

POINT DE VUE

L'imagerie cérébrale au tribunal ?

L'imagerie anatomique est fiable, alors que l'imagerie fonctionnelle ne répond pas (encore) aux exigences requises par la justice. Les recherches doivent se poursuivre, et les juristes être formés au « neurodroit » – l'usage des sciences du cerveau dans les prétoires.

Olivier OULLIER

Le 17 février 2008 vers minuit, Jonathan Donahue entre dans un fast-food armé d'un pistolet semi-automatique. Face au refus du gérant de lui remettre l'argent de la caisse, J. Donahue le force à se mettre à genoux, puis le frappe violemment à la tête avec son arme avant de s'enfuir sans argent. Arrêté, il reconnaît l'agression du gérant, resté 20 jours dans le coma, et souffrant désormais de troubles cognitifs et moteurs. Au cours du procès, une expertise psychiatrique conclut que J. Donahue est psychopathe et précise la composante génétique et cérébrale de cette pathologie.

Un procès sert à mettre au jour la vérité judiciaire. Pour ce faire, les propos des témoins, des accusés comme des experts sont évalués par des êtres humains qui écoutent l'exposition de faits et d'éléments contradictoires dont certains sont issus de travaux scientifiques et médicaux. La psychopathie de l'accusé constitue-t-elle un facteur à charge, car l'individu représente un danger pour la société ? Ou à décharge, car il n'est peut-être pas responsable de ses actes ?

Dans le cadre d'une vaste expérience réalisée par des chercheurs en psychologie, droit et philosophie de l'Université de Salt Lake City, dans l'Utah, près de 200 juges américains ont dû statuer sur le cas J. Donahue (fictif, mais inspiré de faits réels). Rendus publics en août dernier dans la revue *Science*, les résultats montrent que les éléments neurobiologiques présentés changent la perception que l'on a de la responsabilité et de la dangerosité de l'accusé. Les juges qui ont

bénéficié d'informations relatives à sa psychopathie, présentée comme incurable, ont tendance à diminuer la peine en comparaison de ceux qui n'en ont pas eu connaissance.

Divers travaux scientifiques ont mis en évidence l'influence de la présentation de résultats d'imagerie cérébrale sur les différents acteurs du procès ou encore la fluctuation des décisions de juges en fonction de l'heure de la journée. Ces nouveaux travaux s'inscrivent dans un champ pluridisciplinaire en plein essor : le neurodroit, néologisme désignant les travaux de recherche et de réflexion en psychiatrie,

TOUTE INTERDICTION NOUS PRIVERAIT peut-être d'outils permettant de mieux rendre la justice dans quelques années.

neurosciences, pharmacologie, psychologie, philosophie et droit sur l'utilisation des sciences du cerveau dans le cadre légal.

Les neurosciences cognitives et sociales, qui ont connu un formidable développement depuis les débuts de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) il y a plus de 20 ans, informent chaque jour un peu plus les scientifiques, les médecins, voire les juristes, sur le comportement humain. Ces travaux et les techniques d'imagerie cérébrale ont-ils leur place dans les prétoires ? Pour le législateur français, la réponse est positive. L'article 45 de la loi (révisée) de bioéthique promulguée le 7 juillet 2011 précise : « Les techniques d'imagerie cérébrale ne peuvent être employées qu'à des fins médi-

cales ou de recherche scientifique, ou dans le cadre d'expertises judiciaires. » Cette disposition légale est une première mondiale. La loi ouvre ainsi la porte au recours à l'imagerie cérébrale dans les tribunaux.

Cette décision encourage à connecter deux niveaux liés, mais distincts : le neurobiologique et le comportement. Toutefois, il existe une difficulté de taille : il n'y a pas de relation directe entre une aire cérébrale et un comportement (anti)social. La complexité structurelle et fonctionnelle du cerveau ainsi que l'interdépendance de la neurobiologie et des facteurs contextuels présents et passés sont trop importantes pour qu'une telle relation linéaire existe.

En 2012, plusieurs institutions publiques françaises ont travaillé sur l'utilisation des neurosciences hors des laboratoires, notamment le Comité consultatif national d'éthique (CCNE), l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques (OPECST) et, plus récemment, le Centre d'analyse stratégique (CAS). Les faits sont là : les données d'imagerie cérébrale peuvent être produites devant un tribunal dans de nombreux pays. Et très récemment, en Italie, une peine pour meurtre a été réduite après que la défense a produit des informations cérébrales et génétiques censées indiquