

# Apprentissage et cerveau : Une approche appliquée de la neuroplasticité

C. Atkinson-Clement<sup>1</sup>, A. Eusebio<sup>2</sup>, S. Pinto<sup>1</sup>

**1** Aix-Marseille Université/CNRS, Laboratoire Parole et Langage (LPL), UMR 7309, 13100, Aix-En-Provence, France.

**2** Service de Neurologie et Pathologie du Mouvement, Assistance Publique-Hôpitaux de Marseille et Aix-Marseille Université, Hôpital de la Timone, 13385 Marseille Cedex 05, France

Pour toutes correspondances : cyril.atkinsonclement@gmail.com

## Résumé

Les récentes avancées des neurosciences ont permis de comprendre que le cerveau était capable de se régénérer, de s'autoréguler et de s'adapter à un environnement changeant, interne comme externe. Ces découvertes permettent aujourd'hui de mieux comprendre les différences inter- et intra-individuelles, en précisant les mécanismes sous-jacents, tant à l'apprentissage qu'aux méthodes de rééducations et réhabilitations. L'article présenté ici vise à faire un rapide historique et état des lieux de la recherche fondamentale et appliquée portant sur la neuroplasticité, ses manifestations, ses bénéfices et ses mécanismes.

## Introduction historique

Pendant de nombreuses années, le cerveau adulte a été perçu comme stable, immuable et statique. Cette vision découlait du courant théorique « Localisationniste », induit par les travaux de Broca sur le patient « Tan Tan » (1861) et par ceux de Wernicke (1874) avant d'être scellé par les travaux de Penfield (1950) sur l'homonculus sensorimoteur. Toutefois, la vision selon laquelle le cerveau adulte n'est pas capable de se modifier et de s'adapter aux comportements a été remise en cause par de nombreux auteurs. Ainsi, il a été montré par plusieurs équipes que le cerveau était capable de se régénérer après avoir subi certaines lésions (e.g. Bach-y-Rita et al., 1969 ; 1972 ; 1980 ; Taub et al., 1993 ; 2002 ; 2006 ; Uswatte et Taub, 1999). Certains auteurs célèbres, bien que n'ayant pas les moyens techniques d'en apporter la preuve scientifique, étaient déjà persuadés que le cerveau n'était pas statique. C'est le cas par exemple de Pavlov qui écrit : « Notre système possède au plus haut point la faculté d'autorégulation : il peut ainsi s'entretenir tout seul, se réparer tout seul, se régler, et même s'améliorer tout seul ; l'impression maîtresse, puissante et rémanente que procure l'étude de l'activité nerveuse supérieure avec notre méthode, c'est l'extrême plasticité de cette activité, ses possibilités immenses : rien ne demeure stationnaire, inflexible ; et l'on peut arriver à tout, on peut tout améliorer, du moment que les conditions appropriées sont réunies » (Pavlov cité dans Grimsley et

Windholz, 2000). D'autre part, certains auteurs ont œuvré pour montrer que la vision localisationniste, bien que très informative, était profondément simpliste et relativement éloignée de la réalité (Cotard (1868) dans Levin et al., 2000 ; Soltmann, 1876). Ces études montraient que l'atteinte d'une zone normalement dédiée à une fonction n'empêchait pas les individus d'utiliser normalement la fonction lésée. Le terme de « plasticité » (qui signifie modulable) a été employé pour la première fois par Merzenich (1983a) lorsqu'il remarqua que l'aire s'occupant des sensations tactiles en provenance de la main était modifiée lorsqu'il y avait privation sensorielle. Ce sont les travaux de cet auteur qui permirent à terme de faire prendre conscience à la communauté scientifique que le cerveau était bien plastique (Merzenich et al., 1983a ; 1983b ; 1984a ; 1984b ; 1990).

## Neuroplasticité de l'apprentissage

La neuroplasticité peut s'observer de diverses manières chez l'être humain. Ainsi, il existe une plasticité fonctionnelle (le cerveau modifie son fonctionnement) et une plasticité structurale (le cerveau modifie sa forme et par conséquent son activité).

