

Licence : [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

COMPRENDRE LES ENJEUX LIÉS AUX APPRENTISSAGES DES MATHÉMATIQUES CHEZ LES ADOLESCENT·E·S ÂGÉ·E·S DE 15 À 19 ANS EN FORMATION AU POST- OBLIGATOIRE

*Delphine Jaggi

CAS en Neurosciences de l'éducation, Université de Fribourg, Suisse

***auteure correspondante** : Mme Delphine Jaggi. delphine.jaggi@bluewin.ch

Citation : Jaggi, D. (2024). Comprendre les enjeux liés aux apprentissages des mathématiques chez les adolescent·e·s âgé·e·s de 15 à 19 ans en formation post-obligatoire. *Cortica*, 4(1), 824-865. [https://doi.org/ 10.26034/cortica.2025.7050](https://doi.org/10.26034/cortica.2025.7050)

Résumé

Cette étude explore les défis rencontrés par les adolescents âgés de 15 à 19 ans dans l'apprentissage des mathématiques en formation post-obligatoire. Elle s'appuie sur les neurosciences de l'éducation et le modèle PRESENCE pour examiner comment la perception de soi, les émotions et les stratégies d'apprentissage influencent la réussite scolaire. L'étude repose sur une méthodologie mixte combinant des observations en classe, des questionnaires et des ateliers pratiques destinés à renforcer la motivation et l'autodétermination des élèves. Les résultats montrent que la mise en place d'une approche métacognitive et la sensibilisation au fonctionnement du cerveau améliorent l'engagement des élèves et leur capacité à surmonter leurs difficultés. L'étude souligne l'importance d'une

pédagogie adaptée, intégrant des principes neuroscientifiques, pour favoriser la persévérance scolaire et renforcer la confiance des élèves en leurs compétences mathématiques.

Résumé rédigé par OpenAI (2023)

Mots-clés : apprentissage des mathématiques, adolescence, métacognition, motivation, estime de soi, neurosciences de l'éducation, stratégies d'apprentissage.

Abstract

This study explores the challenges faced by adolescents aged 15 to 19 in learning mathematics in post-compulsory education. It draws on educational neuroscience and the PRESENCE model to examine how self-perception, emotions, and learning strategies influence academic success. The study employs a mixed-methods

approach, combining classroom observations, questionnaires, and hands-on workshops designed to enhance student motivation and self-determination. Findings indicate that implementing a metacognitive approach and raising awareness about brain functioning improve student engagement and their ability to overcome difficulties. The study highlights the importance of tailored pedagogy, integrating neuroscientific principles, to foster academic perseverance and strengthen students' confidence in their mathematical abilities.

Abstract generated by OpenAI (2023)

Keywords: mathematics learning, adolescence, metacognition, motivation, self-esteem, educational neuroscience, learning strategies.

Introduction

Contexte

Travailler en contact avec les adolescents m'a toujours beaucoup intéressée. Enseignante en mathématiques au secondaire II dans le canton de Vaud depuis plusieurs années, j'ai déjà accompagné de nombreux jeunes dans leur cursus gymnasial de trois ans et ai été confrontée à des situations problématiques récurrentes entravant le processus d'apprentissage des élèves. Deux situations identifiées sont à relever. D'une part, les apprentissages en mathématiques se font difficilement et ne semblent pas perdurer efficacement dans le temps et d'autre part, l'impact psychologique de la réussite ou de l'échec d'un

élève à un test est très fort et influencerait grandement leur future implication dans cette matière, à court, moyen ou long terme.

Les objectifs poursuivis à travers ce travail sont, dans un premier temps, d'apporter des notions neuroscientifiques à mon activité professionnelle afin d'améliorer et enrichir mes outils pédagogiques. Dans un deuxième temps, ce travail permettra de recenser les éléments théoriques pratiques permettant d'appréhender et favoriser au mieux les apprentissages chez les jeunes. Et dans un troisième temps, il intégrera ces notions dans ma pratique professionnelle pour offrir aux élèves des outils et des stratégies concrètes visant à surmonter leurs difficultés, transformer leur perception des mathématiques et renforcer leur estime personnelle, ce qui contribuera à améliorer leurs apprentissages.

La rédaction de ce travail s'inscrit dans le cadre du *Certificate of Advanced Studies* (CAS) en Neurosciences de l'éducation dispensé par le Centre de formation continue de l'Université de Fribourg. Il s'agit d'une recherche appliquée.

J'enseigne à des jeunes âgés de 15 à 19 ans et travaille actuellement avec des classes de 1^{ère} et 2^{ème} années en voie Maturité, option mathématiques standard (MS). Lorsque ce travail touchera à sa fin, ils seront respectivement en 2^{ème} et 3^{ème} année.

Problématique

Dans mon enseignement au Gymnase de Nyon, je constate que les élèves perçoivent souvent leurs capacités d'apprentissage comme étant faibles et peu évolutives et pensent que leur échec en mathématiques est une conséquence de leur manque d'intelligence (cause interne) sans émettre l'hypothèse d'une cause externe possible : l'absence de stratégies d'apprentissage efficaces. Or nous savons aujourd'hui que l'apprentissage ne serait pas une question d'intelligence mais de stratégies mentales telles qu'argumenter, prendre des notes, établir une structure, etc. (Giordan, 1998). De plus, les élèves présentant des difficultés d'apprentissage ont vu leur estime d'eux-mêmes baisser durant leur parcours scolaire pré-gymnasial, plus particulièrement lorsqu'ils ont été mis face à l'évaluation.

En effet, outre le fait de voir régulièrement des élèves pleurer en cours de math, il est également fréquent, sans pour autant parler de généralités, de les entendre prononcer des paroles dévalorisantes ou peu constructives à leur propre égard :

- « *De toute façon je suis nul(le)* »
- « *J'ai toujours été nul(le) en math, ça ne changera pas au gymnase* »
- « *Au collège, je n'arrivais jamais à obtenir la moyenne* »
- « *Je ne comprends rien* »

- « *Les maths et moi, ça fait 2* »
- « *Si j'ai pas la moyenne, je vais me faire engueuler par mes parents* »
- « *J'ai beaucoup travaillé, et je n'ai que 3¹ à ce test* »
- « *A quoi ça sert que je travaille, de toute façon je n'aurai pas une bonne note* »
- « *Ce qu'on apprend en math ne me servira à rien plus tard* »
- « *Au collège, mon prof ne répondait jamais à mes questions* »
- « *Je n'ai aucune idée si ce que je fais est juste* »
- « *En cours de math, je m'ennuie et n'aime pas faire ce qu'on me demande* »

Les quelques exemples ci-dessus mettent en évidence non seulement la faible estime que ces élèves ont d'eux-mêmes au regard de leurs compétences en mathématiques mais également le poids des expériences passées qui n'ont pas toujours été positives, tant dans le milieu scolaire que familial, et cela dès l'enfance. Même si le processus d'apprentissage n'est en aucun cas linéaire ni accumulatif (Giordan, 1998), les élèves se retrouvent alors vite découragés et ne perçoivent plus l'intérêt de fournir des efforts pour « des résultats si peu probants ». A l'image de l'architecture du cerveau (Fahim, 2023), les élèves construisent alors la suite de leurs apprentissages sur la

¹ Les notes sont comprises entre 1 et 6, la moyenne étant fixée à 4.

base de ce bagage instable qui menace de s'écrouler à la moindre turbulence. Heureusement, la qualité de l'environnement et les contextes dans lesquels ils vivent et se forment (épigénétique) remodelent cette architecture progressivement et la font évoluer positivement.

Depuis quelques années, je constate que les petites victoires des élèves (avoir la moyenne à un travail écrit, répondre correctement à une question posée en classe, aider un camarade, finir un exercice sans l'aide du professeur, etc) ainsi que les paroles valorisantes et les encouragements leur permettent de regagner en estime d'eux et de faire face aux nouveaux défis avec davantage de confiance.

Les éléments évoqués plus haut m'amènent alors à élaborer mon travail autour de la problématique suivante :

Dans quelle mesure peut-on favoriser l'autodétermination des adolescents et par conséquent enclencher un processus vertueux permettant la consolidation d'apprentissages mathématiques passés tout en favorisant ceux à venir ?

Quant à ma recherche, elle sera élaborée à partir des hypothèses suivantes :

1) Expliquer les particularités du fonctionnement cérébral aux adolescents avec ou sans difficultés d'apprentissage leur permettrait d'exploiter correctement leurs capacités cognitives et d'en faire bon usage. Telle une stratégie

d'apprentissage, connaître le fonctionnement de son cerveau serait un moyen conscient de faciliter l'apprentissage de nouvelles notions et de le rendre plus efficace (Rossbach, 2018).

2) Les activités pratiques et interactives impliquant les élèves physiquement et mentalement peuvent améliorer l'apprentissage des mathématiques en favorisant une compréhension plus profonde des concepts. En effet, selon Chi (2009), les stratégies d'apprentissage interactives et constructives surpassent les approches passives et actives en termes de rétention de l'information et de compréhension des connaissances. De plus, en intégrant des stratégies de motivation (valeur de la tâche, etc.) telles que présentées par Zepeda (2020) dans son article *Supporting Student Learning Through Metacognitive and Motivational Strategies*, ces activités pratiques permettraient de stimuler la motivation et l'engagement des élèves.

3) Bien que les lacunes cumulées durant plusieurs années représentent de véritables embuches pour la suite de leur parcours gymnasial, ce ne sont pas leurs difficultés en mathématiques qui bloquent leurs apprentissages mais bel et bien le manque d'estime qui en découle. Le fait de travailler sur la perception que les élèves ont d'eux-mêmes et

de réintroduire la notion de plaisir dans le fait d'apprendre favorise l'engagement de l'élève dans une tâche et la poursuite dans le but de son accomplissement (Giordan, 1998 ; Lavoie, 2007).

L'enjeu de ce travail de CAS sera donc de réfléchir à la mise en place d'ateliers pratiques faisant intervenir des notions neuroscientifiques et mathématiques. L'apport des neurosciences permettra aux élèves d'aller non seulement à la rencontre de leur cerveau et d'y découvrir son fonctionnement, mais également d'apprendre l'enjeu de la mise en place de stratégies d'apprentissage efficaces. Parallèlement aux neurosciences, ces ateliers rendront aussi possible le travail des notions mathématiques vues récemment en cours en laissant aux élèves la possibilité de les activer, de les partager avec leurs pairs et de les utiliser de manière ludique lors d'activités spécifiques.

Il s'agit d'une recherche exploratoire menée sur un groupe-classe de 20 élèves âgés entre 17 et 18 ans qui seront en 3^{ème} année Maturité au moment de la mise en place du projet. Travailler avec ce petit groupe me permettra d'évaluer mes hypothèses, d'observer l'évolution des apprentissages des élèves (pourcentage de rétention, qualité, liens, etc.) tout en

réfléchissant à une modification profonde de mes outils pédagogiques en fonction des résultats obtenus. Pour ce faire, les élèves répondront à un sondage avant et après la réalisation de ce projet en classe ; ils pourront ainsi s'exprimer sur leurs ressentis et leurs retours me permettront de futurs ajustements.

Le modèle PRESENCE

Le cerveau est comme l'ordinateur central de notre corps : il contrôle tout ce que nous faisons, de notre façon de nous déplacer à la manière dont nous pensons et ressentons les émotions. Voir, sentir, réfléchir, se mettre en mouvement, prendre des décisions, interagir avec le monde qui nous entoure ou encore mémoriser des informations sont autant d'apprentissages qui vont se façonner durant toute notre vie. Le Dr. Fahim amène le modèle PRESENCE (Fahim, 2022a, 2022b, 2023, 2024), acronyme où chaque lettre correspond à une étape cruciale du développement cérébral, dans lequel elle compare le cerveau à une immense forêt où règnent des milliards d'arbres (les neurones) tous interconnectés entre eux par leurs branches et leurs racines (les dendrites et les synapses)². Le but de ce modèle est d'éclairer les méandres du fonctionnement de notre cerveau et de les mettre à profit dans le domaine des neurosciences de l'éducation.

² Fahim, C. (2022). PRESENCE enracinée dans le cerveau par une prédisposition génétique et tissée par l'épigénétique.

Ce modèle sera brièvement résumé ici avant d'être repris plus spécifiquement dans la partie théorique.

