

## ANALYSE

### Perspectives scientifiques et éthiques de l'utilisation des neurosciences dans le cadre des procédures judiciaires

*Le terme « neuroloi » désigne de manière générique l'ensemble des travaux en neurosciences dont les résultats peuvent - à diverses échelles allant de la pharmacologie à la neuropsychologie en passant par l'imagerie cérébrale - participer à l'éclairage des procédures légales et judiciaires. Mieux évaluer la véracité des propos tenus par une personne mise en examen, l'impartialité d'un juge et des jurés ou encore le degré de responsabilité d'un accusé, sont autant d'aspects pour lesquels les sciences du cerveau pourraient être convoquées par les tribunaux. Dans différents pays, les neurosciences sont appréhendées comme un vecteur de progrès dans le domaine des politiques de prévention et de sécurité, mais également, en l'absence de régulations adaptées, comme une menace potentielle pour les libertés publiques et les droits de la personne. Les enjeux sont donc importants et sensibles, dépassant largement les seuls domaines techniques, médicaux et scientifiques.*

Les données des **neurosciences** bénéficient aujourd'hui d'un intérêt croissant en matière judiciaire et sécuritaire, non sans lien avec le fort développement scientifique des méthodes d'imagerie cérébrale<sup>1</sup>. Comme le confirme Henry Greely, professeur de droit à l'université de Stanford, spécialisé en bioéthique<sup>2</sup>, qu'il s'agisse de l'imagerie cérébrale (pour la détection du mensonge par exemple) ou de la prescription de traitements neuropharmacologiques (pour la « castration chimique », la lutte contre les addictions, la prise d'antipsychotiques et de sédatifs imposée à certains criminels), des pays ont recours aux sciences du cerveau dans leurs tribunaux<sup>3</sup>. Aux États-Unis, cette thématique, désormais nommée « **neuroloi** »<sup>4</sup>, est l'objet d'un **programme de coopération inter-universitaire et inter-administrations sans précédent intitulé « The Law and Neuroscience Project »**<sup>5</sup>. En Inde, en juin 2008, pour la première fois des données d'imagerie cérébrale ont été utilisées comme preuve à charge pour condamner un individu dans une affaire de meurtre<sup>6</sup>. Ces faits montrent comment le recours à la « neuroloi » peut, dans les nations les plus technologiquement développées, devenir une réalité<sup>7</sup> qu'il convient de **questionner dès à présent dans le cadre des principes supérieurs d'une société démocratique**.

L'objet de cette note est de présenter certaines utilisations des données de neurosciences telles que pratiquées ou envisagées aux différentes étapes de la procédure judiciaire, de discuter leur réalisme et leur pertinence et enfin de débattre des perspectives éthiques et légales qui doivent les accompagner.

<sup>1</sup> Pour une revue technique détaillée et critique des principales méthodes d'imagerie et de stimulation cérébrales dans le cadre de la neuroéconomie voir Charron, S., Fuchs, A., et Oullier, O. (2008) « Exploring brain activity in neuroeconomics », *Revue d'Économie Politique*, 118(1), 97-124 [\[article\]](#)

<sup>2</sup> Henry Greely [\[site\]](#).

<sup>3</sup> Greely, H.T. (2008) « Neuroscience and criminal justice: Not responsibility but treatment », *Kansas Law Review*, 56(5), 1103-1134 [\[article\]](#).

<sup>4</sup> Le terme de « neuroloi » provient de la traduction du néologisme anglo-saxon « neurolaw » qui désigne de manière générique l'ensemble des travaux en neurosciences dont les résultats peuvent participer à l'amélioration des procédures judiciaires.

<sup>5</sup> Site internet du « Law and Neuroscience Project » [\[site\]](#).

<sup>6</sup> Ce jugement a provoqué une intense controverse à l'échelle mondiale notamment du fait de la méthode employée, critiquée de manière quasi unanime par les spécialistes internationaux et invalidée par une commission nationale indienne quelques semaines avant son utilisation. Lire à ce propos Giridharadas, A. (2008), « India's novel use of brain scans in courts is debated », *The New York Times*, édition du 15 septembre [\[article\]](#).

<sup>7</sup> Rosen, J. (2007), « The brain on the stand », *The New York Times*, édition du 11 mars [\[article\]](#).

**Encadré 1 : Science et justice, des liens anciens et complexes**

**Figure 1 :** Mesures pour un fichier anthropométrique (<http://www.sceptiques.qc.ca/dictionnaire/anthropo.html>)

Si au XVII<sup>e</sup> siècle les savants sont convoqués devant la cour des Princes pour « défendre leurs découvertes », à la fin du XVIII<sup>e</sup>, c'est afin de **se prononcer sur les circonstances d'un décès ou sur la santé mentale d'un accusé** que les médecins légistes sont appelés dans les tribunaux<sup>8</sup>. Dès lors, **l'usage judiciaire de la connaissance scientifique ne cesse de se développer**, fort de nouveaux objectifs, à la fois répressifs (confondre un criminel) et préventifs (déterminer la dangerosité supposée d'un individu), et de nouvelles méthodologies et technologies, du bertillonnage<sup>9</sup> à l'utilisation des empreintes génétiques<sup>10</sup>, sans négliger les ruptures épistémologiques qu'a connues l'expertise judiciaire. Ces évolutions soulèvent de **nombreux questionnements éthiques et légaux**, notamment du fait de l'impossibilité de la science de répondre pleinement aux attentes de « quasi-infaillibilité » que peuvent nourrir la justice et la société à son égard.

## La responsabilité et la dangerosité à l'aune des neurosciences

### Les illusions de l'irresponsabilité cérébrale

Le devoir de **responsabilité**, c'est-à-dire l'obligation pour un individu de répondre des infractions commises et de subir la peine prévue par le code qui les réprime, est à la base du système judiciaire français. À ce titre, l'article 122-1 du Code pénal indique que « *n'est pas pénalement responsable la personne qui était atteinte, au moment des faits, d'un trouble psychique ou neuropsychique ayant aboli son discernement ou le contrôle de ses actes* ». La responsabilité est **évaluée selon des critères médicaux** puisque c'est en grande partie sur la base d'une expertise psychiatrique que le tribunal décide si un individu est responsable de ses actes et donc s'il doit être condamné et/ou interné et soigné. Le recours aux psychiatres durant les procès, qu'il s'agisse d'évaluer la responsabilité d'un accusé ou la fiabilité d'un témoin, est régulièrement remis en cause<sup>11</sup> par les parties adverses. Certains sont donc tentés de faire appel à des techniques complémentaires, dont l'imagerie cérébrale, afin de rendre ces expertises plus fiables<sup>12</sup>.

