

# Implications sociales du développement des neurosciences

## *Quelques pistes pour en débattre avec des lycéens*

Grégoire MOLINATTI<sup>1</sup>

Les neurosciences constituent un domaine de recherche en sciences expérimentales récemment unifié et en pleine expansion. Une revue des « questions socialement vives » soulevées par le développement actuel des neurosciences est proposée. Nous montrons en quoi ces questions, ainsi que leur nécessaire mise en perspective historique, sont difficiles à aborder avec des élèves de lycée dans le cadre d'un enseignement classique. Nous nous focalisons pour cela sur la question des déterminismes du développement et du fonctionnement cérébral.

Dans un deuxième temps, nous discutons des pratiques pédagogiques qui peuvent permettre d'aborder ces questions en classe. L'accent est mis sur la pratique du débat argumenté. L'évolution récente des structures de médiation scientifique place le débat au centre des procédures participatives qui visent à associer les citoyens aux choix scientifiques et techniques. C'est dans cette perspective que nous rendons compte de la démarche de préfiguration à la constitution d'un protocole de débat à travers l'exemple d'*Hippocampe*, une structure nouvelle de coopération entre le monde de la recherche et celui de l'éducation.

## Quelques questions scientifiques socialement vives dans le champ des neurosciences

Les neurosciences peuvent être définies comme un ensemble de disciplines -neurobiologie du développement, neuroanatomie, neurobiologie moléculaire et cellulaire, neurochimie et neuropharmacologie, neuroendocrinologie, neurosciences cliniques, neurophysiologie (incluant l'électrophysiologie), sciences cognitives, sciences du comportement et neurosciences

1. Professeur de SVT, membre d'une équipe de recherche en muséologie et médiation des sciences au Muséum national d'histoire naturelle.

théoriques – qui prennent comme objet d'étude le système nerveux central, son anatomie et son fonctionnement. Cette étude se fait généralement en liaison avec des activités mentales particulières (vision, langage, mémoire...) ainsi que leurs dysfonctionnements éventuels. Les neurosciences résultent d'une construction récente<sup>1</sup>. Elles tentent, selon les mots de J.P. Changeux, une « réunification » de ces différentes approches, avec comme objectif d'identifier, à l'échelle cellulaire et moléculaire, les bases neurales des fonctions cérébrales supérieures propres à l'Homme.

Les préoccupations sociales émergentes associées au développement des neurosciences se traduisent par l'apparition récente du néologisme *neuroethics* dans le vocabulaire contemporain anglo-saxon. En mai 2002, se tenait d'ailleurs à San Francisco, une conférence consacrée à l'exploration du champ des questionnements éthiques associés au développement des neurosciences. Les différentes contributions qui y ont été proposées envisagent les implications éthiques du développement des neurosciences selon trois axes : celui de la politique sociale, celui des pratiques de recherche et enfin celui de la communication avec le public<sup>2</sup>. On interroge donc aujourd'hui la neutralité des concepts scientifiques utilisés en neurosciences et leur utilisation dans la société. Les principales questions éthiques associées au développement de la recherche en neurosciences et aux pratiques neuro-médicales sont, sans prétendre à être exhaustif, de différents ordres.

– La question de société qui s'est historiquement constituée en premier est celle des conflits entre intérêts et/ou défense de la personnalité et intérêt et/ou défense de la société. De nombreux intellectuels se sont penchés sur cette question complexe. Parmi eux Michel Foucault s'est, par exemple, attaché à analyser et à documenter la maladie mentale et sa prise en charge comme une construction historique et sociale<sup>3</sup>. C'est essentiellement dans le domaine de la justice que cette question interroge aujourd'hui l'expertise scientifique. Les traitements prescrits aux États-Unis pour des individus ayant eu un comportement agressif, dans le cadre des *court-ordered-rehabilitations*, posent évidemment la question de leurs conséquences

1. La *Society of Neuroscience* voit le jour en 1970.

2. Le rapport *Neuroethics, mapping the field*, *conference proceedings*, 13-14 mai 2002, San Francisco, California, est disponible en ligne sur <http://www.dana.org/books/press/neuroethics>. Par ailleurs, des éclairages sur ces questions sont proposés notamment dans les travaux du *comité consultatif national d'éthique* relatifs aux neurosciences (dont les avis n°16, 23, 39 et 44, consultables en ligne : <http://www.cene-ethique.fr/francais/start.htm>).

3. Foucault M., *Maladie mentale et psychologie*, 1954 puis 2002, p. 100.

ces à plus long terme, et donc de la liberté individuelle et du respect de la dignité humaine<sup>1</sup>. C'est également le cas, en France, de la prescription de substances anti-androgéniques à des détenus condamnés pour des infractions à caractère sexuel. Par ailleurs, le cadre légal demande une évolution continue quant à la perception de la responsabilité en cas de délit pour des individus sous médication psychoactive. Ce qu'Antonio Damasio avait déjà relevé concernant la responsabilité de certains patients atteints de lésions cérébrales qui les rendaient incapables d'associer à leurs actes un jugement moral<sup>2</sup>.

– En second lieu, il apparaît essentiel de continuer à interroger la pratique de la psychochirurgie. Celle-ci a surtout été développée au milieu du xx<sup>e</sup> siècle autour des pratiques de lobotomie après avoir été initiée à Lisbonne par Egas Moniz, prix Nobel de physiologie et de médecine. Bien que réduite à de rares indications, la neurochirurgie fonctionnelle est encore en vigueur aujourd'hui. Cette interrogation concerne également les lésions associées à certaines interventions neurochirurgicales (exérèse et radiothérapie dans les cas de médulloblastomes<sup>3</sup> par exemple) c'est-à-dire relevant de la neurochirurgie lésionnelle. Parmi les praticiens, deux tendances s'opposent dans ces cas : les uns pensent que la correction de troubles névrotiques graves ou de douleurs intolérables vaut le risque d'un changement mineur de la personnalité, les autres envisagent la personnalité comme un tout psychologique dont on ne peut changer une partie sans modifier l'ensemble. Cette réflexion rejoint celle menée au sujet de la psychopharmacologie mais l'irréversibilité des interventions psychochirurgicales revêt, dans ce cadre, un caractère particulier. Notons également que les praticiens interrogent leur responsabilité face à des patients (patients présentant des troubles de la conscience, nouveau-nés) pour lesquels le libre consentement est problématique ainsi que face à l'appréciation des conséquences de certaines malformations du système nerveux central en maturation. Le professeur Hirsch, chef du service de neurochirurgie à l'hôpital Necker-enfants malades de Paris, précise ainsi que « Le problème est le suivant : la malformation du système nerveux

1. Les molécules concernées sont essentiellement celles de la famille des inhibiteurs de recapture de la sérotonine, dont fait partie le Prozac. Voir Farah M.J., « Emerging ethical issues in neuroscience », 2001, pp. 1123-1129.

2. Damasio A.R., *L'erreur de Descartes*, 2001.

3. Tumeur maligne de la partie postérieure de l'encéphale, comprenant le cervelet et le tronc cérébral.

sera responsable de déficits variables et parfois difficiles à prévoir dans leur intensité. Elle n'est pas mortelle en elle-même. C'est l'ouverture des plans de couverture du système nerveux qui peut être mortelle par l'infraction qu'elle permet. La seule chose que le neurochirurgien peut faire, c'est de fermer. S'il le fait, il assure la survie de l'enfant, s'il ne le fait pas, il laisse au nouveau-né la possibilité, mais de loin pas la certitude, d'une évolution mortelle.<sup>1</sup> »

— Les problèmes liés à la *neuropharmacologie* sont également réactualisés par le développement des neurosciences. Jean Bernard identifie deux interrogations éthiques majeures dans ce domaine : les conséquences individuelles et les conséquences politiques et sociales de l'utilisation d'agents psychotropes, à l'insu ou non des individus<sup>2</sup>. Nous ne développons pas ici ces problèmes du point de vue de l'action thérapeutique individuelle des substances psychoactives. Précisons seulement que la réversibilité des altérations de personnalité induites par ces molécules est en discussion, comme c'est le cas par exemple des inhibiteurs de recapture de la sérotonine<sup>3</sup>. En revanche, on peut envisager la question sous son acception culturelle, où elle rejoint la famille d'autres pratiques addictives. D'autant plus que, dans ce domaine, les enjeux économiques des firmes pharmaceutiques sont énormes. La dimension sociale des implications de la psychopharmacologie questionne le réductionnisme biologique, dans la mesure où la tolérance comme la réponse à une drogue n'est pas dépendante seulement du cerveau mais également de l'environnement et particulièrement de l'environnement culturel<sup>4</sup>.

Notons que l'on peut également interroger l'utilisation des substances psychoactives hors pathologie en vue d'accroître ou de contrôler un fonctionnement normal (humeur, appétit, mémoire, libido...).

L'utilisation de *psycho-technologies de contrôle du comportement* n'est pas une question nouvelle. Des techniques comportementales telles que le « lavage de cerveau » (déstabilisation, déprivation – alimentaire par exem-

ple –, récompense), utilisées dans certaines prisons californiennes (Vacaville), sont susceptibles de modifier de façon importante et durable le comportement des individus qui les subissent en mettant en danger leur libre arbitre ainsi que leur identité personnelle. De nombreux auteurs interrogent évidemment les fondements de ces instruments de contrôle social selon lesquels il existerait un consensus social sur les propriétés de comportement qu'il s'agirait de contrôler.

De même, la mise en œuvre de *technologies neuro-comportementales* fait partie des questions éthiques qui concernent le champ des neurosciences. C'est par exemple le cas de l'implantation d'électrodes pour stimuler certaines fonctions ou certains comportements. Même si les perspectives d'utilisation des interfaces homme-machine semblent aujourd'hui bien lointaines, il existe déjà, du fait du développement de l'informatique, des implants micro-électroniques capables de remplacer un système sensoriel ou moteur endommagé. C'est le cas de l'utilisation des implants cochléaires utilisés déjà depuis une vingtaine d'années chez des sourds adultes. Ces implants assurent une activation du nerf auditif grâce à des impulsions électriques déterminées par les signaux sonores reçues par le sujet. Leur utilisation chez des enfants sourds pré-linguaux (avant l'acquisition du langage) pose la question de l'impact des informations, non physiologiques, fournies par la prothèse sur le développement des structures nerveuses centrales. Notons que certaines applications, comme l'implantation intracérébrale d'électrodes de stimulation, développée récemment dans le cadre du traitement de la maladie de Parkinson, font l'objet d'un consensus entre médecins et patients en raison de leur efficacité d'une part et surtout de leur caractère réversible. Une réflexion globale semble cependant nécessaire quant à l'utilisation de ce type de thérapies. Il faut y inclure le développement des techniques de stimulations magnétiques transcrâniennes (TMS) qui offrent la possibilité d'activer ou d'inhiber des régions cérébrales spécifiques.

Les conséquences des *neurotransplantations* et des *greffes de neurones* sur la viabilité du patient – et sur sa personnalité même – posent, en l'état actuel des connaissances, également question. La greffe de neurones constitue un espoir thérapeutique majeur en ce qui concerne les maladies neurodégénératives. Les implantations cellulaires ont été développées au début des années 1980 dans le cas du traitement de la maladie de Parkinson par des équipes suédoises et mexicaines. Les implantations, qui sont soit des auto-greffes de cellules médullo-surrénales ou de cellules génétiquement modifiées, soit des greffes de cellules fœtales, se font essentiellement au niveau du

1. In Hervé C., *Médecine, biologie, quelles questions sur l'éthique aujourd'hui ?*, 1992.

2. Bernard J., *La bioéthique*, 1996, pp. 61-69.

3. Moreno J.D., « Neuroethics : an agenda for neuroscience and society », 2003, pp. 149-153.

4. Comme le rappelle Jean Didier Vincent, « Les cultures (de l'alcool, du tabac) se sont constituées. Mais on a vu par contre les benzodiazépines, troisième drogue majeure de notre culture, être introduites dans celle-ci de façon volontaire, avec une publicité et par une complicité peu culturelle des médecins qui les distribuent », in Hervé C., 1992, *op. cit.*

noyau caudé et du noyau lenticulaire. Le fort taux d'échec de cette thérapie et son caractère irréversible posent la question de son application chez l'homme. Devant les problèmes posés (amélioration transitoire de l'état des patients, nombreuses complications post-opératoires), dans un premier temps, un motif avait préconisé l'arrêt des greffes de neurones chez les patients parkinsoniens. Depuis une dizaine d'années, les travaux scientifiques internationaux relatifs aux allogreffes intracérébrales de neurones fœtaux vont dans le sens d'une amélioration de l'état des patients parkinsoniens. Des questions restent cependant posées relatives à la « stabilité génotypique et phénotypique de ces cellules après la greffe » et à l'« intégration anatomique et fonctionnelle des neurones ainsi créés » comme le fait remarquer Marc Peschanski<sup>1</sup>. Certains, comme Jean Bernard, affirment qu'il est difficile d'évaluer l'influence possible de telles greffes sur la personnalité même du patient. La question est particulièrement préoccupante lorsqu'il s'agit de cellules susceptibles de se différencier et de s'intégrer au réseau neuronal.

L'une des questions essentielles associées au développement des neurosciences concerne enfin le *libre arbitre* à travers le spectre du réductionnisme des états mentaux à des états cérébraux et à leurs déterminismes. L'accroissement des connaissances relatives aux bases neuronales des états mentaux laisse envisager la possibilité de les contrôler. Le développement de la neuro-imagerie propose des corrélations entre marqueurs physiologiques cérébraux activés localement et facultés cognitives. C'est par exemple le cas de la récente découverte des « neurones miroirs » ou « systèmes d'empathie » élargiment mis en évidence chez le singe par l'équipe italienne du professeur Rizzolatti, découverte généralisée ensuite chez l'homme. L'empathie est définie comme la faculté de s'identifier à quelqu'un, de ressentir ce qu'il ressent. Ce modèle présente les corrélats d'activité physiologique cérébrale associés à une situation où un sujet observe un autre sujet en action. Par ailleurs les régions d'activité cérébrale correspondent à celles du cortex pré-moteur qui sont activées lorsque le sujet lui-même réalise l'action. L'observateur « rejoue » les processus moteurs qui participent à la réalisation de l'action qu'il observe en train de se faire<sup>2</sup>.

1. In Gros F., *Les Cellules souches adultes et leurs potentialités d'utilisation en recherche et en thérapeutique : comparaison avec les cellules souches embryonnaires*, 2000, pp. 54-55.
  2. Rizzolatti G. & al., « Premotor cortex and the recognition of motor actions », 1996, pp. 131-141.
- Decety J., « L'empathie ou l'émotion partagée », 2003.

Jonathan Moreno, de l'université de Virginie, pose la question de l'association entre jugements sociaux et processus physiologiques sensoriels, en s'appuyant sur l'exemple de résultats récents de neuroimagerie fonctionnelle qui avancent une implication de la région fusiforme dans la reconnaissance de visages d'individus de la même « ethnie » que soi<sup>1</sup>. À la lumière de ce type de publication, on est en droit d'interroger la place laissée au libre arbitre dans le cadre du réductionnisme matérialiste des fonctions psychologiques. Pierre Clément a, pour sa part, relevé le caractère volontiers sexiste de certaines études de neuro-imagerie visant à mettre en évidence des différences entre cerveau masculin et cerveau féminin<sup>2</sup>. Par ailleurs, la question se pose de l'utilisation, par des entreprises privées, de certains tests psychologiques déjà mobilisés dans des protocoles d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf).

D'un point de vue médical, la difficulté à prendre en compte la variabilité cérébrale interindividuelle au niveau anatomique et fonctionnel interroge la validité des techniques de neuroimagerie concernant l'émission de diagnostics relatifs, par exemple, aux maladies mentales.

L'*interaction entre neurosciences et génétique* fait également partie de ces interrogations éthiques. La première de ces interrogations concerne la protection des personnes qui participent à des protocoles de recherche relatifs à l'implication de facteurs génétiques dans les pathologies mentales. Ces protocoles impliquent souvent des familles entières qui peuvent, de ce fait, être l'objet de stigmatisation et de discrimination. Si cette protection est déjà envisagée par la loi concernant d'autres recherches biomédicales, elle est, dans le cas particulier des maladies mentales, rendue plus délicate en ce qui concerne l'appréciation du libre consentement<sup>3</sup>. La confidentialité des informations semble être essentielle à la fois vis-à-vis de la sphère publique et privée mais également vis-à-vis des différents membres de la famille qui participent à de telles études. Enfin, se pose le problème de l'information des individus ayant participé aux expérimentations concernant leurs propres risques de développer une maladie mentale.

1. Moreno J.D., « Neuroethics : an agenda for neuroscience and society », 2003, pp. 149-153.
2. Clément P., « Cerveaux d'hommes et de femmes : l'idéologie était déjà dans la revue Nature », 1997, pp. 267-272.
3. Les données correspondantes sont présentées dans le rapport « Mental disorders and genetics : bridging the gap between research and society », U.S. Congress, Office of Technology Assessment, U.S. Government printing Office, September 1994, accessible en ligne : <http://www.www.princeton.edu/cgi-in/byteserv.prl/-ota/disk1/1994/9420/942003.PDF>

Une publication récente rapporte que les membres d'un groupe d'hommes qui ont, à la fois, été abusés sexuellement pendant leur enfance et qui présentent une altération du gène codant pour la monoamine oxydase A, sont neuf fois plus sujets à commettre des crimes ou des actes antisociaux que des sujets contrôles. L'interprétation de ce type de résultats peut-elle se satisfaire d'un réductionnisme caricatural ? Des chercheurs tels que Andrew Wilkie soulignent, dans le cas de maladies complexes, comme dans celui de la génétique du comportement, l'insuffisance de la prédictivité des tests génétiques, étant donnée la complexité des interactions entre génome et environnement. Pour cet auteur, la déconstruction du déterminisme génétique est une protection nécessaire contre l'utilisation, par des pouvoirs peu scrupuleux, des informations génétiques dans un but de discrimination. Certains s'inquiètent également de l'actualité d'un véritable « racisme scientifique » dans le mode même de constitution de certains protocoles<sup>1</sup>.

Cette « déconstruction » du déterminisme génétique strict semble d'autant plus nécessaire que les gènes ont acquis un statut social extrêmement prégnant auprès du grand public. Nombreux sont les auteurs qui ont analysé ainsi l'appropriation sociale de la génétique. On peut, à titre d'exemple, citer l'ouvrage, largement documenté, des sociologues Dorothy Nelkin et Susan Lindee qui envisagent la « mystique de l'ADN » et sa prégnance dans la sphère sociale<sup>2</sup>.

### Un thème difficile à aborder dans le cadre d'une éducation formelle « classique »

Une approche historique, non développée ici, permet d'appréhender la façon dont s'est construite la question sur laquelle nous nous sommes focalisés : l'opposition entre déterminisme génétique et épigénétique dans le domaine des sciences qui ont pris le cerveau comme objet. Elle permet également de pointer différents obstacles épistémologiques qui rendent difficile l'enseignement de ce thème.

1. Wilkie A.O.M., « Genetic prediction : what are the limits ? », 2001, pp. 619-633.

Salomon J.C., « Le racisme scientifique », 1996.

2. Nelkin D. & Lindee S., *La mystique de l'ADN, pourquoi sommes nous fascinés par le gène ?*, 1998.

Salomon J.C., *op. cit.*

Le premier d'entre eux concerne la façon d'envisager les relations de l'organisme à son milieu, ainsi que les différents types de causalité qui sont proposés en biologie. Les positions environnementalistes et innéistes se sont alternés et ont parfois coexisté. Ainsi par exemple, quand l'éthologie animale opère, avec le béhaviorisme, un retournement du rapport entre l'organisme et son milieu, la révolution génétique réaffirme l'autonomie du vivant par rapport au milieu.

Un obstacle réel concerne également la pluridisciplinarité du champ comme l'illustre bien l'épistémologie du concept de neuroplasticité. La découverte de la plasticité remet par exemple en cause la conception finaliste du développement qui a longtemps été un frein, au moins en psychologie, à la notion d'adaptation. Par ailleurs, ce concept participe du rapprochement, dans les années 1970, des différentes disciplines constitutives des neurosciences. Comme le rappelle Helge Kragh, si la neurologie et les scientifiques praticiens constituent historiquement le « noyau dur » des neurosciences, elles se nourrissent d'apports issus de la physique, de la chimie, de la psychologie, de la philosophie, des sciences cognitives et computationnelles. Plus que dans tout autre domaine des sciences expérimentales, les « humanités » jouent un rôle important dans l'avancement des idées. Or, le fait que les neurosciences posent des questions qui rejoignent certaines interrogations philosophiques, telles que le libre arbitre ou la nature de l'âme, rend difficile leur approche historique et leur enseignement<sup>1</sup>. Cette pluridisciplinarité constitue sans doute une importante difficulté, non seulement pour qui en aborde l'épistémologie, mais aussi d'un point de vue didactique. L'enseignant a souvent du mal à réunir, dans sa classe, la pluralité des éclairages disciplinaires nécessaires. Par ailleurs l'interdisciplinarité du champ nécessite de mettre en place des dispositifs pédagogiques susceptibles de transcender les frontières disciplinaires classiques.

Il apparaît enfin une très forte perméabilité entre la recherche de déterminismes en neurosciences, que ce soit du côté innéiste ou environnementaliste, et les idéologies, souvent extrémistes d'ailleurs. Sans aller plus avant dans le cadre de cet article, on peut par exemple rappeler la forte implication sociale de l'innéisme génétique qui, relayant le spiritualisme, rencontre, à

1. Kragh H., « Problems and challenges in the historical study of the neurosciences », 2002, pp. 55-62.

l'aube du xx<sup>e</sup> siècle, l'adhésion d'une bonne partie des physiologistes, des psychologues, des éthologistes et des généticiens<sup>1</sup>.

La conception bipolaire dominante d'opposition entre les parts respectives des déterminismes innés et acquis constitue à notre sens un obstacle majeur. D'autant plus que le traitement médiatique de la biologie a largement contribué à sa propagation en se satisfaisant d'explications causales simplistes (le gène du crime, de l'homosexualité, de l'intelligence...). Les enjeux idéologiques associés à la question de la liberté et du déterminisme sont omniprésents dans l'histoire de cette partie des sciences de la vie. Ainsi, Lorenz remarque que la controverse, voire l'opposition radicale, entre mécanistes (béhavioristes et réflexologues) et vitalistes (partisans de la psychologie de la forme qui invoquent des facteurs supra-naturels inaccessibles à une quelconque explication causale) a sans doute constitué un frein idéologique fort à une approche analytique objective des comportements innés<sup>2</sup>. Anne Harrington stigmatise, elle, la tendance holistique de la biologie de l'entre deux guerres en Allemagne, et surtout de la psychologie et de la neurologie. Selon elle, ce courant de pensée emprunte aussi bien au champ de la connaissance scientifique qu'à celui de l'idéologie culturelle. Elle souligne que, dans la République de Weimar, la perception holistique du monde avait souvent un accent politique<sup>3</sup>.

