

## IMAGERIE CÉRÉBRALE VS IMAGERIE COMPUTATIONNELLE : INTÉGRER LES NEUROSCIENCES DANS LA NUMÉRISATION DE L'ÉDUCATION\*

Euphrosyne EFTHIMIADOU<sup>1</sup>

10.52846/AUCPP.2023.2suppl.01

### Résumé

*L'alliance entre les neurosciences et l'éducation promeut de mieux analyser le processus d'apprentissage et d'enrichir les pratiques d'enseignement pour le rendre plus dynamique et efficace. D'une part, les neurosciences cognitives s'intéressent à notre comportement et éventuellement à notre mémoire ainsi qu'à l'acquisition de nos savoirs et de nos réflexes selon quatre facteurs (attention, engagement actif, retour d'information, consolidation), qui déterminent la vitesse et la facilité d'apprentissage (Dehaene, 2012). D'autre part, les neurosciences émotionnelles, étudient les interactions entre le cœur et la raison s'orientant vers une nouvelle neurobiologie du sentiment et du comportement social (Damasio, 2017).*

*Avec la numérisation progressive du contexte éducatif à l'époque postpandémique, il serait essentiel de se demander d'une part, dans quelle mesure la mise en application de nouveaux outils de communication et de collaboration permet de conditionner notre perception et de stimuler la mémorisation. D'autre part, on pourrait se pencher sur la cognition sociale dans les interactions en ligne sans négliger l'influence exercée par les outils technologiques non seulement sur la manière de penser, mais encore sur notre équilibre mental. Enfin, il s'avère important de porter un regard sur l'avenir des neurosciences computationnelles et l'Intelligence Artificielle comme le Chatbot Generative Pre-trained Transformer (ChatGPT) et ou même le projet Cerebro, une méthode innovante pour l'imagerie de l'activité cérébrale en vue de faire le lien entre les neurosciences (qui permettent de comprendre le cerveau) et des stratégies concrètes (qui permettent d'aider à apprendre) (Brault Foisy, Masson, 2022, <https://doi.org/10.26034/cortica.2022.1956>).*

**Mots-clés :** *Imagerie Cérébrale ; Neurosciences Cognitives ; Émotionnelles et Computationnelles ; Cognition Sociale ; Intelligence Artificielle ; Numérisation de l'Éducation.*

---

\*This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited. Authors retain the copyright of this article.

<sup>1</sup> Professor PhD, Department of Aeronautical Sciences, Hellenic Air Force Academy, Dekeleia, Greece, e-mail address: [efrosin13@yahoo.com](mailto:efrosin13@yahoo.com)

## BRAIN IMAGING VS. COMPUTATIONAL IMAGING: INTEGRATING NEUROSCIENCE INTO THE DIGITIZATION OF EDUCATION

### **Abstract**

*The alliance between neuroscience and education promotes better analysis of the learning process and enriching teaching practices to make it more dynamic and effective. On the one hand, cognitive neuroscience is concerned with our behavior and eventually our memory as well as the acquisition of our knowledge and reflexes according to four factors (attention, active engagement, feedback, consolidation), which determine the speed and facility of learning (Dehaene, 2012). On the other hand, emotional neuroscience studies the interactions between the heart and reason, moving towards a new neurobiology of feeling and social behavior (Damasio, 2017).*

*With the increasing digitization of the educational context in the post-pandemic era, it would be essential to consider, on the one hand, to what extent the implementation of new communication and collaboration tools makes it possible to condition our perception and stimulate memorization. On the other hand, we can get a look at social cognition in online interactions without neglecting the influence exerted by technological tools not only on the way of thinking but also on our mental balance. Finally, it is important to take a look at the future of computational neuroscience and Artificial Intelligence such as the Chatbot Generative Pre-Trained Transformer (ChatGPT) and even the Cerebro project, an innovative method for imaging brain activity with a view to linking neuroscience (for understanding the brain) and concrete strategies (for helping to learn) (Brault Foisy L.-M., Masson S., 2022, <https://doi.org/10.26034/cortica.2022.1956>).*

**Key words:** *Brain Imaging; Cognitive; Emotional and Computational Neuroscience; Social Cognition; Artificial Intelligence; Digitization of Education.*

### **1. Introduction**

A l'époque postpandémique, le domaine éducatif s'enrichit par l'intégration du numérique dans toutes les étapes de l'apprentissage. Sous cet aspect, de nouveaux outils de communication et de collaboration en ligne ont fait leur apparition dans le but de favoriser les échanges mutuels parmi les actants de l'éducation. Parallèlement, les récents progrès en informatique ont été pionniers en neuro-imagerie tout en creusant le domaine de neuro-informatique par l'innovation dans les techniques utilisées d'imagerie cérébrale. En effet, des technologies de plus en plus avancées permettent de gagner en résolution en vue d'analyser les mécanismes complexes du cerveau.

Les neurosciences ont creusé le contexte éducatif et visent à introduire de techniques variées en neuro-imagerie allant de la neuro-imagerie structurelle et fonctionnelle jusqu'à l'imagerie multimodale par l'intégration de techniques computationnelles. Ainsi, les progrès récents sur l'imagerie cérébrale permettent de détecter le mécanisme cérébral pour étudier le processus cognitif et, plus

spécialement, le rôle de la mémoire, mais aussi les réactions comportementales lors du processus d'apprentissage. Sous cet aspect, on va d'une part se demander dans quelle mesure les neurosciences cognitives s'intéressent à notre comportement et éventuellement à notre mémoire ainsi qu'à l'acquisition de nos savoirs et de nos réflexes selon quatre facteurs (attention, engagement actif, retour d'information, consolidation), qui déterminent la vitesse et la facilité d'apprentissage (Dehaene, 2012). D'autre part, on va aborder les neurosciences émotionnelles, afin d'étudier la place primordiale des émotions dans les tâches à entreprendre et, spécialement, les interactions entre le cœur et la raison s'orientant vers une nouvelle neurobiologie du sentiment et du comportement social (Damasio, 2017).