P comme Prédilection

Le cerveau est une architecture cérébrale dont les fondations prennent forme déjà avant la naissance. Le premier neurone apparaît à un mois de grossesse puis, chaque seconde, des milliers d'autres neurones sont créés. Cette surproduction a lieu avant la naissance du bébé et jusqu'à de ses premières années de vie où elle atteint sa quantité maximale vers l'âge de 3 ans (Matsuzawa et al., 2001). Ces neurones sont tels les bâtisseurs de notre cerveau et leurs corps cellulaires sont contenus dans la matière grise (le cortex cérébral). Ils établissent chacun jusqu'à cent mille connexions synaptiques qui se font et se défont, créant ainsi des voies neuronales à travers tout le cerveau (Sakai, 2020). A l'image d'un sentier pédestre qui est façonné et entretenu par une intervention externe, ces chemins sont, quant à eux, préservés par la gaine de myéline et rendus efficaces grâce à la matière blanche qu'elle contient et qui est indispensable à la circulation de tout influx nerveux. Cette matière blanche renferme essentiellement des axones, prolongements neuronaux par lesquels les informations produites au niveau du corps du neurone circulent (Sander et al., 2018). La communication neuronale ainsi que le neurodéveloppement de tout individu sont donc

conditionnés par la myélinisation corticale. Si cette myélinisation corticale est en partie génétiquement programmée (Liu et al., 2018), elle est d'abord influencée par l'allaitement maternel et par l'attachement, puis par les expériences personnelles, les interactions sociales et la communication tout au long de la vie. Son augmentation est principalement due à la conductivité des axones procurant vitesse et synchronisation de l'information (Fahim, 2022). Elle apparaît comme une vague et progresse par poussées en partant du lobe occipital, à l'arrière du cerveau, et atteint le lobe frontal, à l'avant du cerveau, à l'âge de 25 ans³ (Gogtay et al., 2004). Mais attention ! si cette matière blanche influence et modifie positivement les comportements suite à des expériences heureuses, elle impacte également le développement cérébral lors d'expériences négatives. Citons par exemple l'effet du stress (taux de cortisol élevé) qui programme le développement du cerveau en fragilisant la santé mentale (McEwen et al., 2016). Il induit ainsi des signatures épigénétiques qui peuvent être transmises aux générations futures (Daskalakis et al., 2013).

On parle de prédisposition génétique lorsqu'un individu hérite de certaines caractéristiques de ses parents (ou de ses ancêtres) en raison de l'information génétique qu'il a reçue à la naissance. En effet, chaque neurone est doté d'un noyau

³ Cet âge varie en fonction des cultures.

contenant les instructions génétiques de notre développement et fonctionnement. On le nomme ADN et les gènes en sont des composants. Heureusement, tout individu est peut-être prédisposé par son bagage génétique mais n'est pas déterminé par celui-ci (Fahim, 2023). De récentes recherches en épigénétique tendent à montrer que les gènes joueraient un rôle pour environ 60% dans le développement de tout individu tandis que les 40% restants relèvent de l'influence de l'environnement (Belleau, 2015). C'est donc l'interaction entre les gènes et l'environnement qui modifie l'architecture du cerveau et induit des changements comportementaux (Labonté & Turecki, 2012) sans toutefois modifier le matériel génétique.

Les périodes sensibles (ou *critiques*) aux effets de l'environnement et des expériences de différents circuits cérébraux commencent et finissent à différents âges pour chaque partie du cerveau. Par exemple, les périodes critiques de l'enfance, liées d'une part au développement des systèmes sensoriels et moteur et d'autre part à celui des aires limbiques spécialisées dans la régulation du stress, des émotions et des apprentissages, se terminent dans les premières années de vie de l'enfant tandis que les circuits associés à la communication, à l'interprétation des expressions faciales, au raisonnement et à la prise de décisions se terminent plus tard au

cours du développement. Enfin, l'adolescence comprend les périodes critiques pour le développement social, émotionnel et cognitif.

R comme Réseaux de neurones

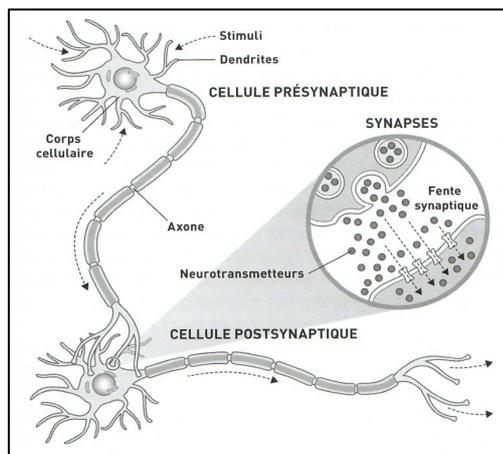
Si la formation des neurones, la myélinisation et les périodes critiques sont déterminées à l'avance, un individu n'est pas seulement le résultat de ses gènes. En effet, chaque stimulation et chaque nouvelle découverte va permettre aux neurones de se connecter, créant des chemins, puis des routes et enfin des autoroutes. Dans ce chaos organisé, le fonctionnement cérébral est alors hautement distribué et contient en lui-même un caractère dynamique.

Afin de comprendre ce que cela signifie, commençons par expliquer brièvement la communication neuronale. Les neurones communiquent entre eux par signaux électriques⁴. Ces derniers se propagent le long de l'axone jusqu'à atteindre la terminaison synaptique du neurone (Figure 1).

⁴ Les dendrites reçoivent l'information. Chaque neurone aurait entre 6'000 et 10'000 dendrites.

Figure 1

Deux neurones interconnectés



Note. Adapté de *Notre cerveau, la mémoire et les émotions*, p.63, par Sánchez Andres et al., 2024, Glénat.

Même si les neurones sont proches les uns des autres, ils restent tout de même séparés par un espace synaptique que les signaux électriques ne peuvent pas franchir seuls. Ainsi, le neurone les transforme en substances chimiques, liquides à base d'eau nommés neurotransmetteurs, qui permettent alors de transmettre ces informations au neurone suivant⁵. Les neurotransmetteurs sont donc indispensables pour véhiculer un signal électrique au prochain neurone. Ce dernier reçoit alors une information sous forme chimique qu'il retransforme en signaux électriques. L'information pourra poursuivre son chemin le long de ce second neurone et ainsi de suite. En imaginant que chacun des 100 milliards de neurones présents dans le

cerveau humain opère jusqu'à 10'000 connexions de la sorte, une toile se tisse et un réseau prend forme rapidement. Les synapses jouent alors le rôle de connecteurs, créant ainsi ces circuits cérébraux (Tu et al., 2018).

Ces réseaux⁶ neuronaux permettent aux différentes aires cérébrales de travailler main dans la main, et c'est leur activité d'ensemble qui permet de comprendre et d'exécuter des tâches. De cette manière, une fonction cognitive ne réside pas uniquement dans une région spécifique du cerveau mais dépend du contexte neuronal dans lequel elle intervient et se développe à travers l'interaction et la reconfiguration permanente des éléments du réseau plutôt que par ses caractéristiques structurelles propres (Baum et al., 2017).

Si les réseaux de neurones bien établis dans le cerveau donnent la possibilité à chaque aire cérébrale de s'envoyer et de recevoir des informations, cela ne veut pas encore dire que la communication est fiable, rapide et garantie (ce n'est pas parce qu'un pont existe qu'on arrive à le traverser). Pour rendre cette communication possible, il est important que chacune des régions impliquées dans l'exécution d'une fonction se synchronisent, faisant intervenir la notion de convergence. C'est pourquoi, les aires les plus connectées sont également celles qui sont les plus fortement

⁵ Plus la fréquence des signaux est élevée, plus le neurone produit de substance chimique.

⁶ Les réseaux neuronaux peuvent être schématisés à l'aide d'un graphe composé de nœuds (sommets) et d'arêtes (cf.

Théorie des graphes), dans lequel un nœud est défini comme une unité d'interaction et où chaque nœud est non seulement relié à d'autres par des arêtes mais est lui-même un sous-réseau, composé de nœuds et d'arêtes.

reliées entre elles (Van den Heuvel & Sporns, 2011). Ces plus gros points de connexions s'appellent des « hubs » et sont présents notamment dans les lobes frontal, pariétal et occipital. En fait, ils représentent des emplacements stratégiques pour la circulation de l'information et sont considérés comme des régions cérébrales multifonctionnelles pouvant modifier rapidement et largement leur connectivité selon les caractéristiques de la tâche à effectuer, et cela de manière efficace et économique. Par exemple, lors de la création d'un mouvement, les neurones des régions motrices⁷ vont communiquer entre eux pour former un *sous-réseau*⁸ ; on parle ici de connectivité anatomique. Cependant, il est parfois nécessaire que ces neurones interagissent avec des neurones plus éloignés et présents dans d'autres aires cérébrales que la leur. Cette connexion se fera par l'intermédiaire des hubs qui se chargeront de distribuer l'information au bon endroit rapidement ; on parle alors de connectivité fonctionnelle. Par conséquent, si les connexions structurelles entre les neurones sont, quant à elles, statiques, leurs connexions fonctionnelles sont bien dynamiques (Park & Friston, 2013) et largement distribuées à travers les différentes aires du cerveau, nous permettant de réaliser des tâches complexes sans même en avoir conscience (Paillard, 1999). Outre leur

désignation de lieux de convergence (Damasio, 1989), les hubs sont également capables de compenser d'autres « hubs » défaillants rendant alors le réseau « résilient » (Van den Heuvel & Sporns, 2011), et permettent ainsi la synchronisation cérébrale.

E comme Elagage synaptique – petite enfance

Pendant la petite enfance, le cerveau subit une restructuration dynamique connue sous le nom d'élagage synaptique. Initialement, il y a une surproduction de cellules et de connexions neuronales dépassant largement les besoins réels du cerveau. Or, autant de connexions ne pouvant subsister, le cerveau procède à un grand nettoyage où seules les connexions activement utilisées sont conservées et renforcées (pour le meilleure ou pour le pire⁹), tandis que les autres, moins sollicitées ou défaillantes, sont soit recyclées pour former les réserves cognitives, soit définitivement éliminées. Le principe « Use it or Lose it¹⁰ » est donc de mise puisque ce phénomène d'élagage synaptique vient améliorer le rapport signal-bruit déterminant pour la qualité des connexions neuronales : les neurones transmettant un signal plus clair et plus fort sont donc moins susceptibles d'être éliminés (Neniskyte & Gross, 2018). L'élagage synaptique contribue ainsi à rendre les connexions neuronales plus rapides et efficaces (Neniskyte & Gross, 2018), en

⁷ Principalement situées dans le cortex frontal mais aussi dans le cortex pariétal et le cervelet.

⁸ Il est ici question de *sous-réseau* d'un réseau principal, c'est-à-dire celui reliant toutes les aires cérébrales entre elles.

⁹ Les connexions qui survivent à l'élagage synaptique ne sont pas nécessairement les meilleures pour l'enfant, mais celles qui ont été souvent utilisées et donc consolidées.

¹⁰ Loi de Hebb 1, littéralement traduit par « utilise-le ou perds-le ».

éliminant les superflus et en renforçant celles qui sont essentielles au bon développement de l'enfant. Les recherches actuelles montrent qu'environ 30% des connexions neuronales disparaissent pendant cette période (Paillard, J., 1990). Cette réorganisation cérébrale se produit une première fois pendant la petite enfance (2-4 ans), puis une seconde fois à l'adolescence, à l'arrivée des hormones sexuelles.

S comme Synchronisation cérébrale

Le cerveau possède trois grands réseaux de neurones – le réseau de saillance, le réseau de mode par défaut et le réseau exécutif – que tout individu utilise au quotidien et dont l'activation au bon moment est une condition clé à la synchronisation cérébrale.

Le réseau de saillance est un ensemble de régions cérébrales dont les nœuds principaux résident dans les cortex cingulaire antérieur et insula-temporal. Ces régions sont chargées de repérer et contrôler les stimuli internes et externes auxquels le système nerveux est confronté afin que l'organisme sache comment répondre à un événement donné. Ses rôles sont multiples : d'abord il se charge de détecter, parmi l'ensemble des données sensori-motrices, lesquelles sont pertinentes et nécessaires à l'équilibre interne du cerveau ; puis il doit simultanément faciliter l'orientation et la focalisation de l'attention sur le comportement à

adopter en réponse à ces stimuli, tout en les gardant en mémoire tant que ces derniers n'ont pas été traités. La synchronisation d'aires largement distribuées est donc essentielle, comme le suggèrent Seeley et ses collaborateurs dans leur article *Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control* (2007) : « le réseau de saillance est ancré dans le cortex cingulaire antérieur dorsal et les cortex frontoinsulaire orbitaux avec une connectivité robuste aux structures sous-corticales et limbiques, et un réseau de contrôle exécutif qui relie les néocortex dorsolatéraux frontaux et pariétaux. ». Il est aussi intéressant de relever que ce réseau est lié au système de motivation et de récompense, jouant ainsi son rôle dans les processus d'apprentissage.