Trois cas juridiques américains sont communément cités comme les premières tentatives d'utilisation d'imagerie cérébrale dans des tribunaux. En 1978, tout d'abord, dans l'affaire « United States v. Erskine »<sup>13</sup> le défendeur a tenté, en vain, d'utiliser des images issues de scanners cérébraux afin de **justifier une déficience mentale**. Ensuite, en 1992, lors du procès « People v. Weinstein »<sup>14</sup>, l'accusé fut reconnu coupable du meurtre de son épouse mais avec une atténuation de la responsabilité, grâce notamment aux résultats d'imagerie cérébrale et de réponse électrodermale présentés par la défense afin de montrer qu'Herbert Weinstein avait un kyste aux méninges accompagné d'une inflammation des tissus entraînant des lésions possibles au niveau du lobe frontal. La Cour admit donc, sur la base de ces éléments et d'un nombre conséquent d'expertises, que l'accusé souffrait d'**une déficience au niveau de ses fonctions exécutives**. Le troisième cas est l'arrêt « Roper v. Simmons »<sup>15</sup>. Condamné à mort pour un crime qu'il avait commis en 1993 à l'âge de dix-sept ans, Christopher Simmons fit appel de la décision. Le 1<sup>er</sup> mars 2005, la Cour Suprême des États-Unis statua, à cinq voix contre quatre, que l'accusé ne pouvait se voir infliger la peine capitale en raison de son âge au moment des faits, une telle sentence pouvant être contraire au VIII<sup>e</sup> amendement de la Constitution qui interdit « *les cautions et les*

<sup>8</sup> Lire à ce propos l'allocution de Nicole Le Douarin « *Science et justice : Des empreintes digitales aux empreintes génétiques, à la recherche de la preuve indiscutable* », à l'Institut de France, le 23 novembre 2004 [verbatim].

<sup>9</sup> Au XIX<sup>e</sup> siècle, Alphonse Bertillon, employé à la Préfecture de Paris, constitua un fichier de données anthropométriques (mensurations du corps humain à des fins de classification et de comparaisons) afin d'identifier les malfaiteurs et les récidivistes, laissant son nom à la technique du « bertillonnage » ou anthropométrie judiciaire. Ses méthodes, adoptées et complétées dans de nombreux pays, furent utilisées en France jusqu'au début des années 1970 [vidéo].

<sup>10</sup> En passant par d'autres pratiques controversées à l'image de celle de Cesare Lombroso, criminologue qui, au XIX<sup>e</sup> siècle, affirmait pouvoir identifier les criminels sur la base de leur physionomie et de certains caractères raciaux [livre].

<sup>11</sup> Protais, C. et Moreau, D. (2009), « L'expertise psychiatrique entre l'évaluation de la responsabilité et de la dangerosité, entre le médical et le judiciaire. Commentaire du texte de Samuel Lézé », *Champ pénal / Penal field*, Volume VI [article].

<sup>12</sup> Senon, J.-L. (2005), « Troubles psychiques et réponses pénales », *Champ pénal / Penal field*, XXXIV<sup>e</sup> Congrès français de criminologie, [article]. Dans cette intervention M. Senon rappelle que c'est le psychiatre français Etienne-Jean Georget qui, en 1825, a développé le concept de monomanie homicide et soutenu « *l'impérieuse nécessité d'une expertise psychiatrique pour évaluer la responsabilité pénale de tout criminel* ». L'auteur précise aussi, qu'au XVII<sup>e</sup> siècle, un médecin légiste du nom de Zacchias préconisait que chaque « fou » subisse un examen médical approfondi afin qu'une exonération de peine puisse être envisagée ouvrant ainsi la possibilité à des soins.

<sup>13</sup> « United States v. Erskine » [texte].

<sup>14</sup> Ce cas juridique peut être également cité dans la littérature comme « State v. Weinstein », les deux appellations renvoyant au nom complet « The people of the state of Ohio v. Weinstein ».

<sup>15</sup> « Roper v. Simmons » [texte].

*amendes excessives, ainsi que les châtiments cruels ou exceptionnels* ». En effet, les juges considèrent que les personnes mineures ne peuvent se voir appliquer le même traitement pénal que les adultes notamment du fait de leur manque de maturité, d'affirmation du caractère, de leur moindre sens des responsabilités et de leur vulnérabilité face aux pressions extérieures. Pour parvenir à ces conclusions, de nombreux experts furent mobilisés par les avocats de la défense, parmi lesquels **des neuroscientifiques**. Ces derniers centrèrent leur argumentaire sur les données démontrant que **le développement du cerveau et le processus de maturation psychologique et émotionnelle continuent au moins jusqu'aux 20 ans**<sup>16</sup>.

#### Encadré 2 : « Le pouvoir de l'image du cerveau »

**Les biais psychologiques liés au pouvoir de l'image sur le jugement, renforcés par l'excès de confiance dans les faits présentés comme « scientifiquement vérifiés » sont des éléments à ne pas négliger en neuroloi.** En effet, de la même manière que montrer des photos d'un crime est une stratégie qui permet d'influencer les jurés, illustrer un propos à l'aide d'images du cerveau peut aider à convaincre. Ainsi, l'imagerie cérébrale, bien que non recevable comme preuve à (dé)charge dans la plupart des tribunaux du monde<sup>17</sup>, est dès à présent utilisée (principalement par la défense) pour influencer les décisions d'un juge ou d'un juré via les expertises médico-légales. Cet impact a été testé de manière expérimentale dans deux études de psychologie au cours desquelles des faits plus ou moins extravagants étaient présentés étayés (ou non) soit d'images du cerveau<sup>18</sup> soit d'explications neuroscientifiques<sup>19</sup>. Dans les deux cas, « jouer la carte des neurosciences » s'est avéré une stratégie payante car les sujets (y compris certains ayant une formation en neurosciences cognitives) étaient plus convaincus quand l'image du cerveau ou l'explication scientifique accompagnaient le propos ; un phénomène qualifié par certains de « *neurophilie explicative* »<sup>20</sup>.

Ces différents cas ne doivent pas laisser penser que dans le cadre d'une procédure pénale, l'immatrité ou le dysfonctionnement cérébral pourraient tout expliquer ou excuser. Telle est en tout cas la crainte exprimée par Stephen Morse<sup>21</sup>, professeur de droit et de psychiatrie à l'Université de Pennsylvanie. Il s'inscrit en faux contre ce qu'il qualifie de « **syndrome du recours abusif au cerveau** »<sup>22</sup>, c'est-à-dire l'emploi qui se systématise des neurosciences pour justifier l'irresponsabilité pénale d'un prévenu au cours d'un procès. Le chercheur insiste sur l'interdépendance entre les composantes biologiques et sociales dans l'émergence de comportements antisociaux, avec pour preuve un taux de criminalité des 16-17 ans significativement plus élevé aux États-Unis en comparaison à d'autres pays comme la Finlande ou le Danemark, alors qu'il n'existe pas de différence anatomique et/ou fonctionnelle scientifiquement avérée entre le cerveau d'un adolescent américain et celui d'un scandinave.

#### *Cerveau et comportements déviants*

Les capacités de plasticité cérébrale, les interactions entre le cerveau et ses environnements physiques et sociaux, tout autant que le rôle joué par le vécu d'un individu sur son comportement sont d'une complexité telle qu'il **est impossible de lier sous forme de causalité directe et univoque quelques millimètres cubes de matière cérébrale à un acte (anti)social ou d'anticiper avec certitude le comportement déviant d'un individu sur la seule base de données neurobiologiques**<sup>23</sup>. Toutefois, depuis les premières observations de neuropsychologie sur les liens entre lésions cérébrales et changements comportementaux<sup>24</sup>, de nombreuses études ont cherché à montrer qu'il **pourrait exister des invariants neuro-anatomiques et des patrons d'activations cérébrales particuliers associés à certaines pathologies mentales et à des comportements contrevenant à la loi**. C'est le cas notamment pour la **psychopathie**, caractérisée par une grande instabilité associée à une forte impulsivité, une pathologie criminelle **pour laquelle les travaux en neurosciences commencent à se**

<sup>16</sup> Cette décision fut particulièrement importante car elle renversa la jurisprudence établie dans l'arrêt « Stanford v. Kentucky » de 1989, qui jugeait constitutionnel l'imposition de la peine capitale pour les plus de 16 ans [\[texte\]](#).

<sup>17</sup> Cette affirmation est recevable dans le cas d'une procédure de justice « régulière ». Aux États-Unis, par exemple, l'imagerie cérébrale devient recevable (comme tout autre élément) dans les recours contre les exécutions capitales entrepris par les avocats de condamnés qui se trouvent dans le couloir de la mort [\[article\]](#).

<sup>18</sup> McCabe, D.P. et Castel, A.D. (2008), « Seeing is believing: the effect of brain images on judgments of scientific reasoning », *Cognition*, 107(1), 343-352 [\[article\]](#).

<sup>19</sup> Weisberg, D.S., Keil F.C., Goodstein J., Rawson, E. et Gray J.R. (2008), « The seductive allure of neuroscience explanations », *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(3), 470-477 [\[article\]](#).

<sup>20</sup> Trout, J.D. (2008), « Seduction without cause: uncovering explanatory neurophilia », *Trends in Cognitive Science*, 12, 281-282 [\[article\]](#).

<sup>21</sup> Également co-directeur du « Neuroscience and the Law Project » [\[site\]](#).

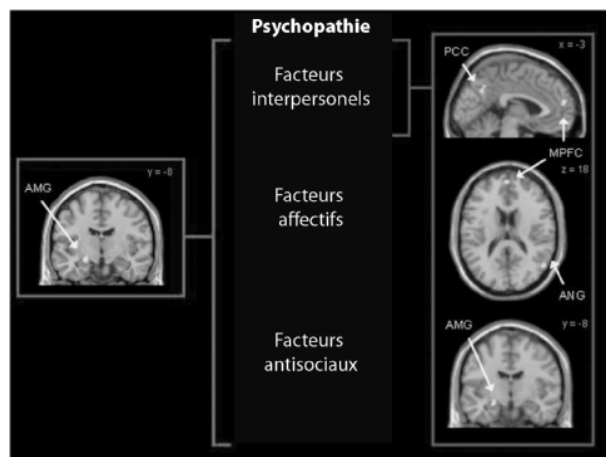
<sup>22</sup> Voir notamment l'article de Rosen (2007, *supra*) et Morse, S.J. (2008), « Determinism and the death of folk psychology: Two challenges to responsibility from neuroscience », *Minnesota Journal of Law, Science & Technology*, 9(1), 1-36 [\[article\]](#).

<sup>23</sup> Voir à ce propos l'entretien accordé par la neurobiologiste Catherine Vidal au magazine *La Recherche* (édition de décembre 2009, pp. 76-79) [\[article\]](#).

<sup>24</sup> Voir notamment le cas de Phineas Gage au XIX<sup>e</sup> siècle [\[vidéo 1\]](#) [\[vidéo 2\]](#).

**développer** à l'international mais sont encore peu représentés en France<sup>25</sup>. Le psychopathe montre généralement un déficit flagrant de respect des règles morales et de culpabilité alors que son jugement du bien et du mal n'est généralement pas altéré. En cela la psychopathie se distingue d'autres pathologies où l'agression intervient en réaction (exagérée) à une contrariété ou situation de danger (imaginée ou réelle)<sup>26</sup>.

**Figure 2** : Différences d'activité cérébrale entre des psychopathes et des sujets témoins dans des tâches de décisions morales. Source : Glenn *et al.* (2009) *Molecular Psychiatry*. Nature Publishing Group ©



Au point de vue anatomique, des résultats récents ont montré que les individus souffrant de psychopathie ont une réduction de quasiment 20 % du volume de leurs amygdales cérébrales, des structures participant aux émotions<sup>27</sup>. De plus, il semblerait que leur striatum, un ensemble de parties du cerveau jouant un rôle important dans la recherche de récompense, ait un volume environ de 10 % supérieur à celui d'une population contrôle. Les auteurs de ces travaux en concluent que ces différences anatomiques pourraient expliquer en partie la recherche de gain associée à un comportement psychopathe<sup>28</sup>. En outre, le psychopathe éprouverait moins des émotions sociales telles que l'empathie, la culpabilité, ou encore le remords qui généralement sont des freins aux comportements agressifs mais, au contraire, pourrait ressentir un certain plaisir quand il commet des agressions<sup>29</sup>.

Ces études sont renforcées par d'autres travaux<sup>30</sup> qui ont montré grâce à l'imagerie cérébrale fonctionnelle que l'activité dans les amygdales et le circuit cérébral en jeu lors de résolution de dilemmes moraux était plus basse chez les psychopathes que chez des sujets contrôles (Figure 2).

Enfin, comme l'a récemment remarqué Sébastien Tassy,<sup>31</sup> des lésions cérébrales peuvent dans certains cas conduire un individu à transgresser les normes morales ou sociales. Et de citer le cas d'un chirurgien qui s'est mis à signer son nom sur l'estomac de ses patients car il développait une démence fronto-temporale. Mais Sébastien Tassy prend soin de rappeler que « *cela ne veut pas dire qu'une démence fronto-temporale conduit systématiquement à de tels comportements* »<sup>32</sup>. Ainsi, malgré le nombre pléthorique de cas de comportements antisociaux qui sont accompagnés de dysfonctionnements cérébraux, **il existe tout autant de situations où de telles affections ne sont pas accompagnées d'actes illégaux**<sup>33,34</sup>.

<sup>25</sup> Tassy, S., Oullier O., Cermolacce, M. et Wicker, B. (2009), « Do psychopathic patients use their DLPFC when making decisions in moral dilemmas? » *Molecular Psychiatry*, 14(10), 908-909 [article].