Vu que le décryptage du fonctionnement du cerveau se réalise à l'aide de techniques sophistiquées, on va se pencher sur les recherches originales en neuro-imagerie et en neuro-informatique, qui permettent de conditionner notre perception tout en stimulant la mémorisation. De plus, il ne faudrait pas négliger l'impact de la cognition sociale dans les interactions en ligne pour exercer une influence forte sur notre mentalité et sur notre équilibre mental. Enfin, on va s'interroger sur l'avenir des neurosciences computationnelles et de l'Intelligence Artificielle par la mise en application d'outils technologiques comme le Chatbot Generative Pre-trained Transformer (ChatGPT) et le recours à de nouvelles méthodes pour étudier l'imagerie de l'activité cérébrale comme le projet Cerebro tout en se penchant sur les neurosciences computationnelles dans le but de faire le lien entre les neurosciences (qui permettent de comprendre le cerveau) et des stratégies concrètes (qui permettent d'aider à apprendre).

## **2. Tracé historique des neurosciences : L'apport des recherches sur l'imagerie cérébrale**

L'imagerie cérébrale s'intéresse à détecter le fonctionnement du cerveau et à analyser les mécanismes complexes dans le but d'évaluer les processus cognitifs mis en question. À partir des recherches réalisées dans les années 1970, les neurosciences ont connu un essor visant à la neuro-imagerie structurelle. C'est en 1990 que les recherches sur le cerveau connaissent une évolution, en vue de réaliser des tâches cognitives en neuro-imagerie fonctionnelle. Actuellement, des technologies de plus en plus avancées visent à mettre en œuvre une imagerie multimodale à l'aide de techniques computationnelles intégratives.

### **2.1. Imagerie cérébrale : Les différentes techniques de neuro-imagerie**

Depuis 40 ans, de différentes techniques d'imagerie cérébrale ont été développées pour étudier le corps humain et les réactions comportementales. D'une part, en 1973, la neuro-imagerie structurelle permet d'étudier l'anatomie du cerveau et tout ce qui peut la perturber. « *Il faut prendre conscience du fait qu'avant les années 1990, l'exploration de l'activité cérébrale était essentiellement limitée à l'électroencéphalographie (EEG), qui repose sur la découverte faite par Hans Berger en 1929 de la possibilité d'enregistrer l'activité électrique spontanée du cerveau par de simples électrodes posées à la surface du crâne.* » (Sackur, 2014, p. 75). Dans les années 1990, la neuro-imagerie fonctionnelle rend compte de l'activité des zones

cérébrales durant certaines tâches cognitives en vue de visualiser les différentes structures cérébrales et d'observer leur fonctionnement et leurs interactions.

Les études en neuro-imagerie utilisent soit des rayonnements (émission de rayons X, détection de produits radioactifs injectés), soit la mesure de l'activité électrique ou, plus récemment, des champs magnétiques. En effet, l'analyse du fonctionnement du cerveau se sert de différentes techniques très utilisées en sciences cognitives comme l'électro-encéphalographie (EEG), qui mesure les ondes électriques reflétant l'activité du cerveau. En effet, « *en 1990 Ogawa et ses collaborateurs faisaient inhaler un air saturé en CO<sub>2</sub> à des rats pour modifier la concentration en oxygène de leur sang cérébral. Seulement trois ans plus tard, Le Bihan et ses collaborateurs utilisaient le même contraste BOLD pour montrer qu'imaginer et voir un même stimulus visuel modifiait de manière similaire l'activité du cortex visuel occipital.* ». (Sackur, idem). C'est ainsi que l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), qui mesure les variations spatio-temporelles en étudiant l'activité des zones cérébrales durant certaines tâches était née. D'autre part, la Magnétoencéphalographie (MEG) a l'intention de mesurer des champs magnétiques dus à l'activité électrique des neurones et permet de visualiser les structures profondes du cerveau de façon plus précise que l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) (<https://www.frm.org/nos-publications/innovation-et-sante/imagerie-cerebrale-percer-les-mysteres-du-cerveau>).

Actuellement, des technologies de plus en plus avancées réussissent à gagner en résolution et à analyser des mécanismes complexes. Grâce aux récents progrès en informatique, de nouvelles techniques d'imagerie comme l'imagerie par résonance magnétique de diffusion (IRMd) permettent de réaliser des méthodes d'analyse d'images complétée par une infrastructure d'analyse de données à grande échelle en visualisant des structures microscopiques du cerveau.

En prospective, des progrès récents permettent de décrypter le dysfonctionnement de certains neurones du cerveau et de relever de nombreux défis par le recours à l'imagerie multimodale et aux techniques computationnelles intégratives qui y sont associées, au cœur de cette révolution (<https://www.mcgill.ca/neuro/fr/recherche/groupes-de-recherche/neuro-imagerie-et-neuro-informatique>).