Le sujet qui nous intéresse est donc à la fois contraint par les représentations sociales et les nourrit en retour. François Jacob souligne cette influence réciproque et précise, en ce qui concerne les neurosciences, que « le cerveau humain a un tel besoin d'unité et de cohérence que toute théorie de quelque importance risque d'être utilisée de manière abusive et de déraiper vers le mythe<sup>4</sup> ».

Il existe donc une réelle difficulté à enseigner ce thème dans le cadre de l'éducation formelle, d'autant plus que les enseignants de sciences de la vie et de la Terre ont souvent eu une formation disciplinaire centrée sur une approche réductionniste et positiviste. Pour autant, il semble nécessaire que les élèves prennent conscience de la diversité des points de vue, des éventuels conflits d'intérêt et de la distinction entre opinions et connaissances.

1. Selon la très belle expression de S.J. Gould, « Les métaux (de la crânioscopie de Gall, ndr) ont aujourd'hui cédé la place aux gènes, mais l'argument de base ne s'est pas modifié : les rôles sociaux et économiques reflètent exactement la construction innée des individus ». In Gould S.J., *La mal-mesure de l'homme*, 1983.
2. Lorenz K., *Trois essais sur le comportement animal et humain*, 1970.
3. Cité par Kiragh, 2002, *op. cit.*
4. Jacob F., *Le jeu des possibles, Essai sur la diversité du vivant*, 1981, p. 108 et p. 44.

Concernant les pratiques pédagogiques, nous défendons la nécessité d'intégrer dans l'enseignement de notre discipline des éclairages épistémologiques. Nicole Hulin rappelle que, si l'enseignement de l'histoire des sciences a fini par intégrer nos directives officielles, elle reste marginale, faute d'une réelle formation des enseignants<sup>1</sup>.

Ainsi, l'analyse, par les élèves, de textes historiques choisis parmi les auteurs qui ont été les acteurs de ces débats peut permettre de comprendre comment cette opposition entre génétique et épigénétique s'est construite<sup>2</sup>. Cet obstacle est à surmonter pour envisager des modèles interactifs entre le génome et le milieu, voire même l'absence potentielle de déterminisme si l'on envisage de reconnaître la place des contingences aléatoires<sup>3</sup>. Notons que, jusqu'à la récente réforme des programmes, l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre ne proposait pas d'envisager la construction de l'identité biologique comme une interaction entre facteurs génétiques et épigénétiques. Le dépassement de cet obstacle, véritable « défi citoyen », est nécessaire pour permettre de penser la complexité du vivant<sup>4</sup>. Par ailleurs, la conception dualiste persistante relevée chez les adolescents réaffirme combien, dans cette perspective, le défi est de taille. Dans le domaine précis des neurosciences, peu d'efforts ont été réalisés, dans l'enseignement, pour combler le fossé entre le psychique et le somatique ; exception faite du concept de stress qui a été presque immédiatement supprimé après son introduction dans les programmes en 1989.

Par ailleurs, cette mise à distance du fait scientifique que propose le relativisme historique peut apparaître dangereuse pour les enseignants de notre discipline. Mais, rappelons que si l'approche épistémologique montre que tout modèle est susceptible de rectifications ce fait n'est ni nécessaire ni systématique. Comme l'analyse Guy Rumelhard, « approximation ne signifie pas relativisme<sup>5</sup> ». Ce même auteur défend la nécessité d'un enseignement des sciences de la vie qui se ferait en écho avec les enseignements de philo-

1. Hulin N., « Histoire des Sciences, Histoire de l'enseignement scientifique et formation des enseignants », 1998, p. 9.
2. Les textes originaux de nombre d'auteurs (F.J. Gall, F. Galton, A. de Candolle...) qui ont alimenté ce débat scientifique, à la fin du xix<sup>e</sup> siècle particulièrement, sont disponibles en ligne sur le site de la bibliothèque nationale de France : <http://gallica.bnf.fr>
3. Girault Y., « Déterminisme versus aléatoire : réflexions sur des obstacles épistémologiques et mathématiques à la compréhension et à l'enseignement du vivant », 2000, pp. 109-126.
4. Clément P., « Cerveaux d'hommes et de femmes : l'idéologie était déjà dans la revue Nature », 1997, pp. 267-272.
5. Rumelhard G., « Sciences de la vie, philosophie, sciences humaines », 2000.

sophie et de sciences humaines d'autant que les implications sociales des questions qui nous intéressent (questions éthiques, de santé, importance des concepts de normalité et de normativité...) sont fortes. Nous avons relevé combien l'enseignement des éventuels déterminismes de l'individuation cérébrale nécessite des éclairages multidisciplinaires. Cette approche paraît essentielle pour comprendre, non seulement la construction des modèles historiques des déterminismes génétiques et épigénétiques du développement cérébral, mais aussi les modèles interactionnistes plus récents.

On comprend bien les difficultés rencontrées par l'éducation formelle pour élaborer un cadre et des pratiques pédagogiques susceptibles de répondre à ces exigences de formation. Nous voulons défendre dans cet article le fait que la pratique du débat argumenté peut permettre aux lycéens et à leurs enseignants de dépasser certaines difficultés que nous avons identifiées. Ces procédures de débat, qui ont essentiellement été mises en œuvre au sein de l'éducation civique juridique et sociale, favorisent un rapport non dogmatique au savoir. Cependant, c'est, dans un premier temps, dans le cadre de l'éducation non formelle des sciences de la vie que ces procédures ont fait l'objet de recherches.

### *Le débat argumenté comme dispositif visant à faciliter une approche multidisciplinaire et une mise en perspective historique*

Les musées et centres de culture scientifique et technique se sont, depuis plusieurs décennies, engagés à « mettre la science en culture et en débat » en plaçant le visiteur au centre du dispositif muséal (évaluations, interactivité...). Plus récemment, la recherche de nouvelles formes de débats relationnels aux relations sciences/société, appréhendés comme espace de négociation des représentations entre experts scientifiques, décideurs politiques, groupes d'intérêt, institutions de vulgarisation scientifique et public, se développe. Cette démarche s'inscrit dans la constitution d'un réel espace public scientifique au sens d'un « usage public de la raison<sup>1</sup> ». Elle se définit en rupture avec un transfert linéaire de connaissances des experts vers les profanes.

Cette tendance de la médiation scientifique et technique accompagne le développement de procédures participatives visant à associer les citoyens

1. Rasse P., *Les musées à la lumière de l'espace public*, 1999.  
Le Marec J., « Le musée à l'épreuve des thèmes sciences et société : les visiteurs en public », 2001, pp. 105-122.

aux choix scientifiques et techniques. Ces procédures ont été initiées dans les années 1980 au Danemark sous la forme de *conférences de consensus*. Elles se sont ensuite diversifiées, avec des adaptations propres à chaque pays (*Technology Assessment* et *Forums de discussion* aux États-Unis, *Publiforum* en Suisse, *Conférences de citoyens* en France, *Panels de citoyens* et *Noyaux d'intervention participative* en Allemagne...).

Des courants de recherche, essentiellement en sociologie des sciences et en sciences de l'information et de la communication, se sont intéressés à ces pratiques pragmatiques de débat public. Elles en ont pointé la complexité, les limites et certains écueils.

Parmi ces écueils, les risques d'instrumentalisation de ce type de procédure, comme c'est le cas de nombre de « débats » proposés dans les médias de masse, ont notamment été relevés. Dans ce sens, le débat est mobilisé pour légitimer, plus que pour élaborer, une prise de décision. Pour Alan Irwin cet écueil porte essentiellement sur l'élaboration des questions et la constitution de l'audience. Irwin critique également le transfert linéaire des connaissances depuis les experts vers les profanes (*vision up to bottom*) et remet en question le *deficit model* souvent à l'œuvre dans ce type de procédure. Ce modèle se focalise sur les déficits de compréhension dont font preuve les membres du panel de profanes. Alors que les représentations qu'ils ont des institutions scientifiques par exemple éclairaient aussi leurs prises de position<sup>1</sup>.

Les membres de l'*office parlementaire des choix scientifiques et techniques* qui ont eu à mener, en France, les conférences de citoyens, ont proposé d'appréhender ce type de débats comme des « systèmes ayant des capacités d'apprentissage collectif », issues de la confrontation de points de vue différents<sup>2</sup>. Dans cette perspective, la capacité à débattre de questions sciences / société constitue un enjeu de formation majeur des futurs citoyens. On assiste d'ailleurs actuellement à un regain d'intérêt des recherches en didactique des sciences pour la pratique du débat argumenté comme mode d'appropriation de savoirs, savoir-faire et savoirs-être. Cette démarche en-

1. Irwin A. & Wynne B., *Misunderstanding Science? The public reconstruction of science and technology*, 1996.  
Irwin A., « Constructing the scientific citizen: science and democracy in the biosciences », 2001.

Natali J.P., « Le développement des conférences, colloques, débats dans les centres de culture scientifique », 2001, pp. 163-177.  
2. « Méthodes et conduites du débat public », *Les cahiers de JERICCO*, 1998-2000, IUT de Tours.

visage une pratique pédagogique centrée sur les préoccupations des apprenants et concerne donc des thématiques que « l'homme non spécialisé porte en lui <sup>1</sup> ». Il s'agit de mobiliser des savoirs, souvent empruntés à des disciplines différentes, afin de s'exprimer sur des choix éthiques et politiques de société.

La pratique des débats argumentés a initialement fait l'objet d'expériences pédagogiques et de réflexions dans le cadre de l'éducation à la citoyenneté. De nombreuses propriétés de ce type de procédures ont été étudiées : place de l'enseignant, « contractualité » préalable au débat, argumentation versus persuasion, argumentation heuristique versus argumentation polémique<sup>2</sup>...

Plus récemment, des recherches en didactique ont été menées, relativement aux débats sur les implications sociales des sciences. Des études anglo-saxonnes ont ainsi abordé la question de l'enseignement des questions bioéthiques dans le cadre d'un apprentissage en collaboration (*collaborative learning*). Ce sont essentiellement les théories sur lesquelles reposent une prise de décision éthique qui sont envisagées. Ainsi l'approche téléologique (qui vise à s'intéresser aux conséquences d'une prise de décision) semble plus fructueuse, en terme de débat, que l'approche déontologique (basé sur l'idée qu'une action peut être moralement bonne ou mauvaise au-delà de ces conséquences)<sup>3</sup>.

En France, les travaux de Laurence Simonneaux abordent la formation aux débats dans une perspective socioconstructiviste. Ce modèle didactique déjà ancien<sup>4</sup> reconnaît le rôle actif joué par l'élève dans le processus d'apprentissage. Apprentissage auquel il doit donner un sens. Car, l'apprentissage passe par une organisation personnelle du monde et une structuration des connaissances. Par ailleurs, dans cette perspective, les connaissances sont socialement construites. Les savoirs personnels sont étroitement reliés au contexte social et culturel dans lequel ils s'élaborent. Les questions socialement les plus vives concernent le domaine des biotechnologies et celui de l'environnement, du fait de la situation d'incertitude scientifique, des risques plus

1. Chevallard Y., « Questions vives, savoirs moribonds : le problème curriculaire aujourd'hui », 1997.
2. Voir à ce sujet le dossier « Débattre en classe », *Les cahiers pédagogiques*, n°401, février 2002.
3. Johansen C.K., Harris H.E., « Teaching the ethics of biology », 2000, pp. 352-358. Anderson R.P., « Collaborative learning in biology », 1998, pp. 202-205.
4. Pour une synthèse, voir Giordan A., Girault Y., Clément P., *Conceptions et connaissances*, 1994.

ou moins imminents et d'un traitement médiatique important. Ces travaux ont largement nourri notre réflexion quant à la mise en œuvre de situations de débat en classe<sup>1</sup>.

### *Vers un protocole de débat impliquant de nouvelles formes de coopérations entre le monde de la recherche et celui de l'enseignement*

Nous rendons compte ici de la réflexion de préfiguration à l'organisation de débats entre lycéens avec un recours à une expertise scientifique pluridisciplinaire au sein de la structure de médiation scientifique *Hippocampe*<sup>2</sup>.

La pratique pédagogique des débats fait apparaître que l'organisation de ces discussions collectives doit prendre en compte un certain nombre de contraintes relatives au protocole de ces débats. Au-delà des savoirs disciplinaires, les débats mobilisent chez les élèves des *savoir-faire* et des *savoir-être* dont les plus importants semblent être les capacités à argumenter et à analyser les discours produits par les différents acteurs. Pour ce faire, le temps des débats doit être long. Le débat peut par exemple être organisé sur plusieurs sessions, de manière à faciliter la maturation, la digestion des informations et la prise d'un recul critique. Pour faciliter la prise de parole de tous les adolescents (écoute des arguments adverses, participation égale aux échanges d'arguments, refus des arguments d'autorité...), les groupes de débats doivent être restreints (une quinzaine d'élèves) et les discussions doivent être régulées par un modérateur. Il paraît important que ces modérateurs soient neutres vis-à-vis de la thématique étudiée, de manière à pouvoir constituer une réelle aide à la socialisation, à l'émergence et à l'évolution du questionnement. De ce point de vue, l'enseignant qui a la charge en charge n'est pas nécessairement le mieux placé pour jouer ce rôle. La préparation des débats est évidemment d'autant plus riche qu'elle est menée en collabo-

1. Simonneaux L. (dir.), *Les biotechnologies à l'école : un enjeu éducatif pour la formation à la citoyenneté*, 1999.
2. Simonneaux L., « Analysis of didactic strategies to help pupils develop argumentation skills in the field of biotechnology », 2000.
3. *Hippocampe*, ouvert en janvier 2004, est un laboratoire spécialement conçu pour accueillir des élèves de l'enseignement secondaire en stage pendant trois jours. Le laboratoire est hébergé par L'Institut de Neurobiologie de la Méditerranée (Unité 29 de l'INSERM, campus de Luminy, Marseille). Une présentation du projet Hippocampe est disponible en ligne à l'adresse suivante : <http://hippocampe.univ-mrs.fr>



ration avec des collègues d'autres disciplines (histoire, sciences économiques et sociales, philosophie).

Il nous semble important qu'aucune question de débat ne soit arrêtée en début de débat. Il s'agit de proposer éventuellement des thématiques générales au sein desquelles les adolescents des groupes de discussion devront définir collectivement, à l'occasion de la première session, une question qui leur semble légitime. Les thèmes de débat doivent être choisis parce qu'ils présentent un intérêt psychologique pour les adolescents (préoccupations personnelles), un intérêt social (dimension éthique et/ou de santé publique) et un intérêt cognitif et didactique (acquisition de nouvelles connaissances). Cinq thèmes de débat ont ainsi été retenus : - drogues et cerveau, - réparation du système nerveux et cellules souches, - organismes génétiquement modifiés, - gènes, environnement et cerveau, - clonage reproductif / clonage thérapeutique.

Chaque session de débat doit être envisagée pour permettre la mise en place de situations didactiques relatives à des objectifs de formation identifiés. Parmi ces objectifs, nous avons déjà mentionné la nécessité que les lycéens appréhendent la diversité des points de vue. Il est également important qu'ils prennent conscience de la différence entre opinion et connaissance. Des déclarations de chercheurs, de journalistes, de responsables d'association, d'institutions, contemporaines ou « historiques » peuvent être proposées dans cette perspective. Dans un souci de diversité, il peut être judicieux de demander aux adolescents d'alimenter eux mêmes la banque documentaire mise à leur disposition. Cette activité pourra éventuellement donner lieu à une analyse du traitement médiatique des sciences. À l'issue de cette réflexion collective, les adolescents doivent avoir identifié des domaines d'expertise nécessaires. Ce n'est qu'à partir de ce moment que l'on peut envisager de faire intervenir des experts scientifiques pour répondre aux questions formalisées par les adolescents. La difficulté réside dans la possibilité, pour les enseignants, de réunir une expertise la plus large possible (chercheurs en sciences expérimentales, en sciences sociales, historiens des sciences, personnels de santé, responsables d'association, industriels...). Ce type de protocole sous-entend donc que les experts scientifiques sont convoqués pour répondre à des questions précises de manière à éclairer les réflexions des élèves et non pour faire un exposé ou une conférence.

La dernière session de débat se présente alors comme une réelle discussion collective argumentée. Enfin, si l'on veut prendre en compte spécifiquement les caractéristiques psychosociales des adolescents, au premier rang

desquelles la nécessité d'une valorisation de leurs travaux, les débats doivent se clôturer par la rédaction d'un document de synthèse communicable (mise en ligne, article de presse écrite, émission radio...). Ce travail pourra être coordonné par l'enseignant en collaboration avec deux adolescents, qui auront été désignés comme rapporteurs par leurs pairs en début de débat.

La structure *Hippocampe* bénéficie d'une réelle facilité, étant donnée sa localisation sur un campus universitaire, à réunir des scientifiques pour participer aux interactions experts - lycéens. En revanche, et pour les mêmes raisons, sa situation au sein d'un laboratoire de recherche complique certainement la distanciation vis-à-vis de l'activité scientifique, distanciation nécessaire pour envisager des débats science - société dans leur complexité.

Le corpus de données recueilli depuis l'ouverture de la structure est actuellement en cours d'analyse (dix débats, menés sur trois sessions chacun, ont été entièrement enregistrés). Nous focalisons notre attention sur les interactions entre experts et profanes, en essayant de relever les implicites idéologiques des discours produits.

## Conclusion

Les neurosciences apparaissent comme un domaine de recherche en pleine expansion dont l'évolution s'accompagne de nombreuses interrogations éthiques. La mise en perspective historique apparaît extrêmement riche d'exploitations pédagogiques potentielles pour aborder, avec les élèves, les implications sociales des recherches en neurosciences. Nous avons insisté sur le caractère nécessairement pluridisciplinaire de cette approche et l'importance des opinions, omniprésentes dans ce thème de recherche.

Dans le cadre de la classe, l'analyse, par les élèves, de textes scientifiques historiques se prête particulièrement bien à la mise en évidence de la relativité des points de vue et permet d'appréhender la relativité sociale de l'activité scientifique. Si l'enseignant a la possibilité de faire émerger la différence entre opinions et connaissances, il ne peut, concernant les sujets d'actualité, se passer de l'expertise scientifique.

Le débat argumenté apparaît comme un dispositif pédagogique adapté pour aborder les implications sociales de ces recherches. L'apprentissage du débat apparaît également comme un enjeu essentiel de formation pour des futurs citoyens amenés à participer, de manière rationnelle et éclairée, aux choix scientifiques et techniques. Cependant cette procédure complexe est

difficile à mettre en œuvre comme en témoigne les études menées en sociologie, en sciences de l'information et de la communication et en didactique des sciences.

Il semble important, dans ce cadre, de repenser la relation de coopération entre le monde de la recherche et celui de l'enseignement. Dans ce type de procédures, ce sont en effet les jeunes citoyens qui sont producteurs de sens. Leur réflexion collective est centrale et constitue une véritable expertise collective relative à un éventuel choix scientifique et technique.

## En guise de postface

- MAZOYER B., BELLIVEAU J.W., « Les nouveaux progrès de l'imagerie », *La Recherche*, n° spécial 289, Juillet-Août 1996, pp. 26-33.
- SEGBARTH C. & ZIEGLER A. (unité mixte UJF-Inserm U594/IFR1), *Journées de formation « Introduction à la neuroimagerie fonctionnelle et métabolique par RMN »*, Grenoble, 21-26 Novembre 2003.
- VION-DURY J., *Cours de résonance magnétique, spectroscopie et imagerie*, Ellipses, Paris, 2002.
- IMPLICATIONS SOCIALES DES NEUROSCIENCES : EN DÉBATTRE AU LYCÉE
- ANDERSON R.P., « Collaborative learning in biology », *The American biology teacher*, 62, (3), 1998, pp. 202-205.
- BERNARD J., *La bioéthique*, Flammarion, Paris, 1996, pp. 61-69.
- CASPI A & al., « Role of genotype in the cycle of violence in maltreated children », *Science* (297), 2002, pp. 851-854.
- CHEVALLARD Y., « Questions vives, savoirs moribonds : le problème curriculaire aujourd'hui », Actes du colloque *Défendre et transformer l'école pour tous*, Marseille 3-5 octobre 1997.
- CLÉMENT P., « Cerveaux d'hommes et de femmes : l'idéologie était déjà dans la revue *Nature* », in Giordan A., Martinand J.L., Raichvarg D. (éd.), *Actes des XIX<sup>es</sup> journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et industrielles*, Université Paris Sud, 1997, pp. 267-272.
- DAMASIO, A.R., *L'erreur de Descartes*, Odile Jacob, Paris, 2001.
- DECETY J., « L'empathie ou l'émotion partagée », *Pour la science* (309), 2003.
- FARAH M.J., « Emerging ethical issues in neuroscience », *Nature neuroscience* 5 (11), 2002, pp. 1123-1129.
- FOUCAULT M., *Maladie mentale et psychologie*, Quadrige, Paris, 1954 (rééd. 2002), p. 100.
- GIORDAN A., GIRAULT Y. & CLÉMENT P. (dir.), *Conceptions et connaissances*, Peter Lang, Berne, 1994.
- GIRAULT Y., « Déterminisme versus aléatoire : réflexions sur des obstacles épistémologiques et mathématiques à la compréhension et à l'enseignement du vivant », *La didactique de la biologie : recherches, innovations, formations*, Clément P., Dahmani H.R. & Khammar F. (éd.), ATED, Alger, 2000, pp. 109-126.
- GROS F., *Les Cellules souches adultes et leurs potentialités d'utilisation en recherche et en thérapeutique : comparaison avec les cellules souches embryonnaires*, Ministère de la recherche, Paris, 2000, pp. 54-55.
- HERVE C., « Médecine, biologie, quelles questions sur l'éthique aujourd'hui ? », *Actes de la journée d'éthique médicale du 29 novembre 1989*, L'Harmattan, Paris, 1992.

- HULIN N., « Histoire des Sciences, Histoire de l'enseignement scientifique et formation des enseignants », *Bulletin de la société française de philosophie* (116), octobre 1998, p. 9.
- IRWIN A., WYNNE B., *Misunderstanding Science ? The public reconstruction of science and technology*, Cambridge University Press, 1996.
- IRWIN A., « Constructing the scientific citizen: science and democracy in the biosciences », *Public Understanding of Science* 10 (1), 2001.
- JACOB F., *Le jeu des possibles, Essai sur la diversité du vivant*, Fayard, Paris, 1981, p. 108 et p. 44.
- JOHANSEN C.K., HARRIS H.E., « Teaching the ethics of biology », *The American biology teacher* 62 (5), 2000, pp. 352-358.
- KRAGH H., « Problems and challenges in the historical study of the neurosciences », *Journal of the History of the Neurosciences* 11 (1), 2002, pp. 55-62.
- LE MAREC J., « Le musée à l'épreuve des thèmes sciences et société : les visiteurs en public », *La science dans la cité* (46), Quadermi, Paris, 2001, pp. 105-122.
- LORENZ K., *Trois essais sur le comportement animal et humain*, (1<sup>er</sup> éd. 1965), Seuil, Paris, 1970.
- MORENO J.D., « Neuroethics : an agenda for neuroscience and society », *Nature* (4), février 2003, pp. 149-153.
- NATALI J.P., « Le développement des conférences, colloques, débats dans les centres de culture scientifique », *La science dans la cité* (46), Quadermi, Paris, 2001, pp. 163-177.
- NELKIN D. & LINDEE S., *La mystique de l'ADN, pourquoi sommes nous fascinés par le gène ?*, Belin, Paris, 1998.
- RASSE P., *Les musées à la lumière de l'espace public*, L'Harmattan, Paris, 1999.
- RIZZOLATTI G., FADIGA L., GALLESSE V. & FOGASSI L., « Premotor cortex and the recognition of motor actions », *Cognitive Brain Research* (3), 1996, pp. 131-141.
- RUMELHARD G., « Sciences de la vie, philosophie, sciences humaines », *Aster* (30), 2000, pp. 169-192.
- SALOMON J.C., « Le racisme scientifique », *Alliage* (28), 1996.
- SIMONNEAUX L. (dir.), *Les biotechnologies à l'école : un enjeu éducatif pour la formation à la citoyenneté*, Éducagri, Dijon, 1999.
- SIMONNEAUX L., « Analysis of didactic strategies to help pupils develop argumentation skills in the field of biotechnology », *Proceedings of the International Symposium « BioEdu 2000 » The Challenge of the next Century*, 15-18 Mai 2000, IUBS-CBE, 2000.

WILKIE A.O.M., « Genetic prediction : what are the limits ? », *Stud. Hist. Phil. Biol. & Biomed. Sci.* 32 (4), 2001, pp. 619-633.

#### POSTFACE

CHANGEUX J.P., *L'Homme de vérité*, Odile Jacob, Paris, 2002.

LAMBERT D. & REZSOHAZY R., *Comment les pattes viennent au serpent. Essai sur l'étonnante plasticité du vivant*, Flammarion, Paris, 2004.

MARTINAND J.L., « L'éducation technologique à l'école moyenne en France : Problèmes de didactique curriculaire », *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies* 3 (1), 2003, pp. 101-106.

IGEN - SVT, *Place de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre dans l'acquisition d'une culture scientifique par les élèves des 1<sup>re</sup> L et ES*, Rapport IGEN, n° 2003-101, MEN, Paris, 2003.

#### Lectures recommandées

##### ACTUALISATION ET APPROFONDISSEMENT DES CONNAISSANCES

ANDRIEU B., *L'invention du cerveau*, Pocket, 2002.

BEAR M.F., CONNORS B.W. & PARADISO M.A., *Neurosciences. À la découverte du cerveau* (Nieoullon A., trad.), Pradel, Rueil-Malmaison, 2002, ch. 10-11-12-22-23-24.

CLARKE E. & DEWHURST K., *Histoire illustrée de la fonction cérébrale*, Dacosta, Paris, 1984.

CHANGEUX J.P., *L'Homme de vérité*, Odile Jacob, Paris, 2002.

DEHAENE S., *La bosse des maths*, Odile Jacob, 2003.

DEHAENE S., *Le cerveau en action*, PUF, 1998.

DUPONT J.C., *Histoire de la mémoire*, PUF, Paris, 1999.

DUPONT J.C. (dir.), *Histoires de la mémoire. Pathologie, psychologie et biologie*, Vuibert, Paris, 2005.

ÉDELINÉ J.M., « Plasticité ou stabilité des systèmes sensoriels adultes ? », *Découverte* (282), 2000, pp. 42-50.

EDELMAN G.M., *Plus vaste que le ciel - Une nouvelle théorie générale du cerveau*, Odile Jacob, 2004.

EDELMAN G.M., *Biologie de la conscience*, Odile Jacob, 2000.

GAONACH D. & LARGAUDERIE P., *Mémoire et fonctionnement cognitif : la mémoire de travail*, Armand Colin, Paris, 2000.

GAZE R.M. & TAYLOR J.S.H., « Plasticité du système nerveux central », in Gregory R.L. (dir.), *Le cerveau, un inconnu. Dictionnaire encyclopédique*, Robert Laffont, Paris, 1993, pp. 1044-1051.

GAZZANIGA M.S., IVRY R.B. & MANGUN G.R., *Neurosciences cognitives. La biologie de l'esprit* (Coquery J.M., trad.), De Boeck Université, Bruxelles, 2001, ch. 7-12.

JEANNEROD Marc, *Le cerveau intime*, Odile Jacob, 2005.

LAMBERT D. & REZSOHAZY R., *Comment les pattes viennent au serpent. Essai sur l'étonnante plasticité du vivant*, Flammarion, Paris, 2004.

POSNER M.I. & RAICHEL M.E., *L'esprit en images* (Crommelinck M., Dubois S. & Rossion B., trad.), De Boeck Université, Bruxelles, 1998.

PURVES D., AUGUSTINE G.J., FITZPATRICK D., KATZ L.C., LAMANTIA A.S. & McNAMARA J.O. (dir.), *Neurosciences*, De Boeck Université, Bruxelles, 1999, ch. 11-21-22-23.

PURVES D. & LICHTMANN J.W., *Principles of neural development*, Sinauer Associates Inc, Sunderland (MA), 1985.

RAMACHANDRAN V.S. & BLAKESLEE S., *Le fantôme intérieur* (Garène M., trad.), Odile Jacob, Paris, 2002.

ROSENZWEIG M.R., LEIMAN A.L. & BREEDLOVE S.M., *Psychobiologie* (Bonaventure N. & Will B., trad.), De Boeck Université, Bruxelles, 1998, ch. 10-17-18.

SQUIRE L. & KANDEL E.R., *La mémoire. De l'esprit aux molécules* (Desgranges B. & Eustache F., trad.), De Boeck Université, Bruxelles, 2002.

WEIDMAN N.M., *Construction de la psychologie scientifique. Karl Lashley et la controverse sur l'esprit et le cerveau* (Parot F., trad.), De Boeck Université, Bruxelles, 2001.

WEIL-BARAS A. (dir.), *L'homme cognitif*, PUF, Paris, 1993.

*Cerveau, Pour la Science*, n° spécial 302, décembre 2002.

*Cerveau sans mémoire, La Recherche*, hors série n° 10, janvier-mars 2003.

*La mémoire, La Recherche*, dossier n° 22, février-avril 2006.

*La mémoire, La Recherche*, n° spécial 297, juillet-août 1994.

*La mémoire et l'oubli, La Recherche*, n° spécial 344, juillet-août 2001.

*La mémoire, le jardin de la pensée, Dossier Pour la Science*, hors série, avril-juillet 2001.

*Le cerveau et la mémoire, Science et vie junior* (32), avril 1998.

*Le cerveau en question, Revue du palais de la découverte* (282), novembre 2000.

#### IMAGE

DROUIN A.M., « Des images et des sciences », *Aster* (4), 1987.

HOUDÉ O., MAZoyer B., TZOURIO-MAZoyer N. (dir.), *Cerveau et psychologie - Introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle*, PUF, Paris, 2002.

- JOLY M., *Introduction à l'analyse de l'image*, Nathan, Paris, 1993.
- MAZoyer B., *L'imagerie cérébrale fonctionnelle*, PUF, coll. Que sais-je ?, Paris, 2001.
- SCARD M., *La fabrique du regard*, Odile Jacob, Paris, 1998.
- Voir dans le cerveau, La Recherche*, Hors série n° 289, juillet-août 1996.
- ASPECTS ÉPISTÉMOLOGIQUES
- BERTHOZ A. (dir.), *Leçons sur le corps, le cerveau et l'esprit*, Alain Berthoz, Odile Jacob, 1999.
- JEANNEROD M., *Le cerveau intime*, Cité de Sciences et de l'Industrie/Odile Jacob, Paris, 2002.
- CANGUILHEM G., *La connaissance de la vie*, Vrin, Paris, 1989.
- GOULD S.J., *La mal-mesure de l'homme*, Ramsay, Paris, 1983.
- MALABOU C., *Que faire de notre cerveau ?*, Bayard, Paris, 2004.