<sup>26</sup> Glenn, A.L., Iyer, R., Graham, J., Koleva, S. et Haidt, J. (2009), « Are all types of morality compromised in psychopathy? », *Journal of Personality Disorders*, 23(4), 384-398 [article].

<sup>27</sup> Yang, Y., Raine, A., Narr, K.L., Colletti, P. et Toga, A.W. (2009), « Localization of deformations within the amygdala in individuals with psychopathy », *Archives of General Psychiatry*, 66(9), 986-994.

<sup>28</sup> Glenn, A.L., Raine, A., Yaralian, P.S. et Yang, Y. (2009), « Increased volume of the striatum in psychopathic individuals », *Biological Psychiatry*, sous presse.

<sup>29</sup> Glenn, A.L. et Raine, A. (2009), « Psychopathy and instrumental aggression: Evolutionary, neurobiological, and legal perspectives », *International Journal of Law and Psychiatry*, 32(4), 253-258.

<sup>30</sup> Glenn, A.L., Raine A. et Schug, R.A. (2009), « The neural correlates of moral decision-making in psychopathy », *Molecular Psychiatry*, 14(1), 5-6 [article].

<sup>31</sup> Médecin spécialiste des maladies neurodégénératives au CHU Ste Marguerite de Marseille, diplômé en droit et en éthique.

<sup>32</sup> Mérat, M-C. (2009), « Expertise judiciaire : le cerveau nouveau témoin appelé à la barre », *Sciences & Vie*, février, 82-89.

<sup>33</sup> Par exemple, une équipe de médecins marseillais a récemment mis au jour le cas extraordinaire d'un patient dont le cortex cérébral était complètement atrophié sans pour autant que n'apparaissent de troubles sociaux manifestes. Voir Feuillet, L., Dufour, H., Pelletier, J. (2007), « Brain of a white-collar worker », *Lancet*, 370, 262-262 [article].

<sup>34</sup> De tels questionnements sur les comportements déviants renvoient à des inquiétudes quant aux dérives possibles en matière de prise en charge par la pharmacopée, à l'image de celles ayant conduit, dans un contexte très particulier, à la popularisation de la lobotomie frontale aux États-Unis dans les années 1940, une pratique pourtant récompensée par le Prix Nobel d'Egas Moniz en 1949. Voir article sur le site du comité Nobel (publié en 1998) sur la controverse autour de ce Prix Nobel [article].

## Les neurosciences dans la procédure judiciaire

### Décoder le mensonge ?

S'il est un domaine dans lequel le recours à la neuroimagerie est de plus en plus exploré, c'est celui de la détection de mensonge (*Encadré 3*). À ce jour, la méthode la plus utilisée reste celle du **polygraphe**. Toutefois, ce test n'est pas admis devant les cours de justice américaines ou françaises tant sa fiabilité reste faible : **cette méthode détecte autant l'anxiété que le mensonge** et elle repose sur des mesures physiologiques périphériques alors que le mensonge est le produit de notre cerveau (et de ses interactions avec l'environnement) donc du système nerveux central. C'est pourquoi de nombreux travaux académiques sur la détection de mensonge ont été menés en neurosciences au cours des cinq dernières années<sup>35</sup>. De plus, l'agence nationale de recherche de l'armée américaine<sup>36</sup> a consacré des sommes conséquentes pour développer les études en neurosciences cognitives de la détection de mensonge. Aujourd'hui, il existe même des sociétés privées qui proposent de faire passer des tests de neurodétection de mensonge<sup>37</sup>.

#### Encadré 3 : Des techniques complexes et loin d'être infaillibles



Le polygraphe, mais également le scanner thermique ou l'analyseur vocal, sont autant de moyens de détection du mensonge reposant sur des mesures physiologiques, chimiques ou électriques périphériques. Or ces dernières peuvent traduire des émotions liées à d'autres comportements que le mensonge (notamment le stress ressenti de se prêter à un tel exercice). Ainsi, le polygraphe développé aux États-Unis en 1921 a vu, dès 1923, la validité de ses résultats remise en question et, en 1988, son interdiction dans les procédures judiciaires confirmée par la Cour Suprême américaine. De nouvelles méthodes de détection de mensonges basées sur l'analyse de l'activité du cerveau se développent alors, l'une à partir de données d'électro-encéphalogramme, l'autre d'imagerie fonctionnelle.

La première technique, ou « empreinte neuronale », notamment développée par Lawrence Farwell, repose sur l'analyse d'une onde cérébrale, la P300, ainsi nommée car elle intervient 300 ms après la présentation d'un stimulus. Ainsi, lorsque l'accusé se trouve face à des éléments du crime que seul le coupable peut connaître (arme, scène, etc.), d'aucuns affirment que la forme de l'onde pourrait permettre de déduire s'il y est confronté pour la première fois. La deuxième méthode consiste à utiliser les scanners à IRMf afin de détecter des modifications au niveau de l'activité cérébrale dues en partie à l'effort cognitif que requiert le mensonge (pour inventer les détails et « gommer la réalité »). Toutefois, le réseau d'activité qui semble sous-tendre le mensonge ne lui est pas exclusif : certaines des parties du cerveau sollicitées le sont aussi lors du calcul mental, la planification d'actions, ou l'utilisation de la mémoire à court terme. **Ces « neurodétecteurs » sont aujourd'hui fortement contestés car loin d'être infaillibles** mais constituent indéniablement le futur de la détection de mensonges.

Cependant, dans la plupart des pays, ces techniques ne sont pas admises dans une procédure judiciaire. Aux États-Unis, la neurodétection de mensonges a fait son apparition en 1999 dans une cour de l'Iowa. Elle fut surtout utilisée afin d'inciter les accusés à avouer, un procédé de « placebo judiciaire »<sup>38</sup>, discuté par beaucoup, mais peut-être le plus efficace à l'heure actuelle<sup>39</sup>. Car si des progrès significatifs ont été faits en laboratoire, **la détection de mensonge assistée par les neurosciences<sup>40</sup> reste tributaire de facteurs limitant**, le principal étant que la notion de mensonge n'est pas unique : il existe de multiples formes de mensonges tout autant que d'origines à ses mensonges. À moyen terme, il sera peut-être possible de savoir **si une personne répondant à une question fait appel à sa mémoire ou est en train d'inventer une histoire de toutes pièces** (bien qu'elle ait pu inventer l'histoire auparavant et la mémoriser ...). Les travaux les plus avancés dans une telle perspective, utilisant des algorithmes de détection spatiale de réseaux d'activité cérébrale<sup>41</sup> pourraient donc un jour indiquer si une personne

<sup>35</sup> La revue internationale *Social Neuroscience*, classée parmi les meilleures en psychologie et en neurosciences sociales a consacré son 6<sup>e</sup> et dernier numéro de l'année 2009 aux neurosciences de la détection de mensonges [revue] [introduction].