## **2.2. Neurosciences et apprentissage**

Les neurosciences ont fait leur entrée dans le domaine de l'éducation. Cette association neurosciences/éducation vise à créer un cadre conceptuel et méthodologique commun pour soutenir les systèmes scolaires qui souhaitent intégrer les neurosciences dans leur pratique d'enseignement.

D'une part, l'imagerie cérébrale est utilisée à des fins de recherche fondamentale pour observer les zones du cerveau impliquées dans la mise en place du langage chez les jeunes enfants (MEG). D'autre part, elle permet de mieux comprendre l'ensemble des mécanismes de la mémoire. « *L'imagerie cérébrale nous a permis, par exemple, de mieux comprendre l'ensemble des mécanismes de la mémoire et cette connaissance peut aider les enseignants à modifier ou à adapter leur enseignement pour que les élèves mémorisent mieux. Il semble donc très important que les neuroscientifiques et les enseignants collaborent sur ces*

*connaissances nouvelles pour qu'ensemble, ils travaillent sur la transposition des résultats des IRM en compétences didactiques et pédagogiques » (Toscani, 03/10/2016, <https://www.schooleducationgateway.eu/fr/pub/viewpoints/experts/the-neurosciences-and-learning.htm>).*

Grâce aux techniques utilisées telles que l'imagerie par résonance magnétique (IRM), qui permettent de voir en image le cerveau en situation réelle d'apprentissage, les neuroscientifiques peuvent aider les enseignants à mieux comprendre les processus d'apprentissage. Ainsi, les connaissances neuroscientifiques liées au développement du cerveau peuvent non seulement orienter les enseignants, mais aussi enrichir les pratiques d'enseignement.

### **3. Les neurosciences cognitives : Étude du comportement et du rôle majeur de notre mémoire**

*« Les sciences cognitives sont définies comme un ensemble de disciplines scientifiques visant à l'étude et à la compréhension des mécanismes de la pensée humaine, animale ou artificielle, et plus généralement de tout système cognitif, c'est-à-dire tout système complexe de traitement de l'information capable d'acquérir, de conserver et de transmettre des connaissances. » (Centre d'analyse stratégique, 2010). Les Sciences Cognitives s'intéressent à étudier la description, l'explication et la simulation des mécanismes de la pensée humaine comme la perception, l'intelligence, le langage, la mémoire, l'attention, le raisonnement, les émotions ou même la conscience. Elles sont composées de six (6) sous-disciplines : les neurosciences, la linguistique computationnelle, l'anthropologie cognitive, la psychologie cognitive, la philosophie de la cognition et l'intelligence artificielle.*

#### **3.1. Acquisition de nos savoirs et de nos réflexes selon quatre facteurs : a. attention, b. engagement actif, c. retour d'information, d. consolidation**

*« Les neurosciences cognitives cherchent à établir des liens entre le système nerveux et la cognition (langage, mémoire, attention, conscience, représentation mentale...), et sont définies par Tiberghin (2002) comme « l'ensemble des disciplines qui ont pour objet d'établir la nature des relations entre la cognition et le cerveau » (Frayssinhes & Pasquier, 2018, <https://journals.openedition.org/edso/3920?lang=fr>).*

Les neurosciences cognitives liées à l'éducation visent à l'acquisition de nos savoirs et de nos réflexes. Sous cet aspect, elles permettent de comprendre le mécanisme de la pensée humaine, mais encore les réactions comportementales lors du processus de l'apprentissage allant de l'étape initiale de l'acquisition jusqu'à celle de mémorisation. D'après Dehaene (2012), professeur au Collège de France, les neurosciences cognitives ont identifié au moins quatre facteurs qui déterminent la vitesse et la facilité d'apprentissage : a. l'attention, b. l'engagement actif, c. le retour d'information (feed-back), d. la consolidation.

En premier lieu, l'attention se définit selon Akoun & Pailleau (2013), comme le mouvement cérébral qui va nous permettre d'orienter notre action en fonction d'un objectif, d'un centre d'intérêt. Grâce à elle, nous captions, par nos cinq sens, les différentes informations en provenance soit de notre environnement, soit de notre

ressenti émotionnel ou psychologique. Pour Dehaene, l'attention sert à sélectionner les informations, et agit directement dans le processus de mémorisation de l'information. Pour cette raison, il est nécessaire de capter l'attention des participants en focalisant sur l'essentiel tout en fixant les objectifs pédagogiques à l'avance dans le but d'obtenir une meilleure attention de l'audience.

En deuxième lieu, l'engagement actif permet de passer en action en œuvrant avec efficacité. Dehaene souligne qu'un organisme passif n'apprend pas. L'apprentissage est optimal lorsque l'enfant alterne apprentissage et test répété de ses connaissances. En ce sens, l'action permet d'augmenter la quantité des informations retenues, mais nécessite l'implication active des apprenants en vue d'augmenter la mémorisation. Ainsi, il est question d'engagement actif des participants dans des situations en contexte réel ou même fictif.

En troisième lieu, le retour d'information (feed-back) en arrière devient optimal pour l'apprentissage, car il permet de recevoir un retour d'information immédiat sur l'action en cours. De cette manière, en cas d'erreur, l'action corrective sera efficace par le recours à un jugement complémentaire, afin de porter un éclaircissement sur les acquisitions antérieures.

En quatrième lieu, la consolidation est une étape ultime pour passer à la pratique et la répétition d'une tâche dans le but de libérer une partie de notre cerveau pour accumuler de nouvelles informations. Cette automatisation passe par la répétition et l'entraînement. Le point culminant d'un apprentissage est le "transfert de l'explicite vers l'implicite" : c'est l'automatisation des connaissances et procédures. Ainsi, la récupération des informations dans sa mémoire se réalise par automatisation, vu que l'automatisation permet de passer d'un traitement conscient, à un traitement automatisé inconsciemment.

Selon Dehaene (2012), il est essentiel de répéter une connaissance nouvellement acquise, car pour mémoriser une information, notre cerveau a besoin de trois passages au minimum, tandis que pour intégrer une nouvelle habitude, il a besoin de vingt et un (21) jours. C'est pourquoi il s'avère essentiel de donner aux enseignants un bagage de principes fondamentaux sur la plasticité cérébrale et les apprentissages. (Dehaene, 2012, [https://www.college-de-france.fr/media/stanislas-dehaene/UPL4296315902912348282\\_Dehaene\\_GrandsPrincipesDeLApprentissage\\_CollegeDeFrance2012.pdf](https://www.college-de-france.fr/media/stanislas-dehaene/UPL4296315902912348282_Dehaene_GrandsPrincipesDeLApprentissage_CollegeDeFrance2012.pdf)).

### **3.2. Fonctionnement et réactions du cerveau : Mieux comprendre le mécanisme d'apprentissage**

« *Les neurosciences et la neuropsychologie cognitives se concentrent sur de possibles liens causaux entre les structures et les fonctions cérébrales. Perception, langage, motivation, raisonnement, émotions, créativité, mémoire, attention, conscience sont à l'origine des comportements de humains.* » (<https://institutducerveau-icm.org/fr/neurosciences/>). Du fait que les neurosciences cognitives étudient le fonctionnement et les réactions du cerveau dans l'exécution de différentes activités comme la réflexion, l'attention, et surtout la mémorisation, il s'avère de prime intérêt de focaliser sur les mécanismes d'apprentissage.

Pourtant, lors d'un processus d'apprentissage, qui vise à la réussite, il est nécessaire de se concentrer sur la participation active des actants tout en impliquant l'engagement de l'activité cérébrale. Dans ce cas, il faudrait tenir compte de facteurs additionnels comme : a. la récompense : lorsqu' on obtient un jugement positif ou si l'on fait preuve de réussite, le cerveau envoie un message positif, b. la motivation : c'est un élément clé de la réussite si l'on crée un univers agréable et décontracté, on arrive à transformer les temps d'apprentissage en des moments ludiques, c. attention: Être attentif lors de l'apprentissage permet au cerveau d'enregistrer de manière optimale une nouvelle information lors de sa phase d'encodage (première étape de la mémorisation).

D'après Stanislas Dehaene, neuroscientifique, l'attention permettrait au-delà de bien mémoriser, d'apprendre plus vite, d. l'exercice physique : Selon les neurosciences cognitives, pratiquer une activité physique pourrait rendre plus efficace notre apprentissage et notre mémorisation, e. le besoin de sommeil : Les neurosciences ont démontré que durant la nuit, notre cerveau reprenait nos entraînements de la journée, autant sportifs qu'intellectuels.

Ce processus lui permet de créer ainsi de nouveaux réseaux de connexions entre les neurones. Dans la communauté des neurosciences, beaucoup d'experts soutiennent l'idée que

*Les processus d'apprentissage s'opèrent selon le principe connexionniste : pour que l'information (sous forme de stimulus) soit retenue, les réseaux synaptiques se modifient en créant de nouvelles connexions entre les neurones. C'est la plasticité synaptique. Cette modification des connexions est exécutée selon deux processus principaux : la potentialisation à long terme (LTP) et la dépression à long terme (Gaussel & Reverdy, 2013, pp. 4-5).*

À coup sûr, les neurosciences éducatives demeurent un outil pertinent pour apporter une validation scientifique dans les pratiques pédagogiques. Il demeure important de faire participer les élèves pour stimuler leur attention, mais encore de remobiliser les connaissances à plusieurs reprises, afin de faire preuve de récupération des données transmises tout en accordant une place majeure à l'aspect ludique et à la plasticité cérébrale durant toutes les phases de l'apprentissage.

#### **4. Les neurosciences émotionnelles : La place prépondérante des émotions dans les tâches à entreprendre**

Dans une dimension émotionnelle, les neurosciences s'appuient sur la place prépondérante des émotions dans les tâches à entreprendre. Selon Damasio, le cerveau seul ne fait pas l'esprit humain. Les nombreuses interactions entre le cœur et la raison, réfutent le dualisme cartésien, empruntant à Spinoza ses concepts, pour définir une nouvelle neurobiologie du sentiment et du comportement social.

##### **4.1. Étudier les interactions entre le cœur et la raison**

Depuis une vingtaine d'années, Damasio l'auteur des ouvrages : "L'Erreur de Descartes : la raison des émotions" (1995) et "Spinoza avait raison: joie et tristesse,

le cerveau des émotions” (2003) met en valeur la place des émotions dans le processus décisionnel. Tout en réfutant le dualisme cartésien, il met en avant les concepts de Spinoza pour souligner le rôle important des interactions, qui ont lieu entre le cœur et la raison.

Damasio reprend l'idée essentielle selon laquelle la vie représente un acte complexe où les sentiments sont l'expression de la lutte pour atteindre l'équilibre. L'esprit existe pour le corps : ils composent ensemble un organisme qui tend à se préserver et à atteindre le bien-être via les émotions et les sentiments (« the brain's body-furnished, body-minded mind is a servant of the whole body »). Le sentiment même de soi oriente le processus de planification mentale vers la satisfaction de ce besoin essentiel, qui s'apparente au fameux « conatus » spinoziste (Grandguillaume, Piroux, 2004, p. 479).