Le réseau de mode par défaut est quant à lui impliqué dans les régions cingulaires postérieures et frontales du cerveau. Il concerne les fonctions au repos et s'enclenche par exemple lorsqu'on s'ennuie, qu'on rêve ou qu'on se laisse aller, mais également lorsqu'on perçoit la beauté autour de soi (Vessel et al., 2019). Ainsi, il permet l'introspection car son activité n'est plus tournée vers une tâche extérieure mais vers l'intérieur. L'activité de repos de notre cerveau représente plus de 80% de l'énergie qu'il consomme¹¹ et environ 20% de l'énergie totale requise par le corps humain, tandis que l'engagement dans une tâche

¹¹ <https://www.neurosciences.academy/article/cerveau-notre-cerveau-roi-des-reseaux/>

mènerait à une augmentation de la consommation énergétique de moins de 5% (Bastin, 2018). Cette activité s'organise, elle-aussi, en réseaux, dits de repos. Sa fonction principale est en lien avec les processus mentaux autoréférentiels tels que l'imagination et la mémoire autobiographique (Crettenand, 2023), permettant l'activation du filtre de l'imaginaire. En effet, lorsque les participants à une étude de neuroimagerie au repos étaient autorisés à se laisser aller à leurs pensées, les chercheurs en neurosciences ont mis en évidence un lien entre ces pensées, la remémoration d'expériences passées et la planification d'expériences futures. Ces processus mentaux mobiliseraient donc les mêmes régions cérébrales que celles impliquées dans le rappel contrôlé des souvenirs. Cela suggère par conséquent que le réseau de mode par défaut joue un rôle crucial dans la construction de l'identité et de la conscience chez l'individu (Bastin, 2018). Le réseau exécutif quant à lui se met en marche lorsqu'une action doit être réalisée. Il mobilise les fonctions exécutives et active le filtre de l'inférence pour analyser l'environnement, les expériences passées, les besoins et les attentes afin d'adapter le comportement. Principalement logées dans les régions préfrontales mais interagissant avec de nombreux réseaux de neurones, ces fonctions exécutives permettent non seulement de modérer notre pensée et nos actions en vue d'atteindre un objectif spécifique mais facilitent aussi notre

adaptation à de nouvelles situations en intervenant dans la régulation du comportement et dans la prise de décision. Elles favorisent ainsi le filtre du mouvement qui, lui, ouvre la porte à l'action et à la vérification des données obtenues par les filtres précédents (plaisir et inférence), formant un tout cohérent ou au contraire signalant une contradiction. De plus, par le réajustement permanent des focus attentionnels et des ressources cognitives qu'exige la réalisation de toute tâche, ce réseau est essentiel pour le bon fonctionnement de la mémoire de travail et du contrôle cognitif supérieur.

Ces trois réseaux, aussi nommés les « trois mousquetaires du cerveau », ont besoin de s'appuyer les uns sur les autres pour se synchroniser et optimiser leur fonctionnement.

E comme Elagage synaptique – adolescence

Comme dit précédemment, à l'adolescence a lieu un deuxième élagage synaptique générant une réorganisation cérébrale majeure menant à la maturation cérébrale. Ce processus, qui permet une transition vers l'âge adulte, présente un double aspect : non seulement un élagage a lieu au niveau du cortex frontal lié aux tâches exécutives, puis plus tard au niveau du cortex temporal (Dayan & Guillery-Girard, 2011), mais s'effectue également une mise en réseau des aires cérébrales permettant peu à peu une organisation fonctionnelle distribuée et par là-même l'accomplissement de tâches plus complexes (Vogel et al., 2010). Cette

maturation cérébrale ne pourrait avoir lieu sans l'amincissement du cortex et l'augmentation de la matière blanche. En effet, le volume de la substance grise se réduit dès la puberté¹² tandis que le volume de substance blanche continue de croître¹³ (Sowell et al., 2011). Ces changements structurels et fonctionnels témoignent alors de la capacité d'adaptation et de la plasticité du cerveau : ainsi il devient davantage spécialisé et mieux adapté aux expériences et apprentissages de l'adolescent.

Alors que le premier élagage était déterminé par l'âge (autour de 2-4 ans), le second élagage est déterminé par l'arrivée de la puberté. C'est l'activation de l'axe hormonal hypothalamo-hypophysio-gonadique qui conditionne son arrivée en libérant de nombreuses hormones (GnRH, LH, FSH) au niveau de l'hypothalamus et de l'hypophyse. Ces hormones sont alors chargées de communiquer avec les ovaires et les testicules pour que ces derniers produisent à leur tour des hormones sexuelles (Vanacker et al., 2021). Ces changements hormonaux influent sur différents aspects du développement, notamment la croissance des organes génitaux et la régulation du cycle menstruel, mais ils jouent aussi un rôle crucial dans le développement corporel, émotionnel et cognitif de l'adolescent (Smith et al., 2018). En effet, l'élagage synaptique rend le cerveau particulièrement réceptif aux expériences éducatives, sociales et

environnementales mais il affecte également les régions cérébrales impliquées dans le traitement émotionnel, telles que le cortex préfrontal et l'amygdale : le cerveau diminue alors l'activité du système limbique pour augmenter l'activité du cortex préfrontal.

Si les expériences positives renforcent davantage certaines connexions neuronales, les expériences négatives ou le manque de stimulation conduisent à une réduction des synapses qui étaient potentiellement utiles (Fahim, 2024). Il est donc important de donner un environnement favorable et stimulant aux adolescents durant cette période afin de soutenir leur développement émotionnel, cognitif et social.

N comme Neuroplasticité

Le cerveau a l'étonnante faculté de s'organiser et se réorganiser en fonction de l'expérience grâce à la transformation et au renforcement des connexions cérébrales, et ceci durant tous les âges de la vie (Merzenich, 1983). Cette faculté s'appelle la neuroplasticité et elle donne au cerveau ses capacités d'adaptation et de régénération de fonctions, lui permettant de constamment évoluer en modifiant sa structure et son fonctionnement. Grâce à elle, rien n'est définitif. La plasticité cérébrale opère de deux manières différentes : l'une est synaptique et concerne les changements dans la force des connexions entre les

¹² 11 ans dans les lobes frontaux et 14 ans dans les lobes temporaux.

¹³ Le volume de matière blanche atteint un pic autour de la mi-quarantaine.

neurones, tandis que l'autre est structurelle et permet des changements physiques dans la structure même du cerveau telle que la croissance de nouveaux neurones dans certaines régions cérébrales. Bien que cette plasticité se poursuit sur de longues années jusqu'à l'âge adulte, c'est surtout durant les périodes sensibles du développement qu'elle se produit (Hubel & Wiesel, 1965). En particulier, trois systèmes cérébraux subiraient alors cette plasticité : le système des émotions en lien avec l'amygdale, le système des mémoires en lien avec l'hippocampe et le système des fonctions exécutives en lien avec le cortex préfrontal (Fahim, 2021).

Selon Poldrack (2010), la neuroplasticité est l'outil avec lequel notre cerveau apprend. Elle est donc rendue possible par trois principes : l'échafaudage, l'efficacité et le changement de processus. *L'échafaudage* représente la structure neuronale pré-existante sur laquelle tout apprentissage doit s'appuyer et agit comme un soutien dans l'élaboration de nouveaux réseaux. Un enseignant soucieux de sa pratique pédagogique et relationnelle envers ses élèves va par exemple se baser sur ses expériences vécues dans sa propre scolarité pour déterminer ce qu'il ne veut pas reproduire : ces expériences vécues forment une base à partir de laquelle il peut réfléchir et expérimenter sa relation avec les élèves. Le principe d'*efficacité* se réfère à

l'amélioration des réseaux de neurones existants : si Hebb a découvert que les neurones actifs en même temps lors d'un apprentissage spécifique se connectent les uns aux autres¹⁴, Poldrack rajoute que ce sont les actions répétées qui renforcent leur connexion synaptique permettant alors de transformer des réseaux peu sollicités en automatismes. Mais gare au circuit des habitudes qui s'installe pour libérer les ressources attentionnelles requises à un fonctionnement optimisé du cortex préfrontal, et dont il est particulièrement difficile de se défaire. Pour finir, le troisième principe impliqué dans la neuroplasticité est *le changement de processus* qui permet au cerveau de modifier une région cérébrale pour changer sa fonction. Afin d'illustrer ce changement de processus, prenons la situation d'un élève qui effectuerait ses devoirs uniquement par peur de la sanction (mise à la porte, mauvaise note lors d'un test surprise, remarques de l'enseignant devant toute la classe, etc.), empêchant alors les apprentissages de s'inscrire profondément. Dans cette situation, les encouragements et les paroles valorisantes de son enseignant rétabliraient une atmosphère sécurisante pour l'élève et lui permettrait ainsi de travailler en vue de la construction d'apprentissages solides. Dès lors, un cercle vertueux se mettrait en place, déclenchant progressivement la sensation de plaisir et d'estime de soi.

¹⁴ Ce phénomène est connu sous le nom de *potentialisation*.

C comme Conscience

La conscience peut être approchée par la mise en relation de différents concepts neurologiques et neuropsychologiques. Parmi eux, la perception de soi et du monde extérieur, les réactions somatiques, émotionnelles et sentimentales qui y sont corrélées, la mémoire, l'intentionnalité, la prise de décision et le contrôle des actions, ainsi que la capacité à interagir de manière réfléchie avec son environnement, mais également les représentations internes de nos croyances et valeurs permettent tous de décrire la conscience mais pas de la définir exactement. En revanche, du point de vue du fonctionnement cérébral, la conscience serait étroitement liée à l'activité de l'insula, qui joue un rôle majeur dans la mise en lien des stimuli externes, intéroceptifs et émotionnels (Namkung, 2017, Gaillard, 2024). Cette dernière sollicite l'activation des fonctions exécutives logées dans le cortex préfrontal ainsi que la synchronisation d'autres régions cérébrales telles que la mémoire. La conscience se caractériserait alors par le résultat d'un processus dynamique dans lequel la synchronisation de l'information sélectionnée par le lobe frontal est partagée de manière synchrone à travers les différents réseaux de neurones (Dehaene & Naccache, 2001).

Les informations provenant de l'environnement et du cerveau lui-même aux niveaux

conscient et inconscient sont traitées à une vitesse pouvant atteindre les 120m/s, mais seule une petite partie d'entre elles vont atteindre le lobe frontal et devenir conscientes. Selon Becquet et ses collaborateurs (2020), la conscience s'inscrit dans une hiérarchie de processus cognitifs de plus en plus intégrés permettant de complexifier progressivement le traitement des contenus (Annexe 1). Tandis que l'attention peut induire le traitement d'informations sans nécessairement en rendre l'individu conscient (par exemple les publicités qui agissent comme des messages subliminaux), l'intentionnalité et l'*insight* contribuent à l'élaboration de la conscience de soi (par exemple savoir que notre corps nous appartient, mais aussi avoir la capacité à « évaluer notre personnalité, notre physique, à reconnaître notre visage ou détecter notre prénom » ainsi que nos fondations, nos valeurs et nos croyances). L'insula¹⁵ participe ainsi à maintenir la cohérence de l'expérience consciente dans différentes situations, internes et externes (Seeley et al., 2007). De plus, le fonctionnement de la conscience est étroitement lié à celui de la mémoire. En effet, toutes ces expériences, conscientes et non conscientes, laissent des traces dans le cerveau : elles sont stockées dans la mémoire à long terme¹⁶, soit dans des structures de connaissances déjà existantes soit comme expériences uniques (Conway & Pleydell-

¹⁵ Elle est activée dans divers contextes, tels que la perception de soi, de son état corporel, émotionnel ou cognitif,

ainsi que dans la perception de la douleur et des sensations physiques.

¹⁶ Procédurale, sémantique, épisodique.

Pierce, 2000). Elles influencent alors nos raisonnements ainsi que notre perception du monde et de nous-mêmes. Par exemple, lorsqu'une personne se retrouve dans une situation de prise de décision, elle raisonne consciemment et mobilise son attention en faisant preuve, notamment, de flexibilité mentale et d'inhibition. Cependant, son cerveau comparant systématiquement les données actuelles à celles déjà stockées dans sa mémoire à long terme, sa prise de décision est influencée par ses expériences passées. Mais la mémoire n'est pas la seule à venir s'immiscer dans le processus décisionnel : des phénomènes inconscients tels que les biais cognitifs, le circuit des habitudes ou celui des automatismes sont également bien présents. Ainsi, ses souvenirs et ses expériences passées façonnent ses croyances et sa vision de la vie, influençant directement sa conscience de soi. De plus, ces souvenirs seront réactivés au gré de nouvelles expériences et leur reconstruction dynamique visera à maintenir cohérence et concordance face à la réalité et à la perception de soi. Cependant, même si la décision d'une personne est en partie déterminée par des facteurs inconscients, ce n'est pas toujours le cas. Il existe des décisions dites conscientes permettant à la personne de faire preuve de libre-arbitre en choisissant

comment les facteurs inconscients impacteront sa décision.

Dans un tel contexte, il devient important de mettre en place une réflexion introspective afin d'apprendre à connaître son tempérament et ses propres forces de caractères¹⁷ (Park et al., 2004), mais aussi à mettre en lumière ses propres schémas ou les raisons qui motivent une décision plutôt qu'une autre. Prendre le temps de conscientiser sa manière de penser et d'agir permettrait ainsi de ne plus subir entièrement les effets de la dopamine, et par conséquent du circuit de la récompense, mais de choisir ses propres renforcements. De plus, développer des stratégies d'autorégulation en apprenant à gérer ses émotions et son stress grâce notamment à la relaxation, au yoga ou aux balades en forêts calmerait l'amygdale et redéfinirait, progressivement, une partie des circuits imprimés de l'hippocampe.

E comme Et le libre arbitre

Le libre arbitre, associé à la capacité d'un individu à choisir parmi plusieurs alternatives possibles, représente une question importante tant dans le domaine de la philosophie que des neurosciences. Si la notion de libre-arbitre est corrélée à celle de la conscience, c'est parce qu'il implique la liberté de choisir entre différentes options de manière consciente et intentionnelle. Certaines études en neurosciences

¹⁷ L'inventaire des forces de caractères a été développé en 2004 par Park, Seligman et Peterson qui ont regroupé 24 forces selon 6 vertus : sagesse et connaissances, courage,

humanité, justice, tempérance et modération, transcendance.

montrent le désaccord persistant sur l'existence de ce libre-arbitre : Gomes affirme que ce n'est qu'une illusion car les réflexions et les actions entreprises par une personne sont déterminées à l'avance par ses gènes qui, eux, déterminent le développement du cerveau et son fonctionnement (Gomes, 2007). Selon cette vision, la personne serait la proie de sa propre condition et serait donc dans l'impossibilité d'en reprendre le contrôle absolu. Toutefois Leisman et ses collaborateurs sont, quant à eux, moins catégoriques. En effet, bien que le comportement humain est hautement prévisible, ils affirment que si certaines actions sont effectivement automatiques¹⁸, d'autres sont bien librement choisies. Cette capacité à choisir serait alors influencée par différents facteurs, internes et externes, mais elle ne serait pas entièrement déterminée par les gènes (Leisman, 2012).

Le système corticolimbique, composé des régions cérébrales du système limbique ainsi que du cortex préfrontal dorsolatéral, joue un rôle crucial dans le processus de prise de décision consciente (Leisman, 2012). D'une part, le cortex préfrontal est impliqué dans la réflexion, la planification et l'évaluation des conséquences de nos actions, ce qui fait de lui un élément important dans la capacité à exercer un libre-arbitre. Et d'autre part, nos choix sont influencés

par des processus cérébraux non conscients qui interviennent dans des régions cérébrales plus profondes, telles que les aires du système limbique, chargées notamment de réguler les émotions, la mémoire et la motivation. Par conséquent, l'autorégulation¹⁹, rendue possible par la médiation du cortex cingulaire antérieur entre le système limbique et le cortex préfrontal, invite donc au libre-arbitre (Rothbart & Bates, 1998).

Au quotidien, le libre-arbitre est souvent de mise dans les situations où la prise de décision est importante (choix d'une profession, comportement éthique, projets de vie, etc.). Chez les adolescents, alors que leur cerveau n'a pas encore atteint sa pleine maturité, le libre-arbitre représente une ressource essentielle pour l'affirmation de leur identité au sein du groupe ainsi que dans le processus d'apprentissage de l'autonomie et de la responsabilité.

Tout comme évoqué pour la conscience, la capacité d'une personne à exercer son libre-arbitre de manière éclairée et responsable dépendra donc de son niveau de connaissances sur ses propres processus décisionnels. Dans le privé, cela peut impliquer la pratique de la méditation de pleine conscience, qui aide à développer une plus grande conscience de ses propres pensées et actions, mais dans le cadre de l'école,

¹⁸ Par exemple : un enfant de deux ans qui découvre une forme d'indépendance en disant « non » exerce son libre-arbitre. Pourtant, nous savons que cette phase du développement est une conséquence naturelle du développement universel de l'enfant et que son comportement est donc prévisible (Leisman, 2012).

¹⁹ Elle permet de modérer nos pensées, nos émotions et nos actes en fonction de l'environnement par l'inhibition de réponses impulsives, le maintien de l'attention et l'ajustement des comportements.

cela peut se faire grâce à des séquences d'enseignement encourageant la réflexion critique chez les adolescents (développant ainsi des compétences à l'auto-évaluation *a posteriori* de ses propres comportements).

Partie théorique

Le but de cette partie visera à comprendre plus précisément certains mécanismes neuronaux en action dans l'apprentissage.

La structure du cerveau

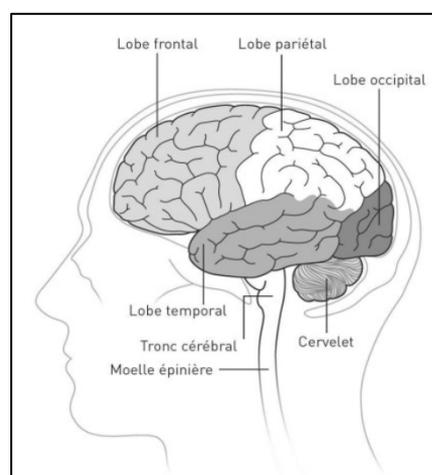
La constitution du cerveau peut être comparée à celle d'une pastèque : son cortex externe correspondrait à la partie verte tandis que sa partie sous-corticale à la partie rouge de la pastèque. Comme représenté dans la figure 2, ces deux parties sont subdivisées en quatre lobes cérébraux, chacun jouant un rôle spécifique dans le fonctionnement cognitif et dans les perceptions sensorielles.

Le lobe frontal, souvent comparé à un *chef d'orchestre*, régit les fonctions exécutives, nécessaires à tout comportement autonome et adapté à des situations nouvelles ou complexes. A l'avant de ce lobe se situe le cortex préfrontal, capable quant à lui de réguler les réponses au stress ou d'éteindre notre système d'alarme mais également essentiel pour la mémoire de travail et pour l'attention sélective. L'aptitude à fixer des priorités, organiser sa pensée, inhiber, planifier, peser les

conséquences de ses actes ou encore prendre des décisions en tenant compte d'un grand nombre de facteurs sont autant de fonctions exécutives qui sont encore en plein développement pendant l'adolescence.

Figure 2

Représentation de la constitution du cerveau



Note. Adapté de *Notre cerveau, la mémoire et les émotions*, p.25, par Sánchez Andres et al., 2024, Glénat.

En effet, le lobe frontal est en maturation jusqu'à l'âge d'environ 25 ans et le cortex préfrontal représente la dernière région du cerveau à mûrir²⁰. Cela explique pourquoi les adolescents auraient un mode de pensée à court terme et auraient souvent de la peine à réguler leurs émotions²¹ (Belleau, 2015). Si entre 16 et 25 ans les capacités rationnelles sont déjà mieux développées qu'au début de l'adolescence, les connexions entre le système limbique et le

²⁰ <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/corps-humain-cortex-prefrontal-15736/>.

²¹ Tant que le cortex préfrontal n'a pas atteint sa maturité, c'est l'amygdale qui gère les émotions.

cortex préfrontal ne sont malgré tout pas encore terminées. Cette maturation tardive du cortex préfrontal influence non seulement leurs besoins, réactions et expériences mais également leur capacité d'apprentissage, et plus particulièrement le raisonnement logique. Il devient alors plus difficile pour les adolescents de lutter contre des automatismes reposant sur des préconceptions plutôt que de raisonner (Houdé, 2011).

Sur les côtés du cerveau, le lobe temporal abrite tout le système limbique qui régit, notamment, les émotions, la mémoire, le langage et les apprentissages. Le lobe pariétal, situé sur le dessus de la tête, correspond au lobe des perceptions sensorimotrices, de l'imagination, de la créativité, de la notion du temps et de l'espace. Contrairement au lobe préfrontal, le lobe pariétal est l'un des premiers à mûrir conjointement avec le lobe occipital. Ce dernier, situé à l'arrière de la tête, correspond au lobe visuel : il perçoit les caractéristiques physiques d'un stimulus, à savoir sa forme, sa couleur et son mouvement par exemple. Il est rattaché au cervelet, aussi nommé « petit cerveau », dont la fonction est de coordonner les mouvements, de maintenir l'équilibre et la posture ou encore de favoriser l'apprentissage moteur. Il ne représente que 10% du volume du cerveau mais contient plus de 50% du nombre total de

neurones dans le cerveau (Neuromedia, 2021). Les quatre lobes cérébraux et le cervelet sont accompagnés du tronc cérébral²², élément important du système nerveux. Il se situe entre le cerveau et le début de la moelle épinière et il est notamment chargé de réguler le rythme cardiaque et la respiration.

La mémoire

La mémoire occupe une place centrale dans notre quotidien : se souvenir l'ordre dans lequel s'habiller, comment se rendre à la gare, de prendre rendez-vous chez le médecin, que Berne est la capitale de la Suisse ou encore se souvenir qu'on est soi et pas quelqu'un d'autre. Notre mémoire influence non seulement nos comportements, mais aussi la construction de notre identité et notre processus d'apprentissage. Elle se divise en plusieurs systèmes : la mémoire sensorielle, la mémoire à court terme et la mémoire à long terme. Ces deux dernières englobent plusieurs types de mémoires qui agissent en fonction des informations perçues et traitées, qu'elles soient sensorielles, émotionnelles, procédurales ou verbales.

On peut alors voir notre cerveau comme une grande commode à plusieurs tiroirs où chaque tiroir représente un type de mémoire et permet de stocker des informations précises. Au même titre qu'on ouvre plusieurs tiroirs de notre armoire pour

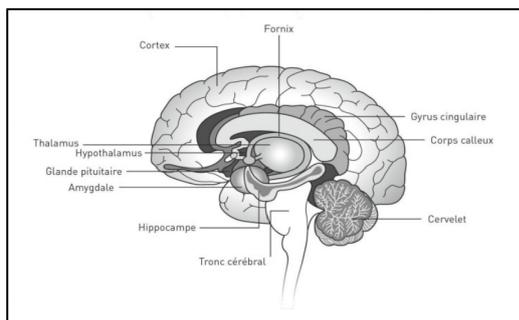
²² « Le cervelet et le tronc cérébral interviennent également dans la gestion des émotions et de la mémoire. C'est cette région qui incite une personne à agir d'une manière

répétitive dans une logique de sécurité. Par exemple, occuper une même place dans la classe. » (Belleau, 2015).

s'habiller, le cerveau utilise plusieurs mémoires pour se remémorer un souvenir. Chacune d'entre elles a besoin de dialoguer avec ses congénères pour fonctionner correctement et cette communication est possible grâce à l'hippocampe, structure située dans le lobe temporal, qui participe à la mise en mémoire des différents événements et apprentissages. Enfin, les informations voyagent de la mémoire à court terme vers la mémoire à long terme en transitant par l'hippocampe.

Figure 3

Hippocampe et Amygdale



Note. Adapté de *Notre cerveau, la mémoire et les émotions*, p.90, par Sánchez Andres et al., 2024, Glénat.

La première mémoire en activité est la mémoire sensorielle. C'est celle de nos huit sens et de nos perceptions. Elle dure quelques millisecondes et c'est grâce à elle que l'on peut se souvenir du goût d'un croissant aux amandes, de l'odeur d'un parfum ou de la voix d'un ami. Elle implique différentes régions proches des aires sensorielles et du cortex préfrontal.

La mémoire à court terme, ou aussi appelée mémoire de travail, est celle que nous utilisons constamment pour retenir des informations temporairement, d'une durée de quelques secondes à quelques minutes. Cette mémoire fait essentiellement appel au cortex préfrontal et correspond à la première étape avant que l'information ne continue son voyage jusque dans la mémoire à long terme.

La mémoire à long terme est constituée de la mémoire explicite et de la mémoire implicite, qui elles-mêmes se subdivisent en plusieurs types. D'un côté, la mémoire explicite, ou mémoire consciente, représente les mémoires sémantique et épisodique : la première regroupe toutes les connaissances théoriques et factuelles, comme savoir que Berne est la capitale de la Suisse ou comprendre le sens spécifique d'un mot, tandis que la deuxième regroupe nos souvenirs personnels et les événements que nous avons vécus. Quant à la mémoire implicite, elle est inconsciente et fait référence à nos actions automatisées. On y trouve d'abord la mémoire procédurale, qui est une mémoire liée à nos apprentissages, à nos habitudes, à nos savoir-faire moteurs comme savoir skier ou être capable de taper des dix doigts sur un clavier. On y trouve également les conditionnements émotionnels qui sont liés à l'association de souvenirs positifs ou négatifs à des émotions, renforcés par l'interaction de l'amygdale avec l'hippocampe.

Notre mémoire tisse donc un lien étroit entre notre passé (savoir-faire, apprentissages, connaissances, souvenirs) et notre futur (capacité à se projeter). La proximité anatomique de l'hippocampe et de l'amygdale permet au cerveau d'associer rapidement des souvenirs à des émotions fortes, telles que la peur ou l'anxiété, dans le but d'adapter au mieux sa réponse émotionnelle. C'est pourquoi nous nous rappelons plus facilement les expériences émotionnelles marquantes (un accident, une expérience de violence physique ou verbale, une attaque de chien, etc.). En effet, toutes ces expériences sont gravées plus profondément dans notre mémoire et peuvent être rappelées rapidement lorsque des stimuli similaires surviennent. Ce lien étroit entre mémoire et émotions est fondamental car il induit nos mécanismes de survie et nous permet donc de réagir de manière appropriée face au danger.

La mémorisation est une modification des connexions neuronales et son processus se décrit en trois étapes : l'encodage, le stockage et la récupération. Quand une information atteint nos sens, elle est traduite en « langage neuronal » afin d'être traitée.

Ensuite, la mémorisation permet de stocker l'information en mémoire à court et long terme. La rétention de cette information évolue selon une fonction exponentielle décroissante (Ebbinghaus, 1885). En effet, l'information stockée entre alors en concurrence avec toutes les nouvelles

informations fournies par l'environnement et se perdra si on ne fait rien pour la maintenir en mémoire.

Puis vient le temps de la récupération, étape qui désigne l'action de se souvenir de l'information stockée dans le but de l'utiliser. Cela permet de la réencoder une nouvelle fois plus profondément dans la mémoire à long terme car quand on réapprend une notion, le déclin de celle-ci dans notre mémoire sera moins prononcé même si le temps qui passe est plus long.

Ces connexions évoluent et participent à la fois à la consolidation et à l'oubli de l'information. Pour que nos apprentissages soient durablement ancrés dans notre mémoire, il est nécessaire que les notions apprises soient utilisées et réactivées à intervalles réguliers, car c'est en utilisant fréquemment un réseau de neurones que celui-ci se consolide et se renforce (neuroplasticité).

Cependant, récupérer les informations régulièrement ne suffit pas pour maintenir notre mémoire. Le sommeil, l'activité physique ou encore la motivation sont autant d'éléments ayant un impact sur notre capacité de rétention. Parmi ces éléments, le sommeil est certainement l'élément fondamental au bon fonctionnement de notre mémoire puisqu'elle dépend directement de la durée de ce dernier. En effet, c'est durant les différentes phases du sommeil que le cerveau élimine toute information non utile, les déchets ainsi que les toxines qui le

ralentissent. Mais c'est également pendant que l'on dort qu'il s'occupe d'archiver tout ce que l'on a vécu et appris au long de la journée. Pour mener tout son travail à bien, il aurait besoin de 3 à 5 cycles de 1h30 à 2h, soit d'au moins 6h de sommeil par nuit. Ce chiffre tend vers 8h à 10h par nuit pour les adolescents (Cenas Médecine du sommeil, 2022).

Favoriser les apprentissages

Cette section s'articule principalement autour des travaux d'Edwin Rossbach (2018) et Rachèle Lavoie (2007) ainsi que des résultats présentés dans l'ouvrage *Apprendre vite et bien* de Barbara Oakley et Olav Schwew.

Comment le cerveau apprend-il ?

Pour apprendre, la mémoire ne suffit pas. En effet, la compréhension consciente ne permettant pas d'atteindre un niveau d'expertise supérieur, elle nécessite également un système d'apprentissage procédural plus implicite. Pour assimiler efficacement, le cerveau doit non seulement comprendre, mais aussi synthétiser, analyser et créer du lien entre les nouvelles connaissances et celles déjà acquises. Grâce à la neuroplasticité, il développe alors progressivement des réseaux de neurones spécifiques à la tâche à réaliser et se perfectionne selon deux modes distincts mais complémentaires : le mode concentré et le mode diffus (Oakley & Schwew, 2021). Le *mode concentré* fait appel au cortex préfrontal et mobilise une attention focale, permettant de

consolider et renforcer les nouvelles idées par une activité cognitive intense. Cette forte concentration peut mener à une saturation, parfois vécue comme un « blocage » cognitif. C'est alors qu'intervient le *mode diffus*. Ce mode engage des aires cérébrales moins spécifiques, à l'instar du réseau par défaut qui est activé lorsque le cerveau est au repos ou engagé dans des tâches automatiques. Ce mode permet de laisser les pensées voguer librement, favorisant une certaine associativité. Les pensées pourront alors se relier de manière plus flexible et créative. Ce mode s'active naturellement lorsque l'on permet au cerveau de déconnecter et de se reposer, par exemple en se brossant les dents, en allant se promener, en faisant la vaisselle, etc. Enfin, il facilite les moments d'incubation durant lesquels des solutions ou de nouvelles idées émergent (Baird et al., 2012). L'apprentissage a lieu par l'alternance de ces deux modes. En effet, c'est cette alternance qui permet non seulement de mémoriser et de comprendre en profondeur certaines notions mais également de résoudre des problèmes plus complexes. L'apprentissage n'est donc pas un processus linéaire mais circulaire nécessitant autant de moments d'effort cognitif que de moments de relâchement.

Les stratégies d'apprentissage

Apprendre n'est pas un processus automatique. Il requiert des efforts, de la discipline, de la motivation, une planification adaptée ainsi que des moments de détente. Ce sont

tout autant de stratégies essentielles à mettre en place afin d'atteindre nos objectifs d'apprentissage. Si nous acceptons généralement l'idée qu'un entraînement régulier et varié permet l'amélioration de nos habiletés psychomotrices telles que jouer d'un instrument de musique ou pratiquer un sport, il en va autrement lorsqu'il est question de connaissances plus abstraites. En effet, l'usage de stratégies d'apprentissage est, dans ce contexte, souvent associé à une perte de temps, comme si l'effort intellectuel était moins exigeant que l'effort physique (Rossbach, 2018). Pourtant, Rossbach affirme que pour acquérir et bien comprendre tout type de nouvelles connaissances, il faut travailler avec elles non seulement souvent mais aussi différemment. Il met en avant l'intentionnalité cachée derrière ce processus car, à ses yeux, une stratégie d'apprentissage est un moyen conscient que l'on emploie dans le but de faciliter et de rendre efficace l'apprentissage. Il semble alors évident que pour optimiser le processus d'apprentissage, il est indispensable de développer des stratégies adaptées et soutenantes. En effet, accumuler des efforts ne suffit plus ; il faut aussi les orienter de manière réfléchie et consciente. C'est pourquoi, il est essentiel de connaître les différentes stratégies existantes et de s'intéresser à comment les utiliser de manière efficace.

Dans son papier *Les stratégies d'apprentissage* (2001), résumé et adapté de l'étude « Quoi faire pour que les élèves étudient

mieux et davantage » menée par Saint-Pierre en 1993, Rachèle Lavoie fait référence à quatre types de stratégie d'apprentissage : les stratégies cognitives, métacognitives, affectives ou motivationnelles et de gestion des ressources. C'est la combinaison de toutes ces techniques qui facilite l'intégration des informations et leur mémorisation. Tout d'abord, les stratégies cognitives représentent des techniques orientées vers un objectif spécifique et permettent de traiter, d'organiser et de retenir l'information de manière consciente. Parmi celles-ci, citons par exemple le soulignement dans un texte, la prise de notes, la répétition d'un vocabulaire, la création de résumés ou de mindmaps. Or, seules, les stratégies cognitives ne sont toujours pas suffisantes. Apprendre demande également de savoir prendre du recul sur notre propre processus et d'en évaluer l'efficacité. C'est là qu'interviennent les stratégies métacognitives car celles-ci regroupent des stratégies de contrôle, d'évaluation et de régulation. Elles permettent donc à tout apprenant d'être attentif à sa propre pensée au moment où il exécute une tâche spécifique et de la contrôler grâce à cette conscience. Ces stratégies ne sont alors pas directement liées à l'acquisition de nouvelles connaissances, mais elles permettent d'éviter l'utilisation de stratégies inefficaces ou d'améliorer celles qui le sont. Cependant, la pensée métacognitive est difficilement accessible pour les adolescents. En effet, ces derniers sont encore en phase

de développement cognitif et cette maturation cérébrale inaboutie rend complexe l'auto-évaluation et l'ajustement de leurs méthodes d'apprentissage (Flavell, 1979). Cette difficulté est amplifiée par des facteurs comme le manque de recul sur leurs propres performances et par une tendance à sous-estimer (ou surestimer) leurs capacités (Veenman et Spaans, 2005). Pourtant, il existe un lien fort entre réussite scolaire et capacités métacognitives. C'est la raison pour laquelle aider les adolescents à développer leur métacognition représente un défi à chaque leçon. En outre, la capacité d'un apprenant à prendre du recul et à monitorer sa manière de travailler lui permet également de questionner ses stratégies motivationnelles. Ces dernières représentent toutes les actions entreprises dans le but de maintenir sa motivation ou de gérer ses émotions lors de l'apprentissage ou en amont de celui-ci. Dans le milieu scolaire, il est fréquent de constater chez les élèves un manque de motivation à s'impliquer dans les tâches qui leur sont proposées et à fournir les efforts nécessaires pour les accomplir. La motivation ne se résume pas au simple fait de vouloir quelque chose, mais plutôt aux efforts que l'on est prêt à fournir pour l'obtenir. De plus, un individu tend à travailler plus dur quand il ressent l'effet de la dopamine (Tradway et al., 2012 ; Wardle et al., 2011) qui agit alors comme un moteur. En effet, la dopamine étant un neurotransmetteur impliqué dans le système de récompense et du plaisir, ses

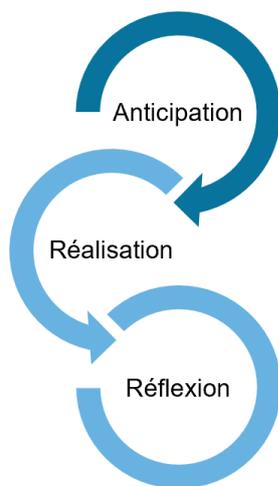
signaux renforcent les comportements liés à des récompenses positives, augmentant ainsi la motivation à poursuivre ces comportements à long terme. C'est pourquoi il est pertinent de mettre en place des stratégies permettant la libération de dopamine. Faire l'expérience de la maîtrise, travailler avec d'autres personnes, définir des buts à plus ou moins long terme ou encore s'octroyer de simples récompenses sont différentes pistes à explorer. A tout ceci s'ajoute le dernier type de stratégie : la gestion des ressources. Ces stratégies représentent la manière d'organiser son environnement de travail afin qu'il soit propice aux apprentissages, par exemple ranger sa chambre avant de se mettre au travail, aller à la bibliothèque, trouver des personnes de référence à qui poser ses questions, organiser un groupe d'étude, le matériel à utiliser, réaliser un horaire hebdomadaire, etc.

L'utilisation de toutes ces stratégies permet de mettre en évidence l'importance de l'apprentissage autorégulé car il permet l'autonomie et l'efficacité des élèves dans leurs études. Un tel apprentissage est associé à l'activité du système limbique et du cortex préfrontal qui jouent respectivement un rôle important dans la régulation émotionnelle et dans l'utilisation des fonctions cognitives supérieures. Effectivement, selon les différents travaux de Schunk, Greene et Usher (2018), l'autorégulation fait référence à la manière dont les apprenants activent et maintiennent systématiquement leurs cognitions, motivations, comportements et

affects, en vue d'atteindre leurs objectifs. Ceci leur permettant ainsi de s'adapter aux nouveaux défis et d'améliorer leur rendement scolaire. Le travail simultané de ces différentes aires cérébrales permet l'activation du cycle de l'autorégulation (Figure 4).

Figure 4

Cycle d'autorégulation



Note. Adapté de *Handbook of self-regulation of learning and performance* par Shunk et Greene, 2018, Routledge.

S'installe alors un cercle vertueux puisque le cerveau libère de la dopamine lorsque les élèves relèvent des défis ou réussissent dans leurs apprentissages. Cela renforce leur sentiment d'auto-efficacité, remonte leur estime personnelle et encourage une participation continue dans des activités d'apprentissage.

Bien que l'apprentissage autorégulé présente de nombreux avantages, dans la réalité les élèves peinent souvent à planifier efficacement leurs actions. Ils tendent à se

lancer directement dans les tâches sans anticipation, corrigeant au fur et à mesure si des erreurs surviennent, plutôt que d'adopter une approche plus méthodique. Ce manque de planification les amène à circuler de manière déstructurée entre les différentes phases du processus d'autorégulation, rendant parfois difficile l'identification des stratégies les plus adaptées à chaque situation (Zimmerman, 2002). Par conséquent, leur objectif devient souvent l'obtention d'une note acceptable, sans vraiment tirer des enseignements de l'expérience, et passant rapidement à la tâche suivante. Or, il est crucial que les élèves prennent conscience que leurs succès ou leurs échecs sont sous leur contrôle et dépendent de leur engagement dans le processus d'apprentissage. Ce manque de planification et d'anticipation chez les adolescents est expliqué en partie par la prédominance des stratégies heuristiques dans leur raisonnement (, 1997), c'est-à-dire des solutions rapides et intuitives provenant de pensées automatiques, au détriment de stratégies plus rigoureuses et méthodiques, dites algorithmiques. Toutefois, selon Houdé, l'essentiel se concentre dans l'arbitrage entre ces deux systèmes : il est nécessaire d'inhiber le raisonnement heuristique pour faire place à une approche algorithmique plus réfléchie, et vice versa. Si cette compétence est essentielle, Houdé relève néanmoins qu'elle reste un défi important pour les élèves, car elle exige une flexibilité cognitive qu'ils n'ont pas toujours

pleinement développée à ce stade (Houdé, 2000).