<sup>36</sup> Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) [site].

<sup>37</sup> Les deux sociétés sont *No Lie MRI* [site] et *Cephos* [site].

<sup>38</sup> Technologie très controversée dite des « empreintes cérébrales » [communiqué].

<sup>39</sup> Oullier, O. (2006), « Quel crédit apporter aux détecteurs de mensonges », *La Recherche*, numéro de décembre.

<sup>40</sup> Pour une analyse critique et un état des lieux récent sur la neurodétection de mensonges, voir Sip, K.E., Roepstorff, A., McGregor, W. et Frith, C.D. (2008), « Detecting deception: the scope and limits », *Trends in Cognitive Science*, 12, 48–53.

<sup>41</sup> Principalement dans les gyri frontaux supérieurs droits, ainsi que dans les gyri temporaux supérieurs et pariétaux inférieurs bilatéraux. Davatzikos, C., Ruparel, K., Fan, Y., Shen, D.G., Acharyya, M., Loughhead, J.W., Gur, R.C. et Langleben, D.D. (2005), « Classifying spatial patterns of brain activity with machine learning methods: application to lie detection », *Neuroimage*, 28, 663–668 [article].

ment. Par contre, **il est fort probable que l'on ne puisse jamais dire avec certitude, grâce aux seules neurosciences, si une personne dit la vérité.**

### Identifier les biais émotionnels

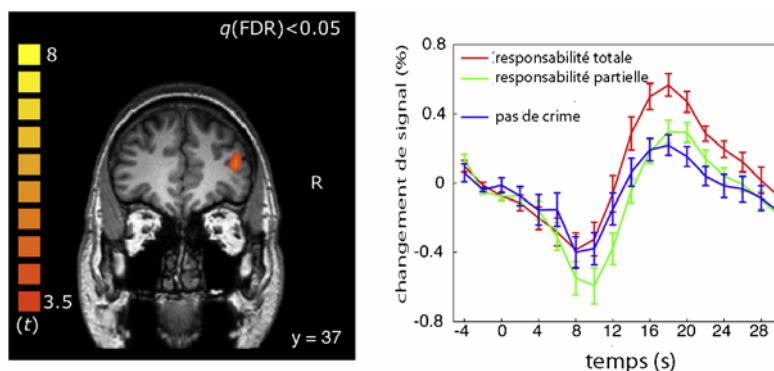
Un autre domaine dans lequel les neurosciences pourraient intervenir est celui de **l'estimation des éventuels biais émotionnels de certains acteurs du procès.** Ainsi, Elizabeth Phelps, professeur de psychologie à la New York university, a utilisé le test psychologique de l'association implicite (IAT) afin d'étudier les réactions cérébrales de personnes à la présentation de visages d'individus caucasiens ou noirs pour ensuite leur demander d'attribuer des adjectifs énonçant des jugements de valeur opposée<sup>42</sup>. L'imagerie cérébrale a montré que les personnes ayant le biais psychologique le plus important dans le cadre de l'IAT (*i.e.* mettant le plus de temps à associer un adjectif positif à un visage d'une couleur de peau qui n'est pas la leur) avaient au niveau de l'amygdale une activité significativement plus élevée que les autres. Ce travail, dont le but initial consistait à montrer les corrélats neuronaux de certains biais raciaux, a été cité en 2004 par la défense d'un policier blanc qui avait tiré sur un enfant noir. Les avocats cherchaient à montrer que l'action du policier n'était pas de « son fait » mais plutôt le résultat d'un câblage neurobiologique (en bref, c'était « de la faute de l'amygdale » de son client). Cet argument, qui n'a pas été retenu par le juge, illustre à quel point il peut être facile pour des acteurs du système judiciaire de s'emparer, de sur-interpréter, voire de détourner des résultats scientifiques, une corrélation n'étant pas une causalité et un facteur facilitant, un facteur déterminant.

Une étude récente a examiné les réactions cérébrales de personnes devant remplir deux des fonctions principales d'un procès : évaluer la responsabilité d'un tiers et déterminer une punition appropriée. Joshua Buckholtz et son équipe de l'Université Vanderbilt aux États-Unis ont utilisé la technique de l'IRM fonctionnelle pour montrer que l'activité dans des régions liées au traitement affectif<sup>43</sup> permet de prévoir l'intensité de la peine infligée en fonction de différents scénarii criminels<sup>44</sup>.

Il apparaît ainsi que plus l'activité dans ce réseau est élevée dans ce contexte expérimental, plus la peine est importante. En outre, dans cette expérience, l'activité du cortex préfrontal dorsolatéral droit est modulée par l'estimation du niveau de responsabilité imputée à l'accusé.

Ces résultats ont suscité un intérêt certain dans le monde judiciaire car ils ouvrent la voie à une meilleure compréhension des mécanismes en jeu lorsque des individus sont amenés à porter des jugements et décider de sentences concernant des tiers.

**Figure 3 :** Activité du cortex préfrontal dorsolatéral droit en fonction de la du jugement de responsabilité dans un scénario criminel. Source : Buckholtz *et al.* 2008, *Neuron*, Cell Press©



### Perspectives éthiques et légales

Le développement de l'usage judiciaire et sécuritaire de la connaissance neuroscientifique, pour être souhaitable, doit répondre à **une triple exigence, de fiabilité, de reconnaissance de ses limites et enfin de légalité de son administration.**

Ce premier **impératif de fiabilité n'est pas encore satisfait par les techniques des neurosciences.** Cependant, certaines d'entre elles pourraient un jour parvenir à un **degré de pertinence équivalent voire supérieur** à ceux d'autres expertises judiciaires déjà reconnues. En outre, il est important de mentionner qu'en France, les experts doivent être inscrits sur une liste établie dans chaque Cour d'appel pour pouvoir être missionnés par un magistrat et intervenir en qualité d'auxiliaire de justice. Ce

<sup>42</sup> Phelps, E.A., O'Connor, K.J., Cunningham, W.A., Funayama, E.S., Gatenby, J.C., Gore, J.C. et Banaji, M.R. (2000), « Performance on indirect measures of race evaluation predicts amygdala activation », *Journal Cognitive Neuroscience*, 12(5), 729-738 [\[article\]](#).

<sup>43</sup> Il s'agit d'un réseau comprenant l'amygdale, le cortex préfrontal médian et le cortex cingulaire postérieur.

<sup>44</sup> Buckholtz, J.W., Asplund, C.L., Dux, P.E., Zald, D.H., Gore, J.C., Jones, O.D. et Marois, R. (2008), « The neural correlates of third-party punishment », *Neuron*, 60(5), 930-940 [\[article\]](#).

système permet de **s'assurer de la compétence du professionnel et d'éviter les « batailles d'experts »** que l'on observe souvent dans les tribunaux américains, où les parties adverses font chacune venir à la barre « leur » spécialiste. Dès lors qu'ils seront capables d'apporter des éléments pertinents et suffisamment fiables, des **neuroscientifiques pourraient légitimement rejoindre la « mosaïque »** de professionnels mobilisables par la justice. Cependant, le recours aux données des neurosciences dans les tribunaux, au même titre que tout usage judiciaire de la connaissance scientifique, peut laisser craindre qu'on lui **accorde une trop grande importance**, au nom de la prétendue vérité scientifique (*Encadré 2*). En effet, même si le pouvoir de décision revient *in fine* toujours aux juges, grâce à leur liberté d'appréciation quant à la force probante des conclusions de l'expertise, ces derniers en pratique accordent généralement **un crédit particulier à l'expert apte à établir un fait sur des bases scientifiques**. Les expertises ADN sont ainsi révélatrices de cette propension naturelle, puisque rares sont les cas où les magistrats vont à l'encontre de leurs conclusions (*Encadré 4*).

Il n'est toutefois pas possible de comparer l'utilisation de la génétique et celle des neurosciences dans un tribunal. **La comparaison de deux échantillons d'ADN** – c'est-à-dire de données collectées au **même niveau d'analyse (biologique)** – n'est en rien assimilable, si ce n'est par analogie approximative, avec une procédure qui vise à lier des estimations d'activité cérébrale avec un comportement mensonger ou antisocial – soit **deux niveaux d'analyse bien distincts (cérébral et comportemental)**. Au même titre que l'on ne peut relier l'expression d'un gène à un comportement, l'hypothèse d'une invariance cérébrale pour un comportement déviant indépendant de facteurs contextuels, et donc d'une signature cérébrale, est infondée et spéculative. Comment gérer dès lors **l'inclusion d'une nouvelle source d'incertitudes au sein des procès** ? Il convient une nouvelle fois de s'appuyer d'une part, sur **l'honnêteté intellectuelle et l'humilité** des (neuro)scientifiques afin qu'ils **reconnaissent les limites** de leurs méthodes et d'autre part, sur la **capacité de discernement** des magistrats. D'autant que **la pratique de la science et celle de la loi ont ceci de commun que leurs conclusions sont le fruit de l'interprétation et du jugement des faits par leurs acteurs respectifs. Elles sont donc subjectives.**

#### Encadré 4 : Les expertises ADN dans les prétoires français

Une publication princeps de 1985<sup>45</sup> démontre comment le polymorphisme de l'ADN peut permettre d'identifier de manière rapide et fiable un individu par sa « signature génétique ». Les expertises ADN se sont depuis généralisées en matière judiciaire. En effet, grâce à la technique de la *Polymerase Chain Reaction*, il est possible d'obtenir des résultats suffisamment précis à partir d'une faible quantité de cellules, par exemple un seul cheveu prélevé sur la scène du crime, pour les comparer à l'ADN d'un suspect. En France, les empreintes génétiques trouvent des applications en matière civile et pénale dans les conditions fixées par la loi n° 94-653 du 29 juillet 1994 relative au respect du corps humain et ont permis à de nombreuses reprises de conforter le prononcé d'une condamnation, mais également d'éviter et de rectifier des erreurs judiciaires. En outre, suite à la résolution du 9 juin 1997 relative à l'échange des résultats des analyses d'ADN du Conseil de l'Union européenne, la France a mis en place<sup>46</sup> le Fichier national automatisé des empreintes génétiques (FNAEG), destiné à constituer une base ADN de personnes ayant commis certaines infractions<sup>47</sup>. Par son haut degré de précision – on considère que seuls les jumeaux monozygotes peuvent avoir un profil ADN identique –, la preuve par l'ADN, bien que soumise à l'appréciation libre du juge, revêt de nos jours une importance déterminante dans l'issue du procès. Cependant, il ne faut pas négliger que l'expertise génétique n'est pas infaillible, avec par exemple des risques de contamination accidentelle ou volontaire, et qu'elle ne doit en conséquent être qu'un des éléments de l'instruction ou de l'enquête.

La troisième exigence est de questionner **les conditions** dans lesquelles pourraient être légalement effectuée « une expertise neuroscientifique ». Plusieurs problèmes se profilent d'ores et déjà notamment en matière de protection de droit de la personne : de **telles pratiques supposent en effet une intrusion dans l'intimité** en raison des informations, même limitées, qui peuvent être obtenues. Notons que c'est déjà le cas des détecteurs de mensonges « classiques », les polygraphes qui constituent d'après la loi française une atteinte à la dignité humaine. En outre, des réserves pourraient être émises quant aux **délais de conservation et aux modalités pour assurer la confidentialité** de ces données. Il en va de même quant à la manière de **gérer un refus** par un suspect de se soumettre à ces techniques<sup>48</sup>. Enfin, à l'instar de Jean-Claude Ameisen<sup>49</sup>, on peut s'interroger sur le statut à accorder

<sup>45</sup> Jeffreys, A.J., Wilson, V. et Thein, S.L. (1985), « Hypervariable mini-satellite regions in human DNA », *Nature*, 314, 67–73.

<sup>46</sup> Dans le cadre de la loi Guigou du 17 juin 1998 relative à la prévention et à la répression des infractions sexuelles et de codifier le fichage ADN au titre XX du livre IV du Code de procédure pénale [texte].

<sup>47</sup> Ces infractions concernées sont codifiées par l'article 706-55 du Code de procédure pénale [texte].

<sup>48</sup> Cette question est d'autant plus intéressante que même si une sanction était prévue, on sait que le consentement réel de la personne à se prêter à une expérience comme l'imagerie fonctionnelle conditionne grandement ses résultats. Dans le cadre de la neuroimagerie, si la personne ne maintient pas sa tête immobile les données ne seront pas exploitables.

« aux informations fournies par les neurosciences dans une démarche judiciaire, dans laquelle le secret, la confidentialité ont été considérés pendant des siècles comme partie intégrante d'un procès juste ». Le travail du législateur pourrait alors **s'appuyer sur toutes les dispositions** prises afin de réguler l'**expertise génétique**<sup>50</sup>.

Au-delà de ces perspectives légales auxquelles s'entremêlent des enjeux éthiques, d'autres interrogations plus spécifiques se posent, relevant aussi bien de **conceptions philosophiques** que d'**aspects plus techniques**. Par exemple, l'utilisation de molécules neuropharmacologiques dans le but de stimuler la mémoire de témoins ou de victimes peut laisser craindre des conséquences délétères pour ces personnes, tant les vertus de l'oubli sont importantes lors de vécus traumatiques. En outre, comme le remarque Hervé Chneiweiss, « la levée d'une inhibition à la remémoration, ou la facilitation de la venue à la conscience d'une image de mémoire ne garantit en rien la validité du témoignage »<sup>51</sup>.