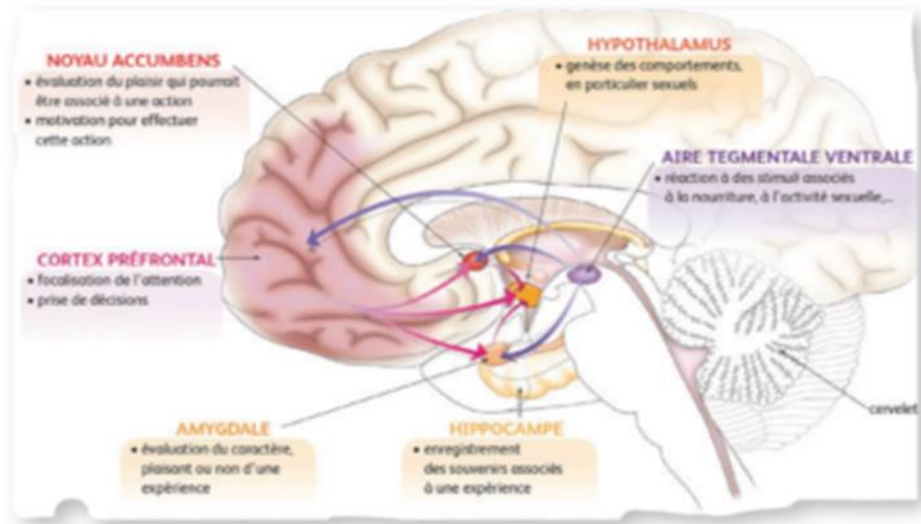
Plus tard, Damasio (2017) souligne que l'intelligence artificielle peut simuler les sentiments : elle ne peut pas les dupliquer, car les organismes artificiels sont sans vie tout en mettant en évidence que les arts, les sciences et les technologies viennent d'une nécessité de réponse qui dérive des émotions.

En éducation, il serait essentiel d'étudier le rôle des neurosciences pour valoriser la participation active des apprenants et leur implication dans des tâches collaboratives lors du processus pédagogique. En effet, il faudrait accorder une place importante à la dimension émotive et faire susciter la motivation des participants durant toutes les phases de l'apprentissage pour remobiliser les acquis tout en focalisant sur l'aspect ludique car les neurosciences « *Elles pointent aussi le rôle de l'émotion et du plaisir dans l'apprentissage, et remettent ainsi en cause l'utilité des punitions ou de la notation, souvent stigmatisante et peu efficace.* » (<https://courier.unesco.org/fr/articles/les-neurosciences-lecole-entre-mirage-et-miracle>).

#### **4.2. S'orienter vers une nouvelle neurobiologie du sentiment et du comportement social**

Damasio focalise sur la place prépondérante des émotions dans nos prises de décision et s'intéresse à définir une nouvelle neurobiologie du sentiment et du comportement social. En effet, les dernières études du cerveau mettent en avant le rôle fondamental de l'aire tegmentale ventrale, une toute petite zone du cerveau qui attribue à une expérience une valence émotionnelle, positive ou négative, comme le note Carry (2021).





★ Les zones du cerveau impliquées dans le circuit de la récompense.

**Figure 1. Les zones du cerveau impliquées dans le circuit de la récompense**

Source : *Les neurosciences : les émotions au service des apprentissages* - NRP Lycée (nathan.fr), <https://nrp-lycee.nathan.fr/actualites/les-neurosciences-les-emotions-au-service-des-apprentissages/>

Lors de la confrontation avec un événement semblable, l'aire tegmentale ventrale, activée par l'empreinte de l'événement antérieur, va – ou non ! – décharger de la dopamine dans le cortex préfrontal, centre de la prise de décision, qui permettra à l'individu de s'impliquer dans la tâche. À défaut, ce dernier éprouvera de la réticence, voire de la répulsion, et dans tous les cas tendra à fuir ce genre de situations. Notons que ce phénomène agit bien souvent à notre insu... et explique aussi en grande partie le phénomène de « l'intuition » (et surtout de la « bonne » intuition), qui est en fait une compilation inconsciente de l'expérience croisée avec la valence émotionnelle de chacune d'entre elles (Carry, 14/09/2021, <https://nrp-lycee.nathan.fr/actualites/les-neurosciences-les-emotions-au-service-des-apprentissages/>).

D'après ses recherches, Damasio postule que le souvenir de la teinte émotionnelle d'un événement permet de prendre des décisions plus pertinentes quand on se retrouve confronté à des situations similaires. En clair, les émotions aident à raisonner, même si on n'en a pas conscience. « *Si on en croit Deci et Ryan, repris par Lieury et Fenouillet, la motivation intrinsèque pour les apprentissages (donc pour les apprentissages eux-mêmes, et non une récompense) serait dépendante du niveau d'autonomie, c'est-à-dire de liberté laissée dans ces apprentissages, et du niveau de compétence perçue, que Bandura, un autre chercheur dans le domaine, appelle « sentiment d'efficacité personnelle (SEP) »* (Carry, idem).