On comprend dès lors plus facilement le défi réel que cela représente pour l'enseignement. En effet, il existe une différence notable entre les principes théoriques de l'apprentissage autorégulé et leur mise en pratique dans les classes. Enseigner aux élèves à planifier, inhiber des stratégies inadaptées et transférer leurs compétences à d'autres domaines exige non seulement un soutien pédagogique spécifique, mais également une prise en compte de leurs propres limites cognitives. La tâche des enseignants consiste alors à leur fournir des outils concrets à utiliser ainsi qu'à les accompagner dans la manipulation de ces concepts permettant le développement de telles compétences.

Méthodologie

Les mathématiques constituent une composante importante dans le parcours d'un élève. En effet, les programmes scolaires intègrent l'apprentissage des mathématiques dès le plus jeune âge et au moins jusqu'à la fin du parcours gymnasial. Si les premières années d'école primaire permettent d'approcher les mathématiques de manière ludique, les années d'école au secondaire ouvrent les portes de l'abstrait en définissant progressivement les mathématiques de manière conceptuelle,

notamment grâce à l'introduction de l'algèbre. S'installe alors une continuité dans les apprentissages, de sorte que la construction pyramidale des savoirs²³ représente un défi pour les adolescents. De plus, l'apprentissage des mathématiques ne se limite pas à la résolution de problèmes complexes ou à l'intégration de "règles de calcul" qu'il s'agirait de restituer après les avoir apprises par cœur ; il s'agit surtout de favoriser le développement d'une pensée critique et logico-déductive, et également de travailler la capacité à aborder les défis avec confiance et persévérance. Cependant, de nombreux adolescents rencontrent des difficultés grandissantes dans l'apprentissage de cette matière, entravant alors leur estime de soi, leur motivation et, par conséquent, la qualité de leurs apprentissages. Comprendre les enjeux neurologiques et psychologiques liés aux apprentissages mathématiques est donc crucial si l'on souhaite soutenir et accompagner les adolescents dans leur parcours éducatif.

Ce travail de recherche permettra alors un *pas de recul* et une exploration des raisons pour lesquelles les apprentissages en mathématiques sont souvent difficiles et peu profitables chez les adolescents âgés de 15 à 19 ans. En effet, les observations initiales montrent que ces élèves perçoivent souvent leurs capacités en mathématiques comme limitées et immuables, ce qui

²³ Toute nouvelle notion se construit sur la précédente, ainsi des lacunes antérieures entravent les apprentissages futurs.

affecte leur motivation et leur performance. L'objectif principal sera de comprendre les mécanismes sous-jacents à ces difficultés et d'aider les élèves à développer des stratégies d'apprentissage nouvelles et efficaces, fondées sur une meilleure compréhension de leur propre fonctionnement cognitif. La problématique autour de laquelle ce travail s'inscrit également dans la poursuite de cet objectif, puisque comprendre ces mécanismes permettra d'installer progressivement une pratique nouvelle qui encouragera l'autodétermination des adolescents dans leurs processus d'apprentissage des mathématiques.

Ce travail s'appuie par conséquent sur le socle théorique présenté dans les parties précédentes, qui mettent en avant les éléments relatifs aux neurosciences et à la période spécifique de l'adolescence. De plus, la partie concernant la recherche appliquée sera structurée autour de quatre ateliers pratiques et complémentaires réalisés en classe. Ces ateliers permettront aux élèves de découvrir les neurosciences, de conscientiser des processus par eux-mêmes et à propos de leurs camarades de classe, de réfléchir sur leurs pratiques d'étudiants et d'acquérir des ressources essentielles pour aborder les mathématiques de manière plus positive et efficace.

Afin d'établir au préalable une analyse cohérente de la situation, les élèves répondront à un sondage spécifique à propos de

leur relation aux mathématiques avant la mise en place du projet en classe. Ce sondage est réalisé sur la base de l'étude menée par Genoud et Guillod en 2014, base qui propose une structure selon trois processus sous-jacents aux attitudes (registres cognitif, affectif et comportemental) et qui comprend également une mesure normative. Ce questionnaire recense huit dimensions mesurant les perceptions individuelles suivantes : utilité, sentiment de compétence, contrôlabilité, affects positifs et négatifs ressentis, régulation affective, investissement, ainsi que masculinité des maths. Une fois les ateliers réalisés, un nouveau sondage leur sera distribué afin d'observer si une évolution a eu lieu.

Ce sondage sera distribué à une classe de 20 élèves (3^{ème} math standard). Les ateliers s'inscriront dans le cadre des cours de mathématiques et seront conçus pour être engageants, permettant aux élèves de mettre directement en application ce qu'ils apprennent à leurs études en mathématiques. Ils viseront donc non seulement à améliorer leurs compétences mathématiques, mais aussi à leur fournir un bagage supplémentaire durable pour leur futur parcours académique.

Mise en pratique

Quatre ateliers pratiques et un atelier volant ont été conçus pour offrir aux élèves une première approche des neurosciences et une nouvelle compréhension de leur processus d'apprentissage. Ces ateliers visent

à rendre quelques concepts tirés des neurosciences accessibles et applicables en classe, tout en favorisant la réflexion et l'autonomie des élèves. Ils seront basés sur des activités tantôt interactives, tantôt individuelles, utilisant des outils variés tels que des exercices de réflexion, des petits jeux éducatifs et des discussions de groupe. Elles permettront aux élèves de découvrir le fonctionnement de leur cerveau, d'expérimenter des techniques de mémorisation et de gestion du temps, d'explorer leur propre processus d'apprentissage grâce à une posture réflexive, et de mettre en place des stratégies d'apprentissage concrètes qui leur correspondent.

Ces expériences apporteront non seulement une meilleure compréhension de leurs difficultés en mathématiques mais renforceront aussi leur confiance et leur autonomie, les transformant progressivement en acteurs proactifs de leur parcours éducatif plutôt qu'en victimes de leurs difficultés.

Cependant, changer le circuit des habitudes ne se fait pas instantanément. C'est pourquoi l'intégration et l'utilisation des notions apprises lors de ces ateliers nécessiteront d'être observées sur une large période de temps. Or, le contexte²⁴ dans lequel ce projet est mené ne bénéficiant pas du laps de temps escompté, il ne permettra

donc certainement pas de tirer des conclusions généralisables mais il visera à mettre en lumière une tendance, que j'espère encourageante, ouvrant ainsi une porte sur de nouveaux outils pédagogiques à exploiter en classe.

Atelier 1 : Découverte des neurosciences

Ce premier atelier a pour but d'introduire les élèves au rôle et au fonctionnement de leur cerveau, notamment en s'appuyant sur le modèle PRESENCE. Une présentation didactique des principales structures cérébrales responsables des apprentissages (notamment l'hippocampe, l'amygdale et le cortex préfrontal) permettra de poser les bases pour comprendre comment les informations sont traitées et stockées.

Puis, une discussion en groupes autour des neuromythes permettra de déconstruire certaines idées reçues sur les capacités cérébrales. Cela s'accompagnera d'un quizz sur des faits et chiffres neuroscientifiques, renforçant l'aspect ludique et interactif de l'atelier.

Atelier 2 : Introduction à la mémoire

Le deuxième atelier porte sur les différents types de mémoires, leur rôle et la manière dont elles interagissent. Nous explorerons la distinction entre la mémoire à court terme et la mémoire à long terme et comment cette dernière est consolidée à travers des

²⁴ Le projet est mené en dernière année du cursus gymnasial impliquant des contraintes de temps et de matière à enseigner en vue des examens de fin de formation. Il serait certainement préférable de proposer un tel projet à des élèves de première année, que l'on peut suivre sur la totalité

de leur cursus. En effet, cette durée permettrait un meilleur ancrage des neurosciences dans la pratique de l'enseignant et des élèves ainsi qu'un meilleur suivi auprès de ceux-ci.

processus tels que la répétition espacée et la révision active, processus essentiels pour garantir la rétention des informations.

Pour illustrer ces concepts de manière concrète, deux exercices de mémorisation seront proposés, suivis d'un partage de différentes techniques mentales de mémorisation. Cela mènera les élèves à une activité individuelle de création de *flashcards*. En effet, Ebbinghaus a étudié la manière dont les souvenirs s'effacent avec le temps et a formulé la célèbre « courbe de l'oubli ». Cette courbe montre que l'information mémorisée est rapidement oubliée si elle n'est pas révisée, et que l'oubli suit une progression exponentielle (décroissante). Selon cette loi, après avoir appris quelque chose, une grande partie de l'information est oubliée dans les heures qui suivent, sauf si des efforts de révision et de consolidation sont réalisés. Ebbinghaus a également mis en évidence que la répétition espacée permet de contrer cette tendance naturelle à l'oubli, rendant ainsi la mémorisation plus durable. En combinant cette approche avec des techniques de récupération récurrente, efficace et espacée, il est alors possible de renforcer la rétention à long terme (Gerbier & Koenig, 2015). Les *flashcards* semblent donc représenter un excellent moyen de mettre cela en pratique.

Les élèves créeront des cartes sur des sujets mathématiques de leur choix, qu'ils réviseront au moins deux fois par semaine à raison de dix minutes au début de chaque

cours de mathématiques en suivant un plan d'espacement défini en cinq phases. Cette approche permettra d'ancrer les apprentissages dans la mémoire à long terme de manière active.

Atelier 3 : Comment le cerveau apprend-il ?

Le troisième atelier vise à expliquer les mécanismes d'apprentissage du cerveau, en insistant sur les notions de plasticité cérébrale, d'élagage synaptique et de renforcement des connexions neuronales. En effet, pour apprendre, mémoriser ne suffit pas. Il est nécessaire de comprendre et de relier ce qu'on assimile à d'autres connaissances déjà acquises, générant ainsi des réseaux de neurones solides. Nous mettrons l'accent sur les rôles différents mais complémentaires des modes *concentré* et *diffus* du cerveau lors des apprentissages ainsi que sur la manière dont cela se matérialise lorsque l'on résout des exercices de mathématiques (Oakley & Schewe, 2021).

Un moment de discussion par groupes selon une liste de questions bien choisies, suivra cette présentation (Annexe 3). L'objectif de cette discussion est de permettre aux élèves de réfléchir et d'échanger sur leurs propres pratiques d'apprentissage, de questionner leur conscience et leur libre-arbitre dans celles-ci.

Atelier 4 : Stratégies d'apprentissage

Ce dernier atelier consistera à exposer les quatre types de stratégies d'apprentissage : cognitives, métacognitives et

motivacionnelles ainsi que la gestion des ressources. Nous évoquerons également l'importance du sommeil dans la consolidation des connaissances et parlerons de quelques outils de mise en pratique tels que la méthode *pomodoro*²⁵ à utiliser à la maison ou la méthode *Hard Start*²⁶ à utiliser lors d'un test, mais aussi comment fixer des objectifs grâce à la méthode SMART²⁷.

Pour encourager les élèves à pratiquer la métacognition, un carnet de bord sera distribué (Annexe 4). Ce carnet invite les élèves à documenter leurs états émotionnels, leur motivation et leurs apprentissages après chaque cours de mathématiques, en les guidant vers une réflexion sur leurs habitudes et leur efficacité. Ce moyen d'introspection vise à favoriser l'auto-régulation, qui est un facteur clé de réussite scolaire (Zimmerman, 2002).

Atelier volant : Les défis de la semaine

Pour clôturer le projet, des cartes défis ont été créées pour encourager les élèves à être acteurs et actrices de leurs apprentissages au-delà de leur engagement en classe. Ils représentent des objectifs clairs et atteignables par les élèves et intègrent les stratégies vues en classe pour un apprentissage durable (Annexe 5). Ils incluent, par exemple, des actions telles que marcher 30 minutes par jour, se coucher avant 22h ou encore relire le cours de math

avant de venir en classe. Ce type de défi repose sur l'activation du système de la récompense, notamment via la dopamine. En effet, la dopamine renforce les comportements gratifiants et augmente la motivation intrinsèque (Schultz, 2007).

Conclusion

Le but de ce travail était de comprendre les enjeux liés aux apprentissages des mathématiques chez les adolescents âgés de 15 à 19 ans en formation au post-obligatoire. Dans un premier temps, il aborde une question cruciale dans l'enseignement des mathématiques, question plus spécifiquement liée à la perception des élèves vis-à-vis de leurs compétences. Puis, dans un deuxième temps, il développe l'idée que la compréhension du fonctionnement cérébral ainsi que celle des stratégies d'apprentissage peut transformer cette perception. L'intégration, à bon escient, des neurosciences dans l'enseignement peut ainsi fournir une base scientifique valable pour les pratiques pédagogiques et permettre aux enseignants de considérer une nouvelle perception des difficultés d'apprentissage de leurs élèves.

Cette recherche a été élaborée autour de la problématique suivante : « Dans quelle mesure peut-on favoriser l'autodétermination des adolescents et, par conséquent,

²⁵ Une session *pomodoro* aide à renforcer la concentration et consiste à fixer sur un minuteur la durée (25') durant laquelle on souhaite travailler intensément. Une fois la session écoulee, on s'octroie une pause (5') avant d'enchaîner une nouvelle session si nécessaire.