Les interrogations d'ordre métaphysique renvoient pour leur part aux conséquences potentielles pour l'être humain notamment en termes de **dignité, d'intégrité, de responsabilité, de libre arbitre**<sup>52</sup>. Les neurosciences peuvent également raviver les **questions portant sur le déterminisme et la catégorisation des comportements**, dans une vision mécaniste de l'esprit. Il convient alors de rappeler qu'il existe des **droits supérieurs devant lesquels la recherche de la preuve scientifique peut avoir à s'arrêter**, la mission première de la justice étant de protéger les individus, avant même d'établir la vérité.

\* \* \*

L'introduction des neurosciences dans les tribunaux, comme toute utilisation de leurs apports hors des laboratoires<sup>53</sup>, est **rendue problématique par leur confrontation à des logiques sociétales** de course à la certitude et de demande sécuritaire. En l'état actuel des recherches et malgré l'essor de la neuroloi à l'échelle internationale, **une telle évolution serait très prématurée** en France.

Il ne faut toutefois pas exclure qu'elle puisse un jour être un **vecteur de progrès** dans le domaine des politiques de prévention et de sécurité. Pour ce faire, il faudrait que soient garanties (1) des **avancées scientifiques significatives** en termes de fiabilité (ex. neurodétection des tendances des comportements violents), (2) **des régulations adaptées** et (3) **l'assurance d'un recours non-exclusif** afin qu'elles ne constituent que l'un des éléments participants à l'établissement de la politique préventive en probatoire. Dès lors, la décision de recourir ou non aux sciences du cerveau dans le domaine judiciaire devra **relever d'un choix sociétal, à la lumière d'une information complète et précise** que seuls les neuroscientifiques et les acteurs des systèmes législatifs et politiques pourront délivrer<sup>54</sup>.

> Sarah Sauneron, chargée de mission et Olivier Oullier<sup>55</sup>, conseiller scientifique  
Responsables du programme « Neurosciences et Politiques publiques »,  
Département Questions sociales

<sup>49</sup> Propos tenus lors de l'audition publique « Exploration du cerveau, neurosciences : avancées scientifiques, enjeux éthiques » organisée par l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques, le 26 mars 2008 [rapport].

<sup>50</sup> Voir notamment le « Rapport sur la valeur scientifique de l'utilisation des empreintes génétiques » dans le domaine judiciaire n° 3121 déposé le 7 juin 2001 par M. Christian Cabal.

<sup>51</sup> Hervé Chneiweiss, audition publique « Exploration du cerveau, neurosciences : avancées scientifiques, enjeux éthiques » organisée par l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques, le 26 mars 2008 [rapport].

<sup>52</sup> Sauneron S. (2009) « Impact des neurosciences : quels enjeux éthiques pour quelles régulations? », Note de veille, Centre d'analyse stratégique, 1-10 [note].

<sup>53</sup> Oullier, O., (2007). « Neuroscience, imagerie fonctionnelle et prise de décision ». In Comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé (ed.) *Rapport 2005 : Éthique et recherche biomédicale* (pp. 189-195). Paris, La Documentation Française [chapitre].

<sup>54</sup> Voir Oullier, O. (2005), « Cerveau mensonge et antiterrorisme : Neuroscience sans conscience ? », *Le Monde Diplomatique*, édition de décembre [article] ainsi que les commentaires du député Jean Léonetti au cours de l'audition parlementaire du 22 septembre 2009 dans le cadre des travaux de la mission de révision des lois de bioéthique [vidéo].

<sup>55</sup> Maître de conférences en neurosciences à l'université de Provence (UMR 6146), chercheur associé au *Center for Complex systems and Brain Sciences* (Florida Atlantic university) et membre du Conseil sur la Prise de Décision et les Systèmes Incitatifs du Forum Économique Mondial.



# BRÈVES

## > COPENHAGUE : LA VOIX DES RÉGIONS

Depuis ces deux dernières années, une approche plus « régionale » de la problématique du climat a reçu un coup d'accélérateur avec pour principal effet, que les régions seront, pour la première fois, présentes à la Conférence des Nations unies sur le climat de Copenhague. Selon le PNUD et le Secrétariat exécutif de l'UNFCCC, 50 % à 80 % des actions de réduction des émissions des gaz à effet de serre et quasiment 100 % des mesures d'adaptation relèvent du niveau sub-national. Alors que les décisions relatives à la lutte contre le changement climatique restent prises au niveau des organisations internationales et des États, les régions et collectivités locales revendiquent un rôle plus proactif autant dans la prise de décision que dans la mise en œuvre des mesures qui seront adoptées à Copenhague. Si la création du Réseau des gouvernements régionaux pour le développement durable (nrg4SD), qui rassemble aujourd'hui plus de 35 membres sur 16 pays présents dans cinq continents, remonte au Sommet de Johannesburg en 2002, le véritable coup d'envoi d'une campagne des régions pour être admises au processus de décision post-Kyoto fut donné lors du premier Sommet mondial des régions sur le changement climatique, organisé conjointement par la Conférence des régions périphériques maritimes de l'UE (CRPM) et par le réseau nrg4SD, en octobre 2008, à Saint-Malo. Elles y avaient alors affirmé leur volonté de participer à l'élaboration du nouvel accord international et demandé que soit reconnu, dans les textes, le rôle des régions dans la lutte contre le changement climatique. Elles avaient également signé un accord de partenariat avec le PNUD pour la mise en œuvre de plans « climat » territoriaux et un protocole d'accord pour l'implantation d'un centre mondial de services satellitaires sur le climat (CLIMSAT), opérationnel depuis à Brest. La « voix des régions » s'était également fait entendre lors de la session informelle de consultation dans le cadre du processus de Copenhague (Bonn, 10-14 août 2009), lors d'une rencontre spéciale avec le Secrétaire général des Nations unies, Ban Ki-moon, le 21 septembre à New York à la veille du Sommet mondial sur le climat, lors du Sommet mondial des États sub-nationaux sur le changement climatique (Los Angeles, 30 septembre-3 octobre) ainsi qu'à l'occasion de la dernière session préparatoire de négociation (Barcelone, 2 au 6 novembre). **L'un des défis de Copenhague, pour être concret, est donc de reconnaître l'implication des régions dans les actions de lutte contre le changement climatique. Le rôle des niveaux infra-nationaux est en effet repris dans le projet de document relatif à la coopération à long terme, l'un des volets du nouvel accord international sur le climat qui fait actuellement l'objet des négociations.** Si, la référence aux pouvoirs sub-nationaux dans les textes de Copenhague y est acquise, et donc la reconnaissance de l'intégration de nouveaux niveaux de gouvernance, cet enjeu sera alors également important pour la définition de la politique de cohésion de l'Union européenne post-2013, le coût et les conséquences du changement climatique variant fortement d'une région à l'autre.