## **5. Numérisation progressive du contexte éducatif à l'époque post-pandémique**

Avec l'intégration des médias numériques dans toutes les circonstances de la vie humaine, et surtout avec la tendance à numériser progressivement le contexte éducatif à l'époque post-pandémique, l'échange des données numériques se propage incessamment de sorte que les nouveaux outils de communication et de collaboration réussissent à conditionner nos sensations, mais aussi notre comportement. Car la numérisation dans l'éducation exerce une influence non seulement sur nos perceptions et pensées, mais encore sur notre équilibre mental en engendrant des conséquences sur le rythme biologique, neurologique et la vie psychologique des usagers.

### **5.1. Neuro-imagerie et neuro-informatique : de recherches innovantes pour conditionner notre perception et stimuler la mémorisation**

De renommée mondiale, le Centre d'imagerie cérébrale McConnell (CIC) au Canada se voue à la recherche en neuro-imagerie pour comprendre les mécanismes qui sous-tendent la cognition et faire progresser notre compréhension des troubles du cerveau. Le Centre des neurosciences intégrées McGill (CNIM) mène des recherches à base computationnelle sur le cerveau en utilisant des approches mathématiques et statistiques innovantes. Le groupe de neuro-imagerie et neuro-informatique offre un environnement de recherche multidisciplinaire dynamique ouvert, collaboratif, interdisciplinaire et catalytique pour la recherche fondamentale et clinique en neurosciences (<https://www.mcgill.ca/neuro/fr/recherche/groupes-de-recherche/neuro-imagerie-et-neuro-informatique>).

#### **5.1.1. Décrypter le fonctionnement du cerveau à l'aide de techniques sophistiquées : l'EEG & l'IRM**

L'étude du fonctionnement du cerveau se réalise par le recours à de techniques de plus en plus sophistiquées allant de l'électro-encéphalographie (EEG) et de la magnéto-encéphalographie, à l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) et la spectroscopie. Ainsi, le traitement des signaux et leur interprétation permettent d'évaluer les processus cognitifs. Des recherches innovantes mettent en application ces nouvelles techniques pour décrypter le fonctionnement du cerveau. Plus précisément, Nesma Houmani, spécialisée dans l'analyse et le traitement des signaux électro-encéphalographiques (EEG), à Télécom SudParis et s'aide d'algorithmes de machine learning et d'intelligence artificielle pour extraire des marqueurs EEG. « *Dans le cadre de ses recherches sur l'attention visuelle, Nesma Houmani se sert notamment de l'EEG couplé à un dispositif d'eye-tracking pour déterminer comment un sujet s'engage et se désengage d'une tâche. D'autres équipes utilisent l'EEG pour la reconnaissance des émotions, ou encore pour la compréhension des mécanismes décisionnels* » (<https://imtech.imt.fr/2019/02/04/technologies-decrypter-cerveau/>).

#### **5.1.2. EEG VS IRM fonctionnelle pour décrypter le mécanisme du cerveau humain**

Si l'EEG s'avère limité au niveau de la résolution spatiale, à l'inverse, l'IRM fonctionnelle (IRMf) possède une très bonne résolution spatiale, mais une mauvaise résolution temporelle. « *Nicolas Farrugia travaille actuellement à IMT Atlantique*

*sur les applications du machine learning et de l'intelligence artificielle aux neurosciences. Deux paradigmes sont principalement étudiés en neurosciences : l'encodage et le décodage. Le premier cherche à prédire l'activité cérébrale générée par un stimulus, le second à décrypter le stimulus à partir de cette activité.* » (<https://imtech.imt.fr/2019/02/04/technologies-decrypter-cerveau/>). Ainsi, on vise à étudier le rôle de l'intelligence artificielle dans le domaine du décodage et à traiter les mécanismes cognitifs, afin de mieux comprendre le comportement humain.

## **5.2. L'impact de la cognition sociale dans les interactions en ligne : exercer une influence forte sur notre mentalité et sur notre équilibre mental**

Le rapport étroit entre la cognition chaude et froide met en exergue le rôle primordial de la cognition sociale, qui s'autorégule par la réaction comportementale des individus dans le milieu qui les entoure, car ces derniers demeurent influencés par leurs croyances, mais aussi par leur vie psychique, incluant émotions, état affectif, fonctions psychomotrices. La cognition chaude et froide s'associent et demeurent complémentaires dans les interrelations entre les personnes en formation et leur environnement virtuel, mais encore physique.

Avec le recours à des tâches collaboratives en ligne, les participants deviennent acteurs et co-acteurs en cultivant en même temps leurs compétences cognitives, socioaffectives, mais encore transversales. C'est pourquoi il est nécessaire de prendre conscience des états mentaux des participants, afin de les engager et de les réadapter dans le contexte d'apprentissage hybride (Efthimiadou, 2021).

## **5.3. L'avenir des neurosciences computationnelles et de l'Intelligence Artificielle**

La progression de la recherche et la compréhension du mécanisme du cerveau sont axées sur l'Intelligence Artificielle comme le Chatbot Generative Pre-trained Transformer (ChatGPT) et l'avenir des neurosciences computationnelles ou même le projet Cerebro, une méthode innovante pour l'imagerie de l'activité cérébrale.