Les études les plus surprenantes concernant la neuroplasticité fonctionnelle induite par un apprentissage portent sur l'apprentissage du braille chez des personnes devenues aveugles (Pascual-Leone, 1993 ; 1999). Ces études ont permis de

montrer que les aires cérébrales prenant en charge la lecture du braille n'étaient pas celles qui auraient pu s'en charger normalement (cortex sensorimoteur par exemple), mais celles qui étaient disponibles, en l'occurrence le cortex occipital, initialement impliqué dans la vision, mais ici disponible.

La neuroplasticité structurale a quant à elle été démontrée plus récemment grâce au perfectionnement des méthodes de neuro-imagerie, et en particulier à l'aide du traitement statistique post-imagerie par résonance magnétique anatomique (IRMa) : *voxel based morphometry (VBM)*. Une des premières études portant sur le sujet date de 2004 (Draganski et al.). Cette étude a montré que le cerveau de personnes apprenant à jongler pendant 3 mois évoluait. Que des structures impliquées dans la coordination motrice et les capacités visuo-spatiales accroissaient leur volume (ici les gyri temporaux médians bilatéralement et la scissure intra-pariétale postérieure gauche). Cette même équipe a renouvelé ses résultats auprès d'une population d'étudiants en médecine, montrant que le volume du cortex pariétal postérieur avait augmenté après la réalisation des examens, mais également que ces changements étaient toujours présents plusieurs mois après (Draganski et al., 2006). Selon May et ses collaborateurs (2007), il semblerait que des modifications structurales du cerveau puissent être observées dès la première semaine post-entraînement, ce qui est le reflet d'une capacité plastique dynamique et efficace de notre cerveau.

Toutefois, ces résultats sont à nuancer, du moins pour les populations « saines ». Une étude réalisée en 2011 (Woollett et Maguire) a permis de montrer chez une population de jeunes chauffeurs de taxi londoniens que les personnes ayant réussi l'examen (qui consiste entre autres à apprendre la carte de la ville) ont vu leur hippocampe postérieur s'accroître comparativement à ceux qui ont échoué. L'hippocampe est une structure connue pour être impliquée dans la mémorisation ainsi que dans les capacités visuo-spatiales. Cette équipe de chercheurs a en effet montré que les individus ayant réussi l'examen avaient également connus une diminution de leurs performances de rappel visuo-spatial. Cette diminution n'a pas été accompagnée d'une diminution du volume de l'hippocampe antérieur, bien que les auteurs suspectent sa présence, mais qui serait trop fine pour être perçue par les méthodes d'imagerie actuelles.

## Neuroplasticité et thérapie

Malgré le postulat précédent, il reste intéressant et important de travailler sur la neuroplasticité structurale, et tout particulièrement pour les patients atteints de diverses pathologies neurologiques acquises ou dégénératives. En effet, l'accroissement du volume d'une structure cérébrale chez ces populations n'induirait théoriquement pas nécessairement une diminution du volume d'une autre structure, puisque l'espace cérébral est plus disponible (régions non utilisées ou atrophies corticales inhérentes aux pathologies neurodégénératives).

Il a par exemple été montré chez une population atteinte de la maladie de Parkinson que des exercices d'équilibre permettait d'engendrer des accroissements de régions diffuses corrélées à des améliorations des performances, et ce en quelques semaines (Sehm et al., 2014). Une seconde étude portant également chez des patients atteints de la maladie de Parkinson a permis de montrer cette fois-ci qu'une activité non physique, la méditation de pleine conscience, permettait d'augmenter le volume d'aires impliquées dans les circuits de la mémoire et des émotions (amygdale, gyrus temporal médian et inférieur, cuneus occipital, gyrus lingual, thalamus, hippocampe et noyau caudé) (Pickut et al., 2013). Une troisième et dernière étude que nous présenterons ici a porté sur les effets de la musicothérapie chez des patients ayant subi un accident vasculaire cérébral (AVC) (Särkämö et al., 2014). Il a cette fois-ci été montré que la personne ne devait pas nécessairement avoir un rôle actif pour induire une neuroplasticité structurale. En effet, les patients devaient ici simplement écouter de la musique (celles de leur choix) ou écouter des livres audio. Les résultats ont montré que ces activités suffisaient à induire une neuroplasticité dans les régions fronto-limbiques, également connues pour être impliquées dans les fonctions cognitives et émotionnelles.

## Mécanismes

Ces résultats sont particulièrement forts et prometteurs. Les neurosciences cherchent depuis plusieurs années à comprendre comment de tels effets peuvent être observés. Il est maintenant accepté que le cerveau fonctionne sur un principe utilitaire résumé sous le terme de « *Use it or lose it* ». Cette phrase véhicule l'idée que les réseaux

neuronaux non utilisés (tant par une lésion cérébrale que par un comportement spécifique) sont remplacés par des réseaux cérébraux qui seront eux utilisés. Une des explications les plus pertinentes nous vient des modèles animaux (en l'occurrence chez le rat), et par ce que l'on appelle « *environnement enrichi* » (Renner et Rosenzweig, 1987). Ce paradigme vise à comparer des rats vivants dans des cages simples / standard (petite et sans objets, comprenant environ 3 rats) à des rats vivants dans des cages complexes / enrichies (grande cage, beaucoup de rats et d'objets). Ce paradigme a permis de montrer que les rats étant en environnement enrichi voyaient la taille des neurones, leurs ramifications et leurs connexions augmenter, mais également que ces modifications pouvaient être observées à tout âge, bien qu'elles soient plus rapides pour les rats jeunes (pour revue : Laviola et al., 2008 ; Nithianantarajah et al., 2006). Toutefois, ces résultats sont là encore à nuancer puisqu'il semblerait que les rats vivants en environnement standard subissent des effets néfastes (Würbel, 2001). Dès lors il est difficile de percevoir l'environnement standard comme tel, mais plutôt comme un environnement trop pauvre. Ces résultats sont difficilement transposables à l'être humain puisque nous considérons classiquement que notre environnement est par définition enrichi. Cependant, il est possible que certains individus soient dans un environnement, non pas pauvre, mais disons moins enrichi. En effet, de nombreux individus âgés peuvent s'isoler de leur environnement socio-culturel, à cause de pathologies neurologiques dégénératives par exemple. C'est le cas entre autres pour la maladie de Parkinson qui a tendance à dégrader les interactions sociales, tant à cause des troubles moteurs qu'émotionnels et cognitifs (Soleimani et al., 2014). Il semblerait même que l'isolement social (que l'on peut extrapoler comme étant un environnement appauvri) augmenterait le risque de démence de près de 60% (Fratiglioni et al., 2000). Ainsi, améliorer en enrichissant socialement un environnement qui a été appauvri permettrait de limiter potentiellement l'impact de nombreuses pathologies liées au vieillissement.

### Conclusion

Bien que les études portant sur la neuroplasticité chez l'individu sain montrent que cette dernière peut avoir également quelques effets négatifs modérés,

l'étude chez la personne atteinte de troubles neurologiques est primordiale. Il est en effet essentiel de mieux comprendre les fondements et les possibilités offertes par la neuroplasticité (tant fonctionnelle que structurale), ces derniers permettraient par la suite de créer et d'adapter les méthodes de rééducations / réhabilitations pour les rendre plus efficaces. Plus important encore, il est primordial de maintenir un bon environnement socio-culturel, interactif, ce qui permettrait de prévenir de nombreuses pathologies neurodégénératives en réduisant significativement leur impact.

### Bibliographie

- Bach-Y-Rita, P., Collins, C.C., Saunders, B. White, F.A., & Scadden, L. (1969). **Vision substitution by tactile image projection.** *Nature*, 221 (5184), 963 – 964.
- Bach-Y-Rita, P. (1972). **Brain Mechanisms in sensory substitution.** New York, Academic Press, 54, 43 – 45.
- Bach-Y-Rita, P. (1980). **Brain plasticity as a basis for therapeutic procedures.** In Bach-Y-Rita, P., ed., *Recovery of function : Theoretical considerations for brain injury rehabilitation.* Berne : Hans Huber Publishers, 239 – 241.
- Broca, P. (1861). **Remarque sur le siège de la faculté du langage articulé, suivie d'une observation d'aphémie (perte de la parole).** *Bulletin de la société anatomique de Paris*, Vol. 36, 330 – 356.
- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). **Neuroplasticity: changes in grey matter induced by training.** *Nature*, 427, 310 – 312.
- Draganski, B., Gaser, C., Kempermann, G., Kuhn, H.G., Winkler, J., Büchel, C., & May, A. (2006). **Temporal and spatial dynamics of brain structure changes during extensive learning.** *The journal of Neuroscience*, 26, 6314 – 6317.
- Fratiglioni, L., Wang, H-X., Ericsson, K., Maytan, M., & Winblad, B. (2000). **Influence of social network on occurrence of dementia: a community-based longitudinal study.** *Lancet*, 355, 1315 – 1319.
- Grimsley, D.L., & Windholz, G. (2000). **The neurophysiological aspects of Pavlov's theory of higher nervous activity : In honor of the 150th anniversary of Pavlov's birth.** *Journal of the history of the neurosciences*, 9 (2), 152 – 163.
- Laviola, G., Hannan, A.J., Macri, S., Solinas, M., & Jaber, M. (2008). **Effects of enriched environment on animal models of neurodegenerative diseases and psychiatric disorders.** *Neurobiology of Disease*, 31, 159 – 168.
- Levin, H.S., & Graffman, J. (2000). **Cerebral reorganisation of function after brain damage.** New-York: Oxford University Press.