²⁶ La méthode *Hard Start* tire profit du mode diffus en le laissant travailler en arrière-plan sur un problème plus difficile pendant que l'on résout les problèmes plus faciles.

²⁷ SMART = Spécifique, Mesurable, Ambitieux, Réaliste, Temporellement défini

enclencher un processus vertueux permettant la consolidation d'apprentissages mathématiques passés tout en favorisant ceux à venir ? ». Son élaboration a permis de proposer aux élèves quatre ateliers progressifs conçus spécifiquement afin de leur apporter des outils concrets et de leur permettre de s'engager différemment dans leur apprentissage des mathématiques. A la fin du projet, les retours des élèves (par le biais d'un sondage final) permettent de tirer deux conclusions concernant la mise en pratique proposée. Nous constatons tout d'abord un fort intérêt de leur part pour les sujets abordés, tant sur le fond que sur la forme (cours plenum, quiz, discussions, activités), mais ensuite nous observons une forme de désintérêt lorsqu'il s'agit de réfléchir activement sur ses pratiques personnelles en faisant preuve de métacognition. En effet, l'utilisation du carnet de bord permettant cette réflexion n'a pas vraiment été utilisé, notamment par oubli et par manque d'intérêt pour celui-ci. Toutefois ces résultats sont à interpréter avec prudence puisque moins de la moitié de la classe a répondu au sondage, ce qui représente sans aucun doute une limite importante de cette recherche.

D'autres facteurs limitants sont aussi à relever. Tout d'abord, la taille de l'échantillon est trop petite et rend difficile la généralisation des résultats, tant dans le contexte des mathématiques que dans celui d'autres disciplines. De plus, sur un groupe-classe de 20 élèves, seuls 14 ont souhaité répondre

au sondage initial. Ensuite, le projet a été mené sur une période très courte. Il serait intéressant de voir les effets sur une plus longue durée afin d'évaluer la pérennité des changements observés chez les élèves. Enfin, les effets du projet sur le long terme ainsi que l'évolution des élèves après la fin de l'expérience ne sont pas encore mesurables. C'est pourquoi il est, à ce stade, difficile de répondre aux hypothèses avancées en début de document. Un suivi sur plusieurs mois, voire plusieurs années, permettrait de mieux comprendre l'impact réel des neurosciences sur l'apprentissage des mathématiques ou de toute autre discipline enseignée.

En revanche, les parties théorique et pratique de ce travail permettent de clarifier les relations entre les neurosciences et l'éducation et offrent aux enseignants des pistes d'action pour changer leur pratique pédagogique. En effet, si l'on observe un changement dans la perception des élèves face aux mathématiques, aussi modeste soit-il, cela pourrait encourager l'utilisation des neurosciences dans le milieu de l'enseignement pour redonner confiance aux élèves dans cette matière souvent perçue comme difficile. Pour terminer, notons encore qu'il serait pertinent d'inclure les neurosciences dans la formation de base des enseignants. En effet, cette démarche leur permettrait de mieux mesurer l'impact des processus cognitifs de leurs élèves sur les apprentissages scolaires et permettrait d'orienter leur enseignement vers des stratégies

adaptées. Afin d'élargir le champ des résultats, il serait également intéressant d'observer l'influence des facteurs environnementaux sur les apprentissages des élèves. En effet, l'organisation de sessions d'introduction aux neurosciences dédiées aux parents d'élèves permettrait de renforcer le lien école-famille ainsi que le soutien à la maison. Cette piste n'a finalement pas été explorée dans ce travail pour des questions de faisabilité. Enfin, à plus large échelle, l'extension de ce projet à d'autres disciplines scolaires pourrait également augmenter son impact global sur l'éducation des élèves.

Note Article édité par Madame Jade Vouilloz, département de psychologie clinique et de la santé, Université de Fribourg, jade.vouilloz@unifr.ch

Références

- Baird, B., Smallwood, J., Mrazek, M. D., Kam, J. W., Franklin, M. S., & Schooler, J. W. (2012). Inspired by distraction: Mind wandering facilitates creative incubation. *Psychological Science*, 23(10), 1117-1122.
- Bastin, C. (2018). Le réseau cérébral par défaut : un repos qui n'en est pas un. *Revue de neuropsychologie*, 10, 232-238. <https://doi.org/10.1684/nrp.2018.0469>
- Baum, G. L., Ciric, R., Roalf, D. R., Betzel, R. F., Moore, T. M., Shinohara, R. T., Kahn, A. E., Vandekar, S. N., Rupert, P. E., Qarmlay, M., Cook, P. A., Elliott, M. A., Ruppel, K., Gur, R. E., Gur, R. C., Bassett, D. S., & Satterthwaite, T. D. (2017). Modular Segregation of Structural Brain Networks Supports the Development of Executive Function in Youth. *Current biology: CB*, 27(11), 1561–1572.e8. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.051>
- Becquet, C., Eustache, F. & Quinette, P. (2020). Étudier la conscience en neuropsychologie : utiliser la polysémie du concept pour définir les processus conscients. *Revue de neuropsychologie*, 12, 308-317.
- Belleau, J. (2015). Neuropédagogie : cerveau, intelligences et apprentissage. <https://core.ac.uk/download/pdf/52976113.pdf>
- Cenas Médecine du sommeil. (2022) *De combien d'heures de sommeil ai-je vraiment besoin ?* <https://www.cenas.ch/hygiene-du-sommeil/de-combien-dheures-de-sommeil-ai-vraiment-besoin/>
- Chi, M. T. H. (2009). Active-Constructive-Interactive: A conceptual framework for differentiating learning activities. *Cognitive Science*, 1, 73-105. doi.org/10.1111/j.1756-8765.2008.01005.x
- Conway, MA. & Pleydell-Pierce, CW. (2001). The Construction of Autobiographical Memories in the Self-Memory System. *Psychology Review*, 107, 261-88. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.107.2.261>
- Crettenand, G.V. (2023). *Promouvoir la santé psychique des jeunes de 16 à 25 ans*. SantéPsy.ch. <https://santepsy.ch/wp->

content/uploads/2023/11/santepsy_cahier_16-25ans..pdf

- Damasio A. R. (1989). Time-locked multiregional retroactivation: a systems-level proposal for the neural substrates of recall and recognition. *Cognition*, 33(1-2), 25–62. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(89\)90005-x](https://doi.org/10.1016/0010-0277(89)90005-x)
- Daskalakis, N. P., Bagot, R. C., Parker, K. J., Vinkers, C. H., & de Kloet, E. R. (2013). The three-hit concept of vulnerability and resilience: toward understanding adaptation to early-life adversity outcome. *Psychoneuroendocrinology*, 38(9), 1858–1873. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2013.06.008>
- Dayan, J. & Guillery-Girard, B. (2011). Conduites adolescentes et développement cérébral : psychanalyse et neurosciences. *Adolescence*, 77(3), 479-515. <https://doi.org/10.3917/ado.077.0479>
- Dehaene, S. & Naccache, L. (2001). Towards a cognitive neuroscience of consciousness: Basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, 79(1-2), 1–37. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(00\)00123-2](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(00)00123-2)
- Dehaene, S., Charles, L. (2014). Toward a computational theory of conscious processing. *Current Opinion in Neurobiology*, 25, 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2013.12.005>
- Dehaene, S., Kerszberg MK., Changeux, C. (1998). A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks. *Proc Natl Acad Sci USA*, 95, 14529-34. <https://doi:10.1073/pnas.95.24.14529>
- Dietrich, A. (2003). Functional neuroanatomy of altered states of consciousness: The transient hypofrontality hypothesis. *Conscious Cogn*, 12, 231-56. [https://doi:10.1016/s1053-8100\(02\)00046-6](https://doi:10.1016/s1053-8100(02)00046-6)
- Ebbinghaus, H. (1885). *Über das gedächtnis: untersuchungen zur experimentellen psychologie*. Duncker & Humblot.
- Fahim, C. (2022). PRESENCE d'une Prédiposition : Premier épisode d'une série de huit épisodes sur le cerveau. *Cortica*, 1(2), 464-492. doi.org/10.26034/cortica.2022.3344
- Fahim, C. (2022). PRESENCE enracinée dans le cerveau par une prédisposition génétique et tissée par l'épigénétique. *Cortica*, 1(1), 1-3. doi.org/10.26034/cortica.2022.1779
- Fahim, C. (2023). PRESENCE DE RÉSEAUX DE NEURONES : OÙ EST LE PLAN POUR NE PAS SE PERDRE DANS L'IMMENSITÉ DE CETTE FORÊT ? Deuxième épisode d'une série de huit épisodes sur le cerveau. *Cortica*, 2(1), 1-9. doi.org/10.26034/cortica.2023.37936
- Fahim, C. (2024). L'Élagage synaptique. *Cortica*, 3(2), 1-20. <https://doi.org/10.26034/cortica.2024.6091>
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–

- developmental inquiry. *American Psychologist*, 34, 906–911.
<https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906>
- Futura-science. (2024, 31 mars). *Cortex pré-frontal : qu'est-ce que c'est ?*
<https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/corps-humain-cortex-prefrontal-15736/>
- Gaillard, N. (2024). CAS en neuroscience de l'éducation fondements et pratiques. *Cortica*, 3(1), 355-388.
<https://doi.org/10.26034/cortica.2024.4>
- Genoud P., Guillod M. (2014). Développement et validation d'un questionnaire évaluant les attitudes socio-affectives en maths. *Recherches en éducation*, 20(20), 140-156
- Gerbier, E., Koenig, O. (2015). Comment les intervalles temporels entre les répétitions d'une information en influencent-ils la mémorisation ? Revue théorique des effets de pratique distribuée. *L'Année psychologique* 115(03):1-28
- Giordan, A. (1998). *Apprendre !* Belin.
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., Nugent, T. F., 3rd, Herman, D. H., Clasen, L. S., Toga, A. W., Rapoport, J. L., & Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(21), 8174–8179.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>
- Gomes, G. (2007). Free will, the self, and the brain. *Behav Sci Law*, 25(2), 221-34.
<https://doi.org/10.1002/bsl.754>
- Houdé, J. (2000). *Inhibition and cognitive development: Object, number, categorization, and reasoning*. *Cognitive Development*, 15(1), 63-73.
[https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(00\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(00)00015-0)
- Houdé, O. (2011). L'intelligence se construit par l'inhibition. *La recherche*, 457, 48-51.
- Houdé, O. (2019). *3-system theory of the cognitive brain: A post-piagetian approach*. Routledge.
<https://doi.org/10.3917/anpsy.153.0435>
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1965). Receptive fields and functional architecture in two nonstriate visual areas (18 and 19) of the cat. *Journal of Neurophysiology*, 28(2), 229–289.
- Labonté, B. & Turecki, G. (2012). Épigénétique : un lien entre l'environnement et le génome. *Santé mentale au Québec*, 37(2), 31–44. <https://doi.org/10.7202/1014943ar>
- Lavoie, R. (2001). Résumé et adapté de Saint-Pierre, L. (1993), « Quoi faire pour que les élèves étudient mieux et davantage » et L'étude et les stratégies d'apprentissage (1991), dans *Pédagogie collégiale*.
- Leisman G, et al. (2012). Intentionality and "free-will" from a neurodevelopmental

- perspective. *Frontier in Integrative Neuroscience*, 6, 36. <https://doi.org/10.3389/fnint.2012.00036>
- Liu, S., Li, A., Zhu, M., Li, J. & Liu, B. (2018). Genetic influences on cortical myelination in the human brain. *Genes, Brain & Behavior*, 18(4), e12537. <https://doi.org/10.1111/gbb.12537>
- Matsuzawa, J., Matsui, M., Konishi, T., Noguchi, K., Gur, R. C., Bilker, W., & Miyawaki, T. (2001). Age-related volumetric changes of brain gray and white matter in healthy infants and children. *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 11(4), 335–342. <https://doi.org/10.1093/cercor/11.4.335>
- McEwen, B., et al. (2016). Stress Effects on Neuronal Structure: Hippocampus, Amygdala, and Prefrontal Cortex. *Neuropsychopharmacology*, 41, 3–23. doi:10.1038/npp.2015.171
- Merzenich, M. M., Kaas, J. H., Wall, J., Nelson, R. J., Sur, M., & Felleman, D. (1983). Topographic reorganization of somatosensory cortical areas 3b and 1 in adult monkeys following restricted deafferentation. *Neuroscience*, 8(1), 33–55. [https://doi.org/10.1016/0306-4522\(83\)90024-6](https://doi.org/10.1016/0306-4522(83)90024-6)
- Namkung, H., Kim, SH. & Sawa, A. (2017). The Insula: An Underestimated Brain Area in Clinical Neuroscience, Psychiatry, and Neurology. *Trends in Neurosciences*, 40(4), 200-207. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2017.02.002>
- Neniskyte U. & Gross, CT. (2017). Errant gardeners: glial-cell-dependent synaptic pruning and neurodevelopmental disorders. *Nature Review Neuroscience*. 18(11), 658-670. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.110>
- Neuromedia. (2021, 21 février). *Cervelet, anatomie, fonctions et troubles associés*. <https://www.neuromedia.ca/cervelet-anatomie-fonctions-et-troubles/>
- Oakley, B. & Schewe, O. (2021). *Apprendre vite et bien*. FIRST.
- OpenAI. (2023). *ChatGPT* (Mar 14 version) [Large language model]. <https://chat.openai.com/chat>
- Paillard, J. (1999). Dialogues sensori-moteurs et représentation mentale : un problème d'interface. *Psychologie et cerveau*, 19-52. <https://doi.org/10.3917/puf.se-ron.1990.01.0019>
- Paillard, J.(1990) . Dialogues sensori-moteurs et représentation mentale : un problème d'interface. Dans Seron, X.(dir.), *Psychologie et cerveau*. (p. 19 -52). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.se-ron.1990.01.0019>.
- Park, H.J. & Friston; K. (2013). Structural and Functional Brain Networks: From Connections to Cognition. *Science*, 342,1238411. <https://doi.org/10.1126/science.1238411>
- Park, N., Peterson, C. & Seligman, MEP. (2004). Strengths of character and well-being. *Journal of Social and Clinical*