### **5.3.1. Le Chatbot Generative Pre-trained Transformer (ChatGPT)**

Les neurosciences computationnelles se concentrent sur le développement de modèles mathématiques et informatiques pour étudier le système nerveux. Avec l'avènement de Chatbot Generative Pre-trained Transformer (ChatGPT), se forment de données textuelles par la génération des réponses de type humain dans un cadre conversationnel. De plus, la capacité de ChatGPT à apprendre à partir de grandes quantités de données peut être appliquée à l'analyse d'ensembles de données neuronales à grande échelle. Les chercheurs génèrent des cartes de plus en plus détaillées de l'activité neuronale pour mieux détecter la communication neuronale par l'étude des relations entre les différentes régions du cerveau (Frackiewicz, 12/07/2023, <https://ts2.space/fr/chatgpt-et-lavenir-des-neurosciences-computationnelles-faire-progresser-la-recherche-et-la-decouverte-du-cerveau-axe-sur-lia/>).

D'autre part, ChatGPT ce modèle d'Intelligence Artificielle de pointe développé par OpenAI, peut être utilisé comme un outil pédagogique puissant dans le domaine des neurosciences computationnelles par sa capacité à s'engager dans des conversations en langage en donnant accès à des expériences d'apprentissage interactives.

### **5.3.2. Le projet Cerebro : une méthode innovante pour l'imagerie de l'activité cérébrale**

Le projet de recherche Cerebro s'intéresse à collecter des images très fines et complètes de l'activité électrique du cerveau, grâce à un procédé non invasif reposant sur l'injection d'un nouveau produit de contraste. De cette manière, Cerebro réussit à augmenter la résolution de l'imagerie non-invasive en injectant dans le sang du patient un « produit de contraste », de nature électronique, qui permette d'obtenir une lecture précise du signal. « *Pour l'heure, nous en sommes encore en phase très amont, indique Adrien Merlini enseignant-chercheur au département Micro-ondes (MO) d'IMT Atlantique* » (<https://www.imt-atlantique.fr/fr/actualites/cerebro-recherche-innovante>). À terme, l'équipe envisage de concevoir un appareil de mesure pour une application clinique.

### **5.3.3. Les neurosciences computationnelles : Faire le lien entre les neurosciences (qui permettent de comprendre le cerveau) et des stratégies concrètes (qui permettent d'aider à apprendre)**

L'activation des neurones passe par l'utilisation d'approches actives ainsi que par la limitation des sources de distraction. La pédagogie active suscite l'intérêt et l'attention des élèves, les met en action et facilite ainsi la compréhension.

Les sept (7) principes neuro éducatifs de Steve Masson (2020) permettent de faire le lien entre les neurosciences (qui permettent de comprendre le cerveau) et des stratégies concrètes (qui permettent d'aider à apprendre) visant à :

1. L'activation des neurones reliés à l'apprentissage : La pédagogie actionnelle, qui se centre sur l'apprenant fait susciter sa motivation et encourage la prise des initiatives ainsi que la collaboration mutuelle avec des tâches,
2. L'activation répétée des neurones : Les enseignants s'intéressent à planifier des phases d'activation qui permettent de répéter les concepts appris par des moyens variés ou même la rétroaction,
3. La récupération en mémoire : on accorde du temps au cerveau afin d' assimiler les acquis et le rendre actif par l'exploitation de différentes mémoires,
4. L'élaboration d'explications : Durant cette étape, il est question de créer des moments de réflexion pour que l'élève puisse recourir à des stratégies d'apprentissage pour apprendre de manière efficace,
5. L'espacement de l'activation des neurones :
6. La rétroaction : cette étape de retour en arrière (feedback) invite l'enseignant à revenir périodiquement sur les apprentissages et permet à l'élève d'assimiler ses acquis,
7. L'esprit dynamique : dans cette étape ultime, il s'agit de développer chez les élèves un état d'esprit, qui les encourage à progresser dans le but de faire preuve de réussite (Brault Foisy, Masson, 2022, <https://doi.org/10.26034/cortica.2022.1956>).

## **6. Conclusion**

En définitive, les performances technologiques mises au point dans le domaine des neurosciences peuvent susciter des espoirs pour leur intégration dans le domaine éducatif. Plus précisément, les neurosciences cognitives et émotionnelles s'associent et deviennent complémentaires, car les opérations de décodage et d'encodage d'un contexte se relient pour mettre en relief l'aspect cognitif, mais aussi