## ASPECTS ÉTHIQUES ET QUESTIONS DE SOCIÉTÉ

- Concernant les thématiques scientifiques ayant des implications sociales fortes, les instituts de recherche tels que l'INSERM, le CNRS et l'INRA mettent à disposition en ligne, sur leur site respectif, des dossiers de synthèse scientifique. On peut aussi consulter en ligne les avis du CNE, Comité national d'éthique. Également :
- Interactions langagières 1*, revue *Aster*, n° spécial 37, INRP, 2003 ;
- Méthodes et conduites du débat public* (3 cahiers : travaux du groupe JERICO), IUT de Tours/Université François Rabelais, 2000.

## Table de illustrations

Étude des réflexes médullaires chez la Grenouille	31
Extrait de Vincent, <i>Sciences naturelles, Terminale D</i> , Vuibert, 1971, p. 75. © Vuibert	
Neurones d'association dans la moelle épinière (lois de Pfliüger)	31
Extrait de Vincent, <i>Sciences naturelles, Terminale D</i> , Vuibert, 1971, p. 78. © Vuibert	
Expérience de Pavlov sur les réflexes conditionnels	33
Extrait de Campan & Paniel, <i>Biologie Terminale D</i> , Hachette, 1967, p. 87. © Hachette	
Homonucle moteur	34
Extrait de <i>Biologie Terminale C</i> , Nathan, 1980, p. 215. © Nathan	
Trajet des messages nerveux dans le réflexe myotatique	40
D'après <i>Annales du baccalauréat - 1998</i> , Vuibert, p.151	
Intégration synaptique avec intervention de PPSE et PPSI	41
D'après <i>Annales du baccalauréat - 1998</i> , Vuibert, p.74	
Utilisation de la technique du Patch-clamp	42
D'après sujet du baccalauréat, Amérique du Nord, juin 1998, DR	
Récepteurs à l'acétylcholine et au GABA	43
D'après sujet du baccalauréat, métropole, septembre 1996, DR	
La tablette de cire, représentation analogique de la mémoire	62
D'après Descartes, 1664	
Fonctions corticales d'après O. et C. Vogt	64
D'après Vogt & Vogt, 1926, © DaCosta, DR	
Aires corticales de Brodmann chez l'homme	65
D'après Brodmann, 1909	
Homonculi de Penfield	66
D'après Penfield & Rasmussen, 1950, © DaCosta, DR	
Labyrinthes de Lashley	67
D'après Lashley, 1929	
Expérience de Sperry (retournement de l'œil chez la grenouille)	68
D'après Sperry, <i>Journal of experimental zoology</i> , 1943, DR	
Théorie des assemblées cellulaires de Hebb	70
D'après Hebb, 1938	
Organisation en colonnes de la sélectivité à l'orientation dans le cortex strié	72
D'après Purves et al., 1999, DR	
Organisation en colonnes de dominance oculaire	73
D'après Purves et al., 1999, DR	
Principales aires visuelles sur le cortex du singe macaque	76
D'après Van Essen, Anderson, & Felleman, 1992, DR	
Modifications des connexions rétinotectales suivant l'ablation d'une partie du système visuel chez le poisson adulte	78
D'après Gaze & Taylor, 1993	
Modifications des connexions entre le tectum optique gauche et le tectum optique droit à la suite du retournement de l'œil au cours du développement chez la grenouille	79
D'après Gaze & Taylor, 1993	
Effets de l'occlusion précoce d'un œil sur la distribution des neurones corticaux activés par la stimulation de chaque œil chez le chat	80-81
D'après Hubel & Wiesel, 1962, 1963 et 1970	
Le conditionnement de certaines cellules du cortex auditif produit une modification de la fréquence préférentielle de neurones du thalamus auditif	82
D'après Edeline, 2000	
Plasticité rétinotopique après lésion de la rétine chez le chat	83
D'après Gazzaniga, Iry & Mangun, 2001	
Plasticité somatotopique après amputation ou surutilisation des doigts chez le singe	84
D'après Bear, Connors & Paradiso, 2002	
Plasticité tonotopique après apprentissage chez le singe	85
D'après Gazzaniga et al., 2001	
Carte de la main sur la peau après amputation chez l'homme	86
Tiré de Ramachandran & Blakeslee, 2002	
Modèle de circuit nerveux pour l'habituation et la sensibilisation chez l'aplysie	89
D'après Squire & Kandel, 2002, DR	
Modèle neurochimique de la sensibilisation à court terme chez l'aplysie	90
D'après Squire & Kandel, 2002, DR	

# neuroplasticité

ENSEIGNER DE NOUVEAUX SAVOIRS OU UN NOUVEAU REGARD ?

OUVRAGE COORDONNÉ PAR

maryline coquidé stéphane tirard

GRUPE D'ÉTUDES ÉVOLUTION DES SVT ET ENJEUX DE FORMATION - ENS DE CAHORS - IREP

AVEC LE CONCOURS DE

jean-claude dupont marié-claire garnier jean-claude hervé yves kuster  
véronique mafféo jean-louis martinand grégoire molinatti  
michèle ternaux françois tilquin yves vilain

L'enseignement de la biologie s'est longtemps appuyé sur une interprétation quelque peu figée de la physiologie nerveuse : strictes localisations des fonctions cérébrales, accès précoce (dès l'âge de deux ans!) de la production de cellules nerveuses, etc.

À l'inverse, on insiste aujourd'hui sur l'extraordinaire plasticité du cerveau : réadaptations spectaculaires après certaines lésions, réorganisation d'aires spécialisées lors d'apprentissages « pointus » (l'adaptation des zones de commande de la main chez le violoniste a frappé les esprits), production de nouveaux neurones jusqu'à un âge avancé, etc.

Les théories de l'apprentissage font maintenant référence au darwinisme et, dans les manuels scolaires, on réinterprète les « images scientifiques » les plus classiques. A moins qu'elle entre dans les programmes, la notion de neuroplasticité bouleverse l'enseignement.

Entre progrès des connaissances et évolution des mentalités, les sciences de la vie ne sont-elles pas appelées à remplir une nouvelle mission dans la formation du citoyen ?

On verra ici que les approches historiques aident à mieux comprendre les avancées scientifiques et les choix pédagogiques qui s'ensuivent. En travaillant, par exemple, sur l'imagerie cérébrale la plus moderne, l'enseignant sera capable d'analyser les relations entre les différentes lectures d'un même document : médicale, technique, scientifique ou pédagogique. Mais les implications sociales du développement des neurosciences sont telles qu'un enseignement classique ne saurait suffire ; ainsi proposons nous quelques pistes pour des débats argumentés avec les lycéens.

L'équipe d'auteurs réunit des chercheurs (neurophysiologie, didactique, épistémologie, histoire des sciences) et des enseignants (IUFM, lycée, collège). En croisant les regards, cet ouvrage donne des clés pour y voir plus clair, pour répondre à l'enquête scientifique des professeurs et construire une réflexion cohérente sur la nature et le rôle des sciences expérimentales.

Illustration : Marianne Mouy Eyraud  
Couverture © M. Coquidé

ISBN : 978-2-7117-4009-3

ISSN 1952-1723

ISBN ADAPT : 978-2-909680-6-3-7



ADAPT

ouvrage coordonné  
par maryline coquidé & stéphane tirard

# neuroplasticité

ENSEIGNER DE NOUVEAUX SAVOIRS  
OU UN NOUVEAU REGARD ?