- May, A., Hajak, G., Gänsbauer, S., Steffens, T., Langguth, B., Kleinjung, T., & Eichhammer, P. (2007). **Structural brain alterations following 5 days of intervention: dynamic aspects of neuroplasticity.** *Cerebral Cortex*, *17*, 205 – 2010.
- Merzenich, M.M., Kaas, H.J., Wall, J., Sur, M., Nelson, R.J. & Felleman, D. (1983a). **Topographic reorganization of somatosensory cortical areas 3b and 1 in adult monkeys following restricted deafferentiation.** *Neuroscience*, *8* (1), 33 – 55.
- Merzenich, M.M., Kaas, J.H., Wall, J.T., Sur, M., Nelson, R.J., & Felleman, D. (1983b). **Progression of change following median nerve section in the cortical representation of the hand in areas 3b and 1 in adult owl and squirrel monkeys.** *Neuroscience*, *10* (3), 639 – 665.
- Merzenich, M.M., Nelson, R.J., Stryker, M.P., Cynader, M.S., Schoppmann, A., & Zook, J.M. (1984a). **Somatosensory cortical map changes following digit amputations in adult monkeys.** *Journal of comparative Neurology*, *224* (4), 591 – 605.
- Merzenich, M.M., Jenkins, W.M., & Middlebrooks, J.C. (1984b). **Observations and hypotheses on special organizational features of the central auditory nervous system.** In Edelman, G., Einar Gall, W. & Cawan, W. M. eds., *Dynamic aspects of neocortical function*, New York : Wiley, 397 – 424.
- Merzenich, M.M., Recanzone, G.H., Jenkins, W.M., & Grajski, K.A. (1990). **Adaptative mechanisms in cortical networks underlying cortical contributions to learning and nondeclarative memory.** *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, *55*, 873 – 887.
- Nithianantharajah, J., & Hannan, A.J. (2006). **Enriched environments, experience- dependent plasticity and disorders of the nervous system.** *Nature Reviews Neuroscience*, *7*, 697 – 709.
- Pascual-Leone, A., & Torres, F. (1993). **Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers.** *Brain*, *116*, 39 – 56.
- Pascual-Leone, A., Hamilton, R., Tormos, J.M., Keenan, J.P., & Catala, M.D. (1999). **Neuroplasticity in the adjustment to blindness.** In Grafman, J., & Christen, Y., eds., *Neuronal Plasticity : Building a Bridge From the Laboratory to the clinic*. New York, Springer-Verlag, 94 – 108.
- Penfield, W., & Rasmussen, T. (1950). **The cerebral cortex of man.** New York. Macmillan.
- Pickut, B.A., Van Hecke, W., Kerckhofs, E., Mariën, P., Vanneste, S., Cras, P., & Parizel, P.M. (2013). **Mindfulness based intervention in Parkinson's disease leads to structural brain changes on MRI: a randomized controlled longitudinal trial.** *Clinical Neurology and Neurosurgery*, *115*, 2419 – 2425.
- Renner, M.J., & Rosenzweig, M.R. (1987). **Enriched and impoverished environments.** New York : Springer-Verlag.
- Särkämö, T., Ripollés, P., Vepsäläinen, H., Autti, T., Silvennoinen, H.M., Salli, E., Laitinen, S., Forsblom, A., Soynila, S., & Rodriguez-Fornells, A. (2014). **Structural changes induced by daily music listening in the recovering brain after middle cerebral artery stroke: a voxel-based morphometry study.** *Frontiers in Human Neuroscience*, *17* (8 :245), doi: 10.3389/fnhum.2014.00245.
- Sehm, B., Taubert, M., Conde, V., Weise, D., Classen, J., Dukart, J., Draganski, B., Villringer, A., & Ragert, P. (2014). **Structural brain plasticity in Parkinson's disease induced by balance training.** *Neurobiology of Aging*, *35* (1), 232 – 239.
- Soleimani, M.A., Negarandeh, R., Bastani, F., & Greysen, R. (2014). **Disrupted social connectedness in people with Parkinson's disease.** *British Journal of Community Nursing*, *19* (3), 136 – 141.
- Soltmann, O. (1876). **Experimentelle studien über die funktionen der grosshirns der neugeborenen.** *Jahrbuch für kinderheilkunde und psysische erziehung*, *9*, 106 – 148.
- Taub, E., Miller, N.E., Novack, T.A., Cook, E. W., Fleming, W. C., Nepomuceno, C.S., Connell, J.S., & Crago, J.E. (1993). **Technique to improve chronic motor deficit after stroke.** *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *74* (4), 347 – 354.
- Taub, E., Uswatte, G., & Elbert, T. (2002). **New treatments in neurorehabilitation founded on basic research.** *Nature Reviews Neuroscience*, *3* (3), 228 – 236.
- Taub, E., Uswatte, G., King, D.K., Morris, D., Crago, J.E., & Chatterjee, A. (2006). **A placebo-controlled trial of constraint-induced movement therapy for upper extremity after stroke.** *Stroke*, *37* (4), 1045 – 1049.
- Uswatte, G., & Taub, E. (1999). **Constraint induced movement therapy : New approaches to outcomes measurement in rehabilitation.** In Stuss, D. T., Winocur, G., & Robertson, I. H. eds., *Cognitive Neurorehabilitation*. Cambridge : Cambridge University Press, 215 – 229.
- Wernicke, C. (1874). **Der Aphasische Symptomencomplex.** Breslau: Cohn and Weigert.
- Woollett, K., & Maguire, E.A. (2011). **Acquiring « the Knowledge » of London's layout drives structural brain changes.** *Current Biology*, *21*, 2109 – 2114.
- Würbel, H. (2001). **Ideal homes? Housing effects on rodent brain and behaviour.** *Trends in Neurosciences*, *24* (4), 207 – 211.