la dimension affective dans l'élaboration et la gestion des tâches à exécuter. C'est pourquoi il serait essentiel de tenir compte de la cognition sociale et du rôle de la mémoire dans les interactions en ligne et de prendre conscience des états mentaux des participants, afin de les engager et de les réadapter dans le contexte d'apprentissage numérique. D'autre part, l'avenir des neurosciences computationnelles et de l'Intelligence Artificielle par le recours à des méthodes innovantes sur l'imagerie de l'activité cérébrale envisagent de faire le lien entre les neurosciences (qui permettent de comprendre le cerveau) et des stratégies concrètes (qui permettent d'aider à apprendre). Étant donné le concept de plasticité cérébrale, qui permet de créer de nouveaux neurones par l'apprentissage et la formation tout au long de la vie, à l'avenir, les professionnels de l'éducation ne pourront plus se priver de la contribution des neurosciences en éducation par le recours à la remédiation ou même à des thérapies dans des publics spécifiques.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Akoun, A., Pailleau, I. (2013). *Apprendre autrement avec la pédagogie positive*. Paris : Eyrolles.
2. Bayer, F. (2022). Les neurosciences à l'école : entre mirage et miracle. *Le Courrier de l'UNESCO, Volume 2022(1)*, 20-21. Accessible sur : <https://www.un-ilibrary.org/content/journals/22202277/2-022/1/7/read>, Consulté le 20 octobre 2023.
3. Brault Foisy, L.-M., Masson, S. (2022). Mieux comprendre les mécanismes cérébraux d'apprentissage pour faciliter la mise en application des connaissances issues de la recherche et favoriser la réussite scolaire des élèves. *Recherches et perspectives en neurosciences de l'éducation. Cortica, 1(1)*. Accessible sur : <https://doi.org/10.26034/cortica.2022.1956>. Consulté le 10 juillet 2023.
4. Carry, V. (2021). *Les neurosciences : les émotions au service des apprentissages - NRP Lycée (nathan.fr)*. Accessible sur : <https://nrp-lycee.nathan.fr/actualites/les-neurosciences-les-emotions-au-service-des-apprentissages/>. Consulté le 10 octobre 2023.
5. Frąckiewicz, M. (2023). *ChatGPT et l'avenir des neurosciences computationnelles : faire progresser la recherche et la découverte du cerveau axées sur l'IA (ts2.space)*. Accessible sur : <https://ts2.space/fr/ch-atgpt-et-lavenir-des-neurosciences-computationnelles-faire-progresser-la-recherche-et-la-decouverte-du-cerveau-axees-sur-lia/>. Consulté le 15 octobre 2023.
6. Damasio, A. (2017). *L'ordre étrange des choses : la vie, les sentiments et la fabrique de la culture*. Traduit de l'anglais (États-Unis) par Jean-Clément Nau. Paris : Odile Jacob.
7. Damasio, A. (1995). *L'erreur de Descartes*. Paris : Odile Jacob.
8. Dehaene, S. (2012). *Les grands principes de l'apprentissage*. Accessible sur : <https://www.college-de-france.fr/media/stanislas-dehaene/UPL42963->

- 15902912348282\_Dehaene\_GrandsPrincipesDeLApprentissage\_CollegeDe France2012.pdf. Consulté le 12 juillet 2023.
9. Efthimiadou, E. (2021). *Hot and Cold Cognition in Hybrid Communication. Frontiers in Education Technology*, 4(3), 1-7. DOI: <https://doi.org/10.221-58/fet.v4n3p1>. Consulté le 30 avril 2023.
  10. Frayssinhes, J., Pasquier, F. (2018). Neurosciences et apprentissages sur les réseaux numériques. *Education et socialisation*, 49. ISSN 2271-6092 Doi 10.4000/edso.3920. DOI : <https://doi.org/10.4000/edso.3920>. Consulté le 12 juillet 2023.
  11. Gaussel, M., Reverdy, C. (2013). *Neurosciences et éducation : la bataille des cerveaux. Dossier d'actualité Veille et Analyses IFÉ, n° 86, septembre*. Lyon : ENS de Lyon. Accessible sur : <https://edupass.hypotheses.org/files/2014/04/86-septembre-2013.pdf>. Consulté le 15 juillet 2023.
  12. Grandguillaume, A., Piroux, Ch. (2004). A Damasio. L'erreur de Descartes (1995) ; Le sentiment même de soi (1999) ; Spinoza avait raison (2003). *L'orientation scolaire et professionnelle*, 33(3), 477-479.
  13. Lacroux, D. (2022). L'émotion entre corps et cerveau : James, Le Doux et Damasio. *Philonsorbonne*, 16 . 121-142. Accessible sur : <http://journals.open-edition.org/philonsorbonne/2275>; DOI : <https://doi.org/10.4000/philonsorbonne.2275>. Consulté le 12 juillet 2023.
  14. Sackur, J. (2014). Les neurosciences cognitives, sciences naturelles de l'esprit : Révolution ou restauration ? Cités, 60, 71-82. Accessible sur : <https://doi.org/10.3917/cite.060.0071>. Consulté le 20 octobre 2023.
  15. Toscani, P. (2016). *Les neurosciences et l'apprentissage : le défi de la collaboration entre les universités et les écoles. School Education Gateway*. Accessible sur : <https://www.schooleducationgateway.eu/fr/pub/viewpoints/experts/the-neurosciences-and-learning.htm>. Consulté le 20 juillet 2023.
  16. *Cerebro : une méthode innovante pour l'imagerie de l'activité cérébrale (imt-atlantique.fr)*. Accessible sur : <https://www.imt-atlantique.fr/fr/actualites/cerebro-recherche-innovante>. Consulté le 10/07/2023.
  17. *Ces technologies qui décryptent le fonctionnement du cerveau - IMTech (imt.fr)*. (2019). Accessible sur : <https://imtech.imt.fr/2019/02/04/technologies-decrypter-cerveau/>. Consulté le 14 octobre 2023.
  18. \*\*\*Centre d'analyse stratégique (2010). *Nouvelles approches de la prévention en santé publique. L'apport des sciences comportementales, cognitives et des neurosciences*. Paris : Centre d'analyse stratégique.
  19. \*\*\* *Les neurosciences*. Accessible sur : <https://institutducerveau-icm.org/fr/neurosciences/>. Consulté le 20 octobre 2023.
  20. \*\*\* *Neuro-imagerie et neuro-informatique*. McGill University. Accessible sur : <https://www.mcgill.ca/neuro/fr/recherche/groupe-de-recherche/neuro-imagerie-et-neuro-informatique>. Consulté le 20 juillet 2023.
  21. \*\*\* *Imagerie cérébrale : percer les mystères du cerveau*. (2016). Accessible sur : <https://www.frm.org/nos-publications/innovation-et-sante/imagerie-cerebrale-percer-les-mysteres-du-cerveau>. Consulté le 20 octobre 2023.