- Psychology*, 23(5), 603–619. doi.org/10.1521/jscp.23.5.603.50748
- Poldrack, RA. (2010). Interpreting developmental changes in neuroimaging signals. *Hum Brain Mapp*, 31(6), 872-8. <https://doi.org/10.1002/hbm.21039>
- Rothbart, M. K., & Bates, J. E. (1998). Temperament. Dans W. Damon & N. Eisenberg (Ed.), *Handbook of child psychology: Social, emotional, and personality development* (5th ed., pp. 105–176). John Wiley & Sons, Inc..
- Sakai, J. (2020). Core Concept: How synaptic pruning shapes neural wiring during development and, possibly, in disease. *PNAS USA*, 117(28), 16096-16099. <https://doi.org/10.1073/pnas.2010281117>
- Sánchez Andres, J., Viosca, J. & Ramón Alonso, J., (2024). *Notre cerveau, la mémoire et les émotions*. Glénat.
- Sander, E., Gros, H., Gvozdic, K. & Scheibling-Seve, C. (2018). *Les neurosciences en éducation*. Retz.
- Schultz, W. (2007). Behavioral dopamine signals. *Trends in Neurosciences*, 30(5), 203-210. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2007.03.007>
- Schunk, D. H., & Greene, J. A. (2018). Historical, contemporary, and future perspectives on self-regulated learning and performance. Dans D. H. Schunk & J. A. Greene (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp. 1–15). Routledge.
- Seeley, W. W., Menon, V., Schatzberg, A. F., Keller, J., Glover, G. H., Kenna, H., Reiss, A. L., & Greicius, M. D. (2007). Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 27(9), 2349–2356. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5587-06.2007>
- Smith, A.R., Rosenbaum, G.M., Botdorf, M.A., et al. (2018). Peers influence adolescent reward processing, but not response inhibition. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 18, 284–295. <https://doi.org/10.3758/s13415-018-0569-5>
- Sowell, ER., Peterson, BS., Thompson, PM., Welcome, SE., Henkenius, AL., Toga, AW. (2003). Mapping cortical change across the human life span. *Nat Neurosci*, 6(3), 309-15. [https://doi.org/ 10.1038/nn1008](https://doi.org/10.1038/nn1008)
- Tu, et al., (2018). The Adhesion-GPCR BAI1 Promotes Excitatory Synaptogenesis by Coordinating Bidirectional Trans-synaptic Signaling. *The Journal of Neuroscience*, 38(39), 8388-8406. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6158688/pdf/zns8388.pdf>
- Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Psychology*, 26(1), 1–12. doi.org/10.1037/h0080017
- Tulving, E. (1995). Organization of memory: Quo vadis? In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences*, 839–853. The MIT Press.

- Van den Heuvel, MP. & Sporns, O. (2011). Rich-club organization of the human connectome. *J Neurosci*, 31(44):15775-86. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3539-11.2011>
- Vanacker, C., Bouret, S., Giacobini, P. & Prévot, V. (2021). Signalisation impliquant la neuropeptide dans les neurones sécrétant la GnRH. Son rôle dans le déclenchement de la puberté. *Med Sci*, 366-371. <https://doi.org/10.1051/medsci/2021035>
- Veenman, M. V. J., & Spaans, M. A. (2005). Relation between intellectual and metacognitive skills: Age and task differences. *Learning and Individual Differences*, 15(2), 159-176. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2004.12.001>
- Vessel, E. A., Isik, A. I., Belfi, A. M., Stahl, J. L., & Starr, G. G. (2019). The default-mode network represents aesthetic appeal that generalizes across visual domains. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(38), 19155–19164. <https://doi.org/10.1073/pnas.1902650116>
- Vogel, AC., Power, JD., Petersen, SE., & Schlaggar, BL. (2010). Development of the brain's functional network architecture. *Neuropsychology Review*, 20(4), 362-375. <https://doi.org/10.1007/s11065-010-9145-7>
- Wardle, Margaret C. et al., (2011). Amping up effort: Effects of d-amphetamine on human effort-based decision-making. *Journal of Neuroscience*, 31(46),16597-602
- Zepeda, C. D., Nokes-Malach, T. J. (2020). Supporting student learning through metacognitive and motivational strategies. *Teaching + Learning Lab*. MIT. <https://tll.mit.edu/supporting-student-learning-through-metacognitive-and-motivational-strategies/>
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a Self-Regulated Learner: An Overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64–70. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2

Annexes

Annexe 1 : Modèle de Becquet et al.

Dans leur article *Etudier la conscience en neuropsychologie : utiliser la polysémie du concept pour définir les processus conscients*, Becquet, Eustache et Quinette (2020) invitent à voir la conscience et la mémoire sur le même continuum grâce à une dynamique et une hiérarchie des processus impliqués. En effet, en s'appuyant sur le modèle hiérarchique de la conscience de Dietrich (Dietrich, 2003), ainsi que sur le modèle de l'espace de travail neuronal global (GNW) de Dehaene²⁸ (Dehaene et al., 1998) et les modèles de mémoire²⁹ de Tulving (Tulving, 1995), ils redéfinissent et hiérarchisent les différents processus cognitifs impliqués dans la conscience en tant que processus de plus en plus intégrés et prenant appui sur ceux réalisés auparavant. Ainsi, plus les processus seraient hiérarchiquement élevés, plus ils intégreraient les processus précédents, leur permettant de complexifier progressivement le traitement des contenus. Le tableau ci-dessous recense l'ensemble des processus contribuant à la conscience selon les auteurs.

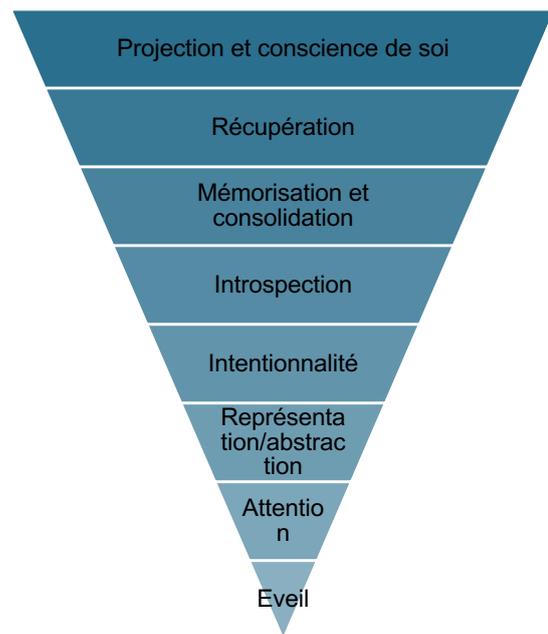


Figure 5 Représentation graphique de la hiérarchie des processus conscients (d'après Becquet et al., 2020)

²⁸ Le GNW décrit un « espace de travail » au sein duquel sont activés l'ensemble des processus (représentations, intentions, self, processus mnésiques, ...) qui permettent d'appréhender le soi et le monde à un instant précis.

²⁹ Tulving propose que le type de mémoire associé à chaque niveau de conscience prenne appui sur la précédente.

Annexe 2 : Modèle hiérarchique de la conscience de Dietrich

La conscience découlerait de fonctions cognitives de plus en plus élaborées et hiérarchiquement organisées, telles qu'illustrées dans la figure ci-dessous. Les processus impliqués sont alors de plus en plus perfectionnés au fur et à mesure du développement du cerveau.

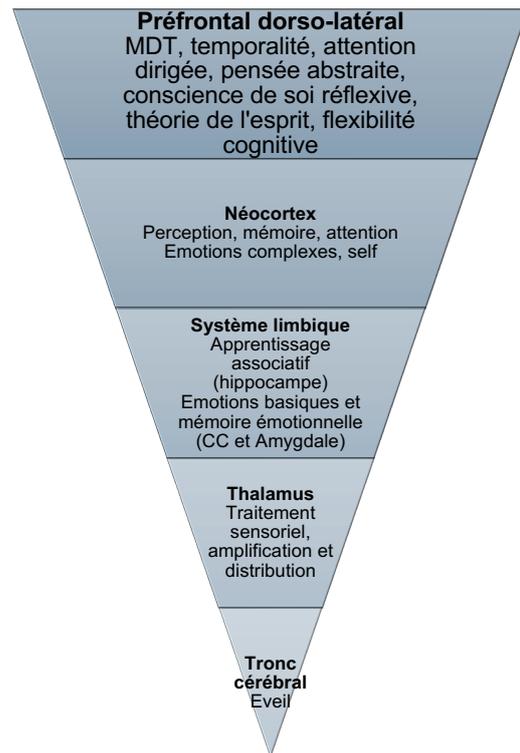


Figure 6 Représentation graphique du modèle hiérarchique de la conscience de Dietrich (Dietrich, 2003)

Annexe 3 : questions pour les discussions de groupe

Discussion sur vos apprentissages

- ① Quand vous travaillez, quel est votre niveau de concentration ?
- ② Quand vous n'arrivez pas à vous concentrer, cela est dû à ... ?
- ③ Quand vous sortez d'une période de concentration intense, comment est-ce que vous vous sentez ? (physiquement : maux de tête, fatigue, mal aux yeux, ... et mentalement: fier.ère, content.e, satisfait.e, frustré.e, ennuyé.e, ...)
- ④ Quel est votre comportement quand vous rencontrez des difficultés, en math ou dans une autre discipline ?
- ⑤ Repensez à la dernière fois où vous avez vécu une session de travail intense et efficace. Quels éléments étaient réunis ?
- ⑥ Dans quel type d'environnement préférez-vous travailler ?
- ⑦ Par quel(s) moyen(s) arrivez-vous à vous mettre au travail ?
- ⑧ Comment trouvez-vous la motivation de persévérer dans vos apprentissages ? (faire vos devoirs, venir en cours, écouter, réviser, anticiper, etc...)
- ⑨ Vous sentez-vous souvent "dans la lune" ?
- ⑩ Avez-vous déjà trouvé une solution à un problème (dans la vie, pas forcément scolaire) après avoir été vous promener ou après avoir laissé reposer le problème un certain temps, comme si la solution était apparue d'elle-même ?
- ⑪ Avez-vous déjà vécu la "ha-ha experience" ou le *déclic* ? Ce moment où vous comprenez une deuxième fois un concept et que vous avez conscience de votre propre compréhension. Si oui, comment cela s'est-il produit ?
Exemple : quelqu'un vous explique comment résoudre une équation. Vous lui répondez "ha oui ok j'ai compris", puis quand vous devez réfléchir à comment vous y prendre par vous-même, le déclic a lieu et laisse place à "haaaa ouiiiiis ok j'ai compris !"
- ⑫ Quelles sont, d'après vous, vos mauvaises habitudes qui entravent votre mise au travail, ou la qualité de vos apprentissages ?

Annexe 4 : état des lieux au début/fin de cours et bilan de la semaine

période de math

Date :

Motivation et concentration :

Humeur en arrivant :



.....
.....
.....

Humeur en partant :



.....
.....
.....

1 chose que j'ai apprise aujourd'hui :

Ce dont je suis reconnaissant.e :

1 chose que je n'ai pas comprise :

1 chose que j'aimerais améliorer au cours suivant :

ma semaine

Date :

Motivation et concentration :

Humeur de fin de semaine



.....
.....
.....
.....

3 choses dont je me souviens du cours de math :

.....
.....
.....

Concepts que je n'ai pas bien compris :

.....
.....
.....

Mes frustrations :

.....
.....
.....

Mes réussites et fiertés :

.....
.....
.....

Annexe 4 : exemples de défis



Organiser une
session de révisions
avec les copains



Affirmations positives :
< *je suis capable de ...* >

*A répéter à haute voix tous les matins
(et n'importe quand dans la journée!).*



Citer trois éléments
appris en cours de
math cette semaine
et les expliquer