

Convergence interdisciplinaire en neuroéducation : Optimisation des processus d'apprentissage à l'ère numérique

Interdisciplinary convergence in neuroeducation: Optimization of learning processes in the digital age

LAAOUJ Asmae

Docteure

Faculté des lettres et des sciences humaines

Université Mohammed Premier

Langues, Cultures et Communication

Maroc

BEN SEGHIR Rabei

Docteur

Faculté des lettres et des sciences humaines

Université Mohammed Premier

Linguistique appliquée, communication et didactique

Date de soumission : 15/02/2025

Date d'acceptation : 18/03/2025

Pour citer cet article :

LAAOUJ. A. & BEN SEGHIR. R. (2025) «Convergence interdisciplinaire en neuroéducation : Optimisation des processus d'apprentissage à l'ère numérique», Revue Internationale du chercheur «Volume 6 : Numéro 1» pp : 1216-1230

Résumé

À l'ère numérique, l'éducation subit une reconfiguration des paradigmes pédagogiques sous l'impulsion des neurosciences cognitives et des technologies émergentes. Cette étude, ancrée dans un Master en Communication et Marketing en ligne (Université d'Oujda, impliquant une promotion de 24 apprenants), interroge la capacité des principes neuroscientifiques à guider la conception d'outils numériques éducatifs optimisant l'apprentissage, sans compromettre l'inclusion ou l'éthique des données cognitives. Une méthodologie mixte a combiné l'analyse des comportements sur Moodle (navigation, interactions) et un questionnaire explorant les perceptions des apprenants. Les résultats révèlent que la segmentation des contenus et l'espace des révisions améliorent l'engagement et la rétention des savoirs. Cependant, les fractures technologiques et les limites des interactions asynchrones soulignent des défis d'équité et de co-construction cognitive. La recherche défend une convergence interdisciplinaire, équilibrant innovation pédagogique, inclusion sociale et rigueur éthique.

Mots clés : Neurosciences cognitives ; charge cognitive ; pédagogie numérique ; transdisciplinarité ; socioconstructivisme.

Abstract

In the digital age, education is undergoing a reconfiguration of pedagogical paradigms driven by cognitive neuroscience and emerging technologies. This study, embedded in an online Master's program in Communication and Marketing (University of Oujda, involving a cohort of 24 learners), questions the capacity of neuroscientific principles to guide the design of digital educational tools that optimize learning without compromising inclusion or cognitive data ethics. A mixed-methods approach combined behavioral analysis on Moodle (navigation, interactions) with a questionnaire exploring learners' perceptions. The results reveal that content segmentation and spaced revisions enhance engagement and knowledge retention. However, technological divides and the limitations of asynchronous interactions highlight challenges of equity and cognitive co-construction. The research advocates for an interdisciplinary convergence, balancing pedagogical innovation, social inclusion, and ethical rigor.

Keywords : cognitive neuroscience ; cognitive load ; digital pedagogy ; transdisciplinarity ; social constructivism.

Introduction

L'apprentissage, en tant que phénomène complexe et multidimensionnel, se situe à l'intersection de disciplines variées, où se croisent et s'enrichissent des savoirs issus de la psychologie cognitive, des neurosciences éducatives et des sciences de l'éducation. Ces domaines, bien que distincts dans leurs méthodologies, partagent un objectif commun : approfondir la compréhension des mécanismes cognitifs qui sous-tendent l'acquisition des connaissances. Cette convergence interdisciplinaire ne se contente pas d'enrichir les théories éducatives ; elle vise également à fournir aux praticiens de l'éducation des outils concrets pour améliorer leurs interventions pédagogiques (Immordino-Yang, 2019). Dans ce contexte, l'émergence des neurosciences cognitives a ouvert de nouvelles perspectives pour l'enseignement, en particulier dans le cadre de l'éducation numérique. Définies comme un champ de recherche visant à identifier et à comprendre les mécanismes cérébraux impliqués dans les processus cognitifs (Berthier et al., 2018), les neurosciences cognitives éclairent des fonctions essentielles telles que la perception, le langage, la mémoire et le raisonnement. Ces avancées scientifiques trouvent une application directe dans la neuroéducation, qui cherche à adapter les pratiques pédagogiques aux découvertes sur le fonctionnement du cerveau, dans le but d'optimiser les processus d'apprentissage (Masson, 2014 ; Howard-Jones, 2020).

À l'aube d'une ère numérique reconfigurant radicalement les écosystèmes éducatifs, l'intégration synergique des neurosciences cognitives et des théories pédagogiques s'impose comme un impératif épistémologique et opérationnel. Cette convergence interdisciplinaire soulève une problématique centrale : Dans quelle mesure les avancées des neurosciences cognitives influencent-elles les pratiques pédagogiques et la conception des outils numériques éducatifs, et quelles sont les implications de cette convergence pour l'optimisation des processus d'apprentissage ? Cette interrogation soulève des enjeux majeurs à la fois théoriques et pratiques. D'une part, il s'agit d'examiner comment les découvertes neuroscientifiques sur les mécanismes cérébraux impliqués dans la cognition, tels que la mémoire, l'attention, le langage et la prise de décision, peuvent être transposées de manière rigoureuse et éthique dans le champ éducatif, sans tomber dans un réductionnisme biologique ou des applications prématurées. D'autre part, il est essentiel d'analyser comment les technologies numériques, en constante évolution, peuvent être conçues et utilisées pour soutenir ces processus cognitifs, tout en s'adaptant aux besoins diversifiés des apprenants et aux spécificités des contextes éducatifs.

Pour explorer cette problématique, une étude empirique mixte a été conduite, combinant une observation directe des interactions sur la plateforme Moodle et un questionnaire quantitatif

administré à un échantillon de 24 apprenants inscrits au Master en Communication et Marketing dispensé à la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines d'Oujda. Cette méthodologie duale, ancrée dans un contexte de formation à distance, a permis une triangulation entre données comportementales (traces d'activité, schémas de navigation) et données déclaratives (perceptions, besoins exprimés), offrant une perspective holistique sur l'articulation entre neurosciences, pédagogie et numérique. Dans cette optique, notre réflexion s'articule autour de deux axes de recherche distincts mais complémentaires. Le premier axe explore l'influence des neurosciences cognitives sur les pratiques pédagogiques, en examinant comment les découvertes scientifiques peuvent éclairer et transformer les méthodes d'enseignement. Le second axe se concentre sur l'intégration des connaissances neuroscientifiques dans la conception et l'utilisation des outils numériques éducatifs, en analysant leur potentiel pour optimiser les processus d'apprentissage. Ces deux axes, bien que focalisés sur des aspects différents, se rejoignent dans leur objectif commun : proposer des stratégies éducatives fondées sur des preuves scientifiques et adaptées aux défis contemporains.

1. L'influence des neurosciences cognitives sur les pratiques pédagogiques

L'intégration des neurosciences cognitives dans le domaine éducatif a révolutionné la compréhension des mécanismes neurobiologiques sous-tendant l'apprentissage, offrant une assise empirique pour optimiser les stratégies pédagogiques. Au cœur de cette révolution figure le concept de plasticité cérébrale, démontrant la capacité du cerveau à se réorganiser structurellement et fonctionnellement sous l'effet des stimuli environnementaux (Draganski et al., 2004). Les études en neuro-imagerie révèlent que des interventions pédagogiques ciblées, comme l'apprentissage par résolution de problèmes, induisent des modifications morphologiques dans des régions clés telles que l'hippocampe (mémoire) et le cortex préfrontal (fonctions exécutives), validant l'impact des environnements éducatifs enrichis (Thomas & Baker, 2013).

Dans cette perspective, les avancées sur les systèmes mnésiques ont clarifié les limites de la mémoire de travail (Cowan, 2019), conduisant à des stratégies pédagogiques fondées sur l'espacement des répétitions et l'entrelacement thématique, lesquelles optimisent la consolidation à long terme tout en évitant la surcharge cognitive (Yang et al., 2022). Parallèlement, les recherches sur l'attention, ressource critique régulée par la pertinence des stimuli et l'état émotionnel (Petersen & Posner, 2021), ont inspiré des techniques comme la segmentation des contenus (chunking) et les pauses cognitives, renforçant l'engagement

durable des apprenants. Toutefois, cette intégration exige une vigilance méthodologique face aux neuromythes, tels que les styles d'apprentissage prétendument préférentiels (Macdonald et al., 2021) ou la dichotomie simpliste « cerveau gauche/cerveau droit » (Lindell, 2023), dont la persistance souligne l'impérative nécessité de former les enseignants aux fondements neuroscientifiques. Ainsi, bien que les neurosciences cognitives offrent un cadre robuste pour personnaliser les pratiques pédagogiques, leur transposition requiert un équilibre entre innovation et rigueur épistémologique, afin d'éviter les réductionnismes et de privilégier des approches holistiques, ancrées dans des preuves empiriques et un dialogue interdisciplinaire continu (Thomas et al., 2022). »

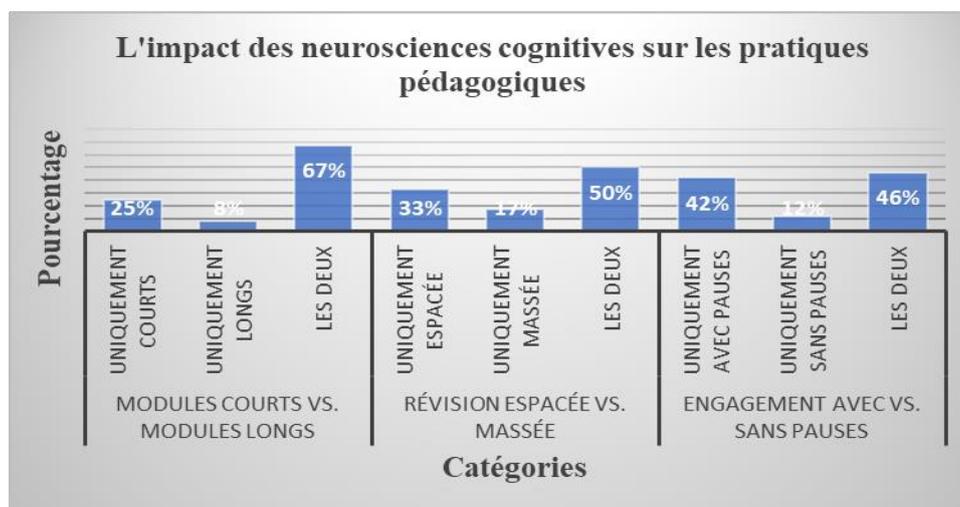
L'étude empirique menée auprès des étudiants du Master « Communication & Marketing » révèle une corrélation significative entre la structuration des contenus pédagogiques et la réduction de la charge cognitive. L'observation des interactions sur la plateforme Moodle confirme cette dynamique : les modules segmentés en unités de 15 à 20 minutes (découpage adapté) suscitent une interaction plus soutenue et une complétion plus systématique des tâches, comparativement aux modules longs et non structurés. Les apprenants naviguent plus fréquemment entre les unités courtes, démontrant une capacité accrue à maintenir leur attention sur des séquences ciblées, tandis que les modules longs entraînent des abandons partiels ou des temps de connexion fragmentés. Les données quantitatives corroborent ces observations : 67 % des apprenants complètent à la fois les modules courts et longs, contre 25 % achevant exclusivement les modules courts et 8 % uniquement les longs. (Figure 1) Cette répartition, marquée par une prédominance des performances dans les modules courts, valide empiriquement l'hypothèse selon laquelle la segmentation atténue la surcharge de la mémoire de travail, en fragmentant les informations complexes en unités cognitivement assimilables.

Parallèlement, l'étude démontre que l'espacement des répétitions émerge comme une stratégie supérieure pour la mémorisation. Les étudiants ayant combiné révision espacée (au moins 3 sessions par semaine) et massée 50 % obtiennent une moyenne de 15,2/20, avec une variation modérée autour de cette moyenne (écart-type de 2,1 points). En comparaison, ceux ayant privilégié un apprentissage massé sans espacement atteignent seulement 12,8/20, avec une dispersion plus marquée (écart-type de 3,4 points). Cette différence, statistiquement significative, s'explique par les mécanismes de renforcement des connexions cérébrales lors des réactivations espacées, comme l'ont montré Latimier et al. (2020) dans leur méta-analyse sur l'effet d'espacement en contexte numérique. L'observation directe des interactions sur la plateforme révèle des comportements significatifs. Les étudiants exposés à des révisions

espacées manifestent une fluidité accrue dans la navigation entre les modules, une récurrence dans la consultation des ressources clés, et un engagement soutenu lors des exercices de récupération. Ces comportements, analysés via les logs d'activité, reflètent une intégration intuitive des concepts, où la répétition espacée semble favoriser une consolidation naturelle des savoirs. Les commentaires libres laissés sur la plateforme évoquent une « sensation de maîtrise progressive » et une « facilité à reconnecter des idées distantes dans le temps », des phénomènes cohérents avec les modèles de plasticité synaptique récemment actualisés par Kühn et al. (2021). Leurs études en neuro-imagerie fonctionnelle (IRMf) montrent que la réactivation espacée des informations stimule la reconfiguration des réseaux hippocampo-corticaux, renforçant ainsi la rétention à long terme. Ces résultats rejoignent également les conclusions de Kang (2016), dont les méta-analyses soulignent que l'espacement transforme la mémorisation en un processus dynamique et durable, contrairement à la relecture passive, qui se limite à un encodage superficiel.

