15.
- Wauthia, E., D'Hondt, F., Blekic, W., Lefebvre, L., Ris, L., & Rossignol, M. (2022). Neural responses associated with attentional engagement and disengagement from threat in high socially anxious children: Evidence from temporal-spatial PCA. *PLOS ONE*, 17(1), e0261172.
- Wauthia, E., Rossignol, M., Blekic, W., Lefebvre, L., & D'Hondt, F. (2023b). Electrophysiological correlates of attentional bias towards threat in children with high levels of social anxiety. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 23(1), 190-202.
- Wauthia, E., Duroisin, N., & Rossignol, M. (2024). Impact de l'anxiété des mathématiques et de la dyscalculie développementale sur les performances en mémoire de travail évaluées en contexte numérique et non numérique chez les enfants d'âge scolaire. *Revue de Neuropsychologie*, 16(1), 29-38.
- Wu, S. S., Willcutt, E. G., Escovar, E., & Menon, V. (2014). Mathematics achievement and anxiety and their relation to internalizing and externalizing behaviors. *Journal of Learning Disabilities*, 47(6), 503-514.
- Zhang, J., Zhao, N., & Kong, Q. P. (2019). The relationship between math anxiety and math performance: A meta-analytic investigation. *Frontiers in Psychology*, 10, 1613.