> *N. B.*

## > LE TABLEAU DE BORD 2009 DE L'INVESTISSEMENT INDUSTRIEL EN R & D DE L'IPTS

Après le cabinet Booz & Company (étude « *Global Innovation 1 000* », *La Note de veille* n° 157), c'est au tour de l'Institut de prospective technologique (IPTS) de la Commission européenne de publier son tableau de bord des dépenses mondiales de R & D des entreprises. Portant sur les 2 000 entreprises les plus innovantes tous secteurs confondus, cette étude montre que, **malgré la crise au second semestre 2008, la croissance globale des investissements en R & D est restée soutenue, avec 6,9 % entre 2007 et 2008, contre 9 % et 10 % les deux années précédentes.** Les entreprises américaines sont celles qui investissent le plus (37,7 % des 422,8 milliards du total des dépenses mondiales de R & D, pour une intensité correspondant à 4,6 % du chiffre d'affaires), suivies par les entreprises européennes (28,9 %, intensité de 2,7 %) et japonaises (22,2 %, intensité de 3,4 %), tandis que les entreprises chinoises ne représentent encore que 0,6 % des investissements privés mondiaux en R & D. Il est à noter une **légère inversion de tendance par rapport aux années précédentes, puisque les dépenses ont crû de 8,1 % dans l'UE contre 5,7 % aux États-Unis et 4,4 % pour le Japon.** Dans ce tableau mondial, la France occupe la seconde place en Europe (19,7 % des dépenses européennes) et la quatrième au niveau mondial (5,9 %) derrière l'Allemagne (respectivement 34,6 % et 10,3 %) ; toutefois elle est l'avant-dernier pays de l'UE en termes de croissance des investissements sur l'année 2008, avec + 0,7 % contre + 20,4 % pour l'Italie, + 11,2 % pour le Royaume-Uni, + 8,9 % pour l'Allemagne et 7,6 % pour la moyenne de l'UE. Ce tableau de bord esquisse également une géographie des spécialisations, par secteurs et gammes technologiques : ainsi, les États-Unis consacrent 69 % de leurs investissements dans les hautes technologies (80 % des dépenses mondiales de R & D dans le logiciel et les services associés, 52 % dans les équipements et matériels numériques, 50 % dans les biotechnologies et la pharmacie) et 27 % dans les moyennes-hautes technologies contre respectivement 35 % et 49 % pour l'UE, spécialisée fortement dans l'aéronautique (50 % des dépenses mondiales de R & D) et dans

l'équipement et l'intégration automobile (42 %). À long terme, ce positionnement moyenne-haute gamme pourrait pénaliser l'Europe, étant donné que les investissements étasuniens dans le haut de gamme technologique se renforcent depuis 2005... Enfin, grâce à un échantillon deux fois plus large que celui retenu pour *Global Innovation 1 000*, l'étude de l'IPTS inclut **110 PME européennes**, ce qui permet de constater que **72 % d'entre elles ont augmenté leurs dépenses de R & D entre 2007 et 2008, pour une augmentation moyenne de 14,2 %**.

<http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=2859>

> J.-L. L.

## > UN NOUVEL INDICE D'INNOVATION POUR LE ROYAUME-UNI

Agence publique créée en 1998 pour rendre le *Royaume-Uni* plus innovant, le *NESTA* (National Endowment for Science, Technology, and the Arts) s'est vu confier, en mars 2008, la mission de développer un indice pour **mesurer la contribution de l'innovation à la croissance économique du pays**. Cette initiative illustre l'importance qu'attachent les autorités britanniques à ce sujet, depuis les publications successives du rapport Sainsbury (octobre 2007), du Livre Blanc sur l'innovation (mars 2008), puis (décembre 2008) du premier rapport annuel sur l'innovation présenté par Lord Drayson, le secrétaire d'État à l'Innovation, aux Universités et aux Compétences (DIUS) et de celui du *NESTA*. Considérée comme **l'un des principaux leviers de sortie de crise économique**, l'innovation vient de faire l'objet de trois nouveaux rapports dans lesquels le *NESTA* présente la version pilote de l'indice d'innovation, qui ne sera pleinement opérationnel qu'à l'automne 2010. Le premier rapport, le plus macroéconomique, insiste sur le fait que le *NESTA* se fonde sur **une définition large de l'innovation**, celle-ci étant entendue comme la contribution du savoir – sous toutes ses formes – à la croissance, au-delà des apports du capital physique et du facteur travail. Calculée de la sorte, l'innovation aurait permis outre-Manche d'accroître la productivité horaire du travail de **1,81 % par an dans le courant de la décennie actuelle, soit 67 % du total des gains réalisés sur ce plan**. Ceci étant, cette contribution de l'innovation aurait été plus élevée (+ 2,3 % par an) à la fin de la décennie précédente, l'âge d'or du développement des logiciels et d'Internet. Quant à **l'investissement intangible** (ou cognitif) – dépenses de formation, de capital organisationnel, de logiciel, de *design* et de R & D –, il **dépasse l'investissement matériel depuis la fin des années 1990**. Le deuxième rapport d'étape, plus microéconomique et sectoriel, souligne ce point clé : au-delà des avancées de la science et de la technologie – *via* la R & D –, un rôle crucial incombe à ce que les auteurs appellent l'« **innovation cachée** », dans des domaines tels que les services, l'organisation du travail ou la distribution. Il apparaît en outre que, dans les neuf secteurs distingués, **les entreprises innovantes voient leurs ventes croître en moyenne quatre fois plus vite que les non innovantes**. Le troisième rapport, enfin, s'interroge davantage sur les facteurs explicatifs et détaille les forces et faiblesses relatives du système d'innovation du *Royaume-Uni*.

[http://www.nesta.org.uk/areas\\_of\\_work/economic\\_growth/understanding\\_innovation/the\\_innovation\\_index](http://www.nesta.org.uk/areas_of_work/economic_growth/understanding_innovation/the_innovation_index)

> R. L.

Rédacteurs des brèves : Nathalie Bassaler (VPI), Rémi Lallement (DAEF), Jean-Loup Loyer (DRTDD)

Directeur de la publication :  
René Sève, directeur général

Rédactrice en chef de la Note de veille :  
Nathalie Bassaler, chef du Service Veille,  
Prospective, International

Pour consulter les archives  
de la Note de Veille  
en version électronique :  
[http://www.strategie.gouv.fr/  
rubrique.php?id\\_rubrique=12](http://www.strategie.gouv.fr/rubrique.php?id_rubrique=12)

Centre d'analyse stratégique  
18, rue de Martignac  
75700 Paris cedex 07  
Téléphone 01 42 75 61 00  
Site Internet : [www.strategie.gouv.fr](http://www.strategie.gouv.fr)