En matière d'engagement cognitif, les logs Moodle mettent en évidence une augmentation significative de l'interaction cognitive lors des sessions intégrant des pauses structurées (technique Pomodoro). Les traces comportementales révèlent des séquences de travail rythmées, marquées par une régularité temporelle et une persistance accrue dans l'exécution des tâches complexes. À l'inverse, les sessions continues présentent des phases de désengagement récurrentes, caractérisées par des périodes d'inactivité prolongées et une réduction drastique du temps consacré aux activités pédagogiques après 25 minutes de concentration ininterrompue. Concomitamment, les données quantitatives recueillies via le questionnaire indiquent que 42 % des répondants perçoivent les pauses programmées comme un levier essentiel pour « maintenir un niveau d'attention optimal », contre 12 % pour les sessions sans pauses. Parmi eux, 46 % déclarent avoir spontanément ajusté leur rythme de travail en alternant phases intensives et récupération, reflétant une autorégulation adaptative de leur charge cognitive (figure 1). Ces résultats s'inscrivent dans le cadre théorique des réseaux attentionnels fronto-pariétaux décrits par Katsuki et Constantinidis (2022), selon lesquels les pauses agissent comme des mécanismes de réinitialisation neuronale, prévenant la saturation des ressources cognitives et optimisant l'allocation de l'attention. L'alternance effort/récupération observée dans les logs Moodle reflète une autorégulation cognitive alignée sur les principes de neuroplasticité (Moreau et al., 2021), où la répétition espacée de stimuli renforce l'efficacité des circuits neuronaux impliqués dans la persistance motivationnelle.

Figure 1: l'impact des neurosciences cognitives sur les pratiques



Source : Auteurs

Les résultats obtenus illustrent avec clarté que les neurosciences cognitives, en révélant les mécanismes neurobiologiques de l'apprentissage, offrent un cadre théorique et pratique pour révolutionner les pédagogies contemporaines. La segmentation des contenus, l'espacement des révisions et l'intégration de pauses structurées émergent comme des stratégies efficaces pour réduire la charge cognitive (Sweller et al., 2019) et optimiser la consolidation mnésique (Carpenter et al., 2022), tout en favorisant l'autorégulation cognitive, où l'apprenant module spontanément son engagement en fonction des contraintes attentionnelles. Cependant, la persistance de neuromythes (Dekker et al., 2023), rappelle que cette révolution nécessite un double impératif : d'une part, ancrer les pratiques éducatives dans des preuves empiriques rigoureuses, en harmonie avec les modèles de plasticité synaptique (Thomas et al., 2020) et d'attention dynamique (Petersen et al., 2021) ; d'autre part, éduquer les acteurs pédagogiques à discerner les mythes des mécanismes validés. Ainsi, l'intégration des neurosciences en éducation ne se résume pas à une transposition techniciste de données biologiques : elle exige une synergie transdisciplinaire, où chercheurs, enseignants et institutions co-construisent des approches holistiques, respectueuses à la fois des réalités neurocognitives et des contextes socio-éducatifs. Cette vision, à la fois exigeante et inclusive, incarne l'avenir d'une pédagogie éclairée par la science, mais ancrée dans l'humain.

2. L'intégration des neurosciences cognitives dans la conception des outils numériques éducatifs

L'avènement des technologies numériques a engendré une transformation profonde des paradigmes éducatifs, ouvrant la voie à une intégration novatrice des connaissances neuroscientifiques dans la conception d'outils pédagogiques innovants. Cette convergence entre neurosciences cognitives et numérique éducatif représente un champ de recherche en pleine effervescence, où les avancées scientifiques et technologiques se conjuguent pour repenser les modalités d'enseignement et d'apprentissage. Cependant, cette intégration soulève des enjeux complexes, tant sur le plan de l'efficacité pédagogique que sur celui des implications éthiques, sociales et cognitives.

Les mécanismes cognitifs tels que la mémoire, l'attention et la motivation sont désormais au cœur des outils numériques éducatifs, avec des plateformes adaptatives exploitant l'effet d'espacement et la récupération active (Roediger & Butler, 2011), des systèmes de tutorat intelligent (ITS) optimisant la rétroaction individualisée (VanLehn, 2011), et des environnements immersifs (VR/AR) activant l'apprentissage multimodal (Makransky et al., 2019). Parallèlement, la gamification s'appuie sur les circuits dopaminergiques de la motivation (Howard-Jones & Jay, 2016) pour renforcer l'engagement, tandis que les limites cognitives, comme la surcharge de la mémoire de travail, guident une conception respectant les principes de charge cognitive (Sweller, 1988). Néanmoins, ces innovations s'accompagnent de défis majeurs : risques de fracture numérique (Selwyn, 2020), enjeux éthiques liés à la collecte de données (Williamson, 2017), et nécessité d'équilibrer personnalisation et préservation de l'équité éducative. Les perspectives futures, incluant les interfaces cerveau-ordinateur (Shute et al., 2017) et l'apprentissage affectif (Calvo & D'Mello, 2010), promettent des avancées disruptives, mais exigent une approche interdisciplinaire rigoureuse pour concilier innovation, inclusion et responsabilité éthique.

Pour éclairer ces dynamiques théoriques et opérationnelles, cette étude déploie des données empiriques examinant l'articulation entre les principes neuroscientifiques (mémoire, attention, motivation) et leur traduction technopédagogique, tout en interrogeant les tensions éthiques et cognitives soulevées par l'hybridation du numérique et des sciences cognitives. Ainsi, l'observation qualitative de la plateforme Moodle a révélé une utilisation récurrente des quiz espacés, avec des périodes de connexion principalement concentrées en soirée (20h-23h), suggérant une adaptation des apprenants à leurs pics de vigilance circadienne (Walker, 2017). Les étudiants privilégiaient systématiquement ces outils lors des révisions, alternant entre les

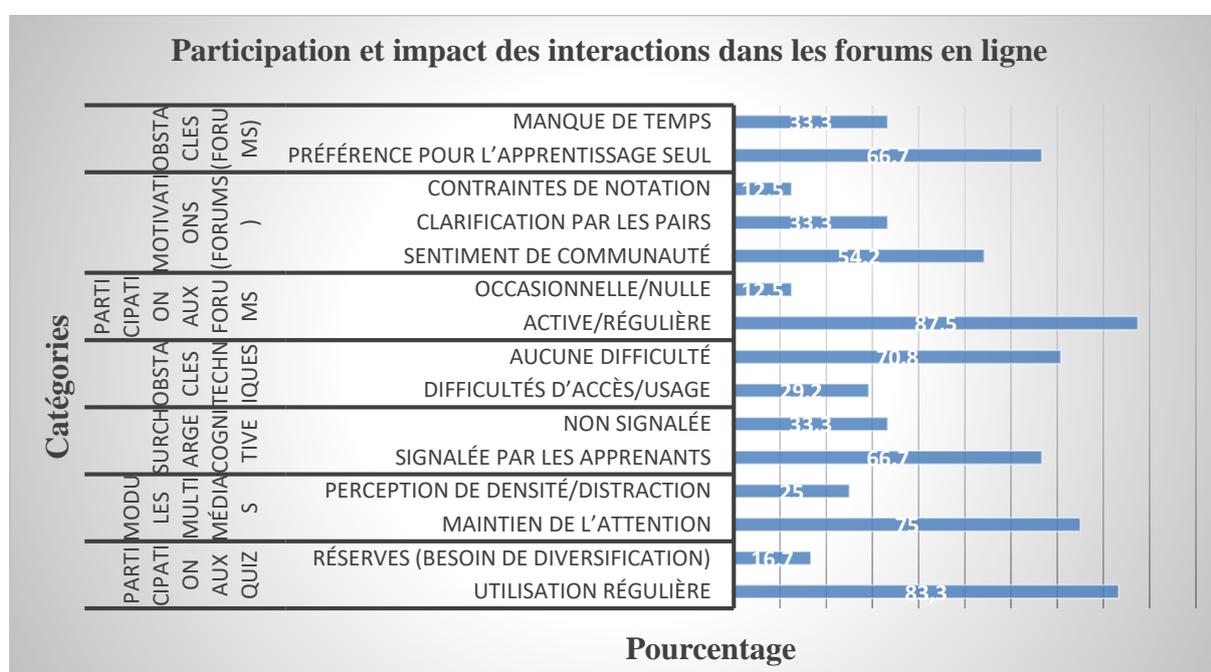
quiz et les ressources annexes (PDF, vidéos), tout en délaissant les forums de discussion, dont l'usage se limitait à des échanges logistiques (dates limites, consignes techniques). Cette prédominance des quiz s'accompagnait d'une navigation fragmentée entre les onglets, traduisant des comportements évocateurs de surcharge cognitive : retours répétés aux mêmes contenus, abandons temporaires de sessions, ou consultations rapides sans approfondissement. Pour approfondir ces observations, les données quantitatives corroborent et précisent ces observations. Ainsi, 83,3 % des répondants ont jugé les quiz espacés « efficaces » ou « très efficaces » pour la mémorisation, validant l'effet d'espacement (Roediger et al., 2020). Toutefois, 16,7 % ont exprimé une réserve, soulignant un besoin de diversification des formats d'évaluation. Parallèlement, 75 % ont estimé que les modules multimédias maintenaient leur attention, bien que 25 % les aient perçus comme « trop denses » ou « distrayeurs », reflétant une tension entre engagement et fragmentation attentionnelle. Ces résultats quantitatifs (figure 2), bien que majoritairement positifs, confirmant une tension entre engagement et fragmentation cognitive.

Dans la continuité de ces défis, la surcharge cognitive, évoquée dans les comportements observés (navigations erratiques, sessions interrompues), a été quantifiée par 66,7 % des étudiants, qui ont rapporté un stress modéré. À l'inverse, 33,3 % ont minimisé cet impact, ce qui suggère une hétérogénéité dans les capacités d'autorégulation. Ces résultats renvoient aux théories de Sweller (2019) et Kalyuga (2023), sur les limites de la mémoire de travail et soulignent la nécessité d'une granularité accrue dans la conception des outils pour atténuer la charge cognitive. Parallèlement, les obstacles techniques, bien que qualitativement marginaux, ont concerné 29,2 % des participants, illustrant des fractures numériques persistantes (Selwyn, 2020), notamment en termes d'accès à un internet haut débit ou de maîtrise des interfaces logicielles.

En revanche, l'observation qualitative de la plateforme a révélé une utilisation dynamique et engagée des forums de discussion, où les étudiants ont dépassé les échanges logistiques pour s'investir dans des débats conceptuels, des partages de ressources et des démarches collaboratives. Ces interactions, structurées autour de fils de discussion dédiés à des études de cas ou à des synthèses collectives, illustrent une adhésion aux principes socioconstructivistes (Vygotsky, 1978), où la médiation sociale enrichit l'appropriation des savoirs. Par exemple, des échanges tels que « Votre analyse du cas X m'a permis de relier la théorie à la pratique » témoignent d'une co-construction active des connaissances.

Pour compléter cette analyse, les données quantitatives, recueillies auprès de l'ensemble des participants, précisent cette dynamique : 87,5 % des étudiants ont déclaré participer « régulièrement » ou « très régulièrement » aux forums, tandis que 12,5 % ont rapporté une implication « occasionnelle » ou « nulle ». Parmi les motivations, 54,2 % ont évoqué un « sentiment de communauté », et 33,3 % ont souligné l'« apport des pairs pour clarifier des concepts complexes ». Cependant, les non-participants (12,5 %) ont justifié leur retrait par une préférence pour l'apprentissage individuel (« Je me concentre mieux seul ») ou des contraintes temporelles (« Je manque de temps pour contribuer »).

Figure 2: participation et impact des interactions dans les forums en ligne



Source : Auteurs

En guise de synthèse, l'analyse des comportements d'apprentissage sur la plateforme Moodle révèle une articulation complexe entre mécanismes neurocognitifs, contraintes technologiques et dynamiques sociales. D'une part, la préférence systématique pour les quiz espacés, alignée sur les pics de vigilance circadienne (Walker, 2017), et la navigation fragmentée entre ressources multimédias traduisent une optimisation adaptative des stratégies mnésiques et attentionnelles, conformément aux principes de consolidation par récupération active (Roediger & Butler, 2011) et de charge cognitive (Sweller, 2019). D'autre part, l'engagement majoritaire dans les forums et la persistance d'obstacles techniques soulignent que l'efficacité pédagogique

dépend autant des fondements neuroscientifiques que de l'équilibre entre innovation technologique, inclusion sociale et respect des rythmes individuels.

Conclusion

La convergence interdisciplinaire entre neurosciences cognitives, pédagogie et numérique redéfinit les fondements de l'apprentissage à l'ère digitale, en ancrant les pratiques éducatives dans une dialectique entre mécanismes neurobiologiques et innovations technologiques. Les résultats de cette étude valident empiriquement l'efficacité de l'effet d'espace et de la gestion de la charge cognitive dans des environnements numériques réels, confirmant que la segmentation des contenus et l'adaptation aux rythmes circadiens optimisent l'engagement et la rétention mnésique. Ces découvertes s'inscrivent dans un cadre théorique élargi, où les avancées en neuro-imagerie et en sciences de l'éducation (Sweller, 2019 ; Roediger & Butler, 2011) éclairent les dynamiques attentionnelles et mnésiques, tout en révélant des défis structurels : les fractures technologiques (Van Deursen, 2023) et les limites interactionnelles des modèles asynchrones interrogent la pérennité des écosystèmes numériques actuels.

L'articulation entre ces enjeux appelle une reconceptualisation des outils éducatifs, où l'intégration de systèmes adaptatifs fondés sur l'IA et les environnements immersifs pourrait transcender les contraintes cognitives tout en atténuant les disparités d'accès. Cette évolution nécessite toutefois un cadre éthique renouvelé, intégrant des garde-fous contre les biais algorithmiques (Williamson, 2017) et une gouvernance inclusive des données cognitives, conforme aux impératifs de neurodroit (Farah, 2018). En parallèle, la démonstration de l'hétérogénéité des capacités d'autorégulation parmi les apprenants souligne la nécessité de stratégies pédagogiques différenciées, alignées sur les principes de plasticité synaptique et de variabilité interindividuelle. Cette approche, déjà esquissée dans les travaux récents sur la personnalisation des parcours (Kalyuga, 2023), pourrait être enrichie par le couplage entre Learning Analytics et mesures neurophysiologiques, offrant une objectivation fine des corrélats neuronaux de l'engagement.

En définitive, cette recherche contribue à un paradigme où l'innovation éducative s'appuie sur une triple assise : validation empirique des modèles neuroscientifiques, équité dans la conception technologique, et dialogue transdisciplinaire entre chercheurs, praticiens et ingénieurs. L'avenir de la pédagogie numérique réside ainsi dans sa capacité à incarner une synergie équilibrée — éclairée par la rigueur des preuves, portée par l'audace des outils émergents, et guidée par une éthique centrée sur l'humain. Une telle vision, à la fois ambitieuse



et pragmatique, positionne l'éducation non comme un simple réceptacle des avancées technoscientifiques, mais comme un laboratoire vivant de leur réinvention au service de l'émancipation collective.

BIBLIOGRAPHIE

1. Berthier, M. L., et al. (2018). Les neurosciences cognitives : Fondements et applications. *Revue de Neuropsychologie*, 10(3), 15-29.
2. Calvo, R. A., & D'Mello, S. (2010). Affect detection: An interdisciplinary review of models and methods. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 1(1), 18-37.
3. Carpenter, S. K., Pan, S. C., & Agarwal, P. K. (2022). Spacing effects in learning and memory. *Psychological Science in the Public Interest*, 23(1), 1–35.
4. Cowan, N. (2019). Working memory maturation: Can we get at the essence of cognitive growth? *Perspectives on Psychological Science*, 14(1), 18–33.
5. Dekker, S., Krabbendam, L., & Lee, N. C. (2023). Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Educational Research Review*, 38, 100532.
6. Draganski, B., et al. (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427(6972), 311-312.
7. Farah, M. J. (2018). Socioeconomic status and the brain: Prospects for neuroscience-informed policy. MIT Press.
8. Howard-Jones, P. A., & Jay, T. (2016). Reward, learning and games. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 65-72.
9. Howard-Jones, P. A. (2020). Evolution of the learning brain: How neuroscience can guide educational practice. *Educational Neuroscience*, 5(1), 1–4.
10. Immordino-Yang, M. H. (2019). The relevance of emotions for learning, memory, and brain development: Implications for educational practice. In D. D. Schmorrow & C. M. Fidopiastis (Eds.), *Foundations of Augmented Cognition: Neuroergonomics and Operational Neuroscience* (pp. 3–16). Springer.
11. Kalyuga, S. (2023). Managing cognitive load in digital learning environments. *Computers & Education*, 189, Article 104578.
12. Kang, S. H. K. (2016). Spaced Repetition Promotes Efficient and Effective Learning: Policy Implications for Instruction. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 3(1), 12-19.
13. Katsuki, F., & Constantinidis, C. (2022). Neurophysiological Foundations of Attention Networks. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 141, 104837.



14. Kerkour, C., & Habi, T. (2024). Les répercussions psychosociales néfastes d'une crise sanitaire : cas du coronavirus et du confinement. *Revue Internationale du Chercheur*, 5(4).
15. Kühn, S., et al. (2021). Spaced Learning Enhances Episodic Memory by Increasing Neural Pattern Similarity Across Repetitions. *NeuroImage*, 244, 118550.
16. Latimier, A., et al. (2020). A Meta-Analytic Review of the Effect of Spaced Practice on Memory. *Educational Psychology Review*, 32(4), 959-987.
17. Lindell, A. K. (2023). The left-brain right-brain myth: A critical review. *Mind, Brain, and Education*, 17(2), 135–145.
18. Macdonald, K., Germine, L., Anderson, A., Christodoulou, J., & McGrath, L. M. (2021). Dispelling the myth of learning styles. *Frontiers in Education*, 6, Article 645005.
19. Makransky, G., et al. (2019). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*, 60, 225-236.
20. Masson, S. (2014). Pour une utilisation responsable des neurosciences en éducation. *Neuroéducation*, 3(1), 29-36.
21. Moreau, D., Wiebels, K., & Waldie, K. E. (2021). Neuroplasticity and Cognitive Training in Virtual Environments: A Meta-Analysis. *Trends in Neuroscience and Education*, 25, 100165.
22. Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2021). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual Review of Neuroscience*, 45, 73–95.
23. Rechidi, N., Bennani, H., NAFZAOU, M. A., BENAZZOU, L., & HILMI, Y. (2020). L'intégration pédagogique des TIC à l'épreuve de la crise covid-19: quels enseignements à tirer?. *Revue internationale du chercheur*, 1(2).
24. Roediger, H. L., & Butler, A. C. (2011). The critical role of retrieval practice in long-term retention. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(1), 20-27.
25. Roediger, H. L., Agarwal, P. K., McDaniel, M. A., & McDermott, K. B. (2020). The critical role of retrieval practice in long-term retention: A meta-analytic review. *Educational Psychology Review*, 32(4), 831–859.
26. Selwyn, N. (2020). Should robots replace teachers? AI and the future of education. Polity Press.



27. Shute, V. J., et al. (2017). The power of play: The effects of Portal 2 and Lumosity on cognitive and noncognitive skills. *Computers & Education, 114*, 177-192.
28. Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science, 12*(2), 257-285.
29. Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review, 31*(2), 261–292.
30. Sweller, J. (2019). Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research and Development, 68*(1), 1–16.
31. Thomas, C., & Baker, C. I. (2013). Teaching an adult brain new tricks: A critical review of evidence for training-dependent structural plasticity in humans. *NeuroImage, 73*, 225-236.
32. Thomas, M. S. C., Ansari, D., & Knowland, V. C. P. (2022). Annual research review: Educational neuroscience: Progress and prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 63*(4), 477–492
33. Thomas, C., Baker, C. I., & Helmreich, R. L. (2020). Neuroplasticity induced by learning: A meta-analysis of structural brain changes. *Nature Reviews Neuroscience, 21*(4), 245–259.
34. Van Deursen, A. J. A. M. (2023). Digital inequality in education: A longitudinal study of performance gaps. *British Journal of Educational Technology, 54*(2), 567–585.
35. VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational Psychologist, 46*(4), 197-221.
36. Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
37. Walker, M. P. (2017). *Why we sleep: Unlocking the power of sleep and dreams*. Simon & Schuster.
38. Williamson, B. (2017). *Big data in education: The digital future of learning, policy and practice*. SAGE Publications.
39. Yang, C., Sun, B., & Shanks, D. R. (2022). Spacing enhances long-term memory retention. *NPJ Science of Learning, 7*(1), Article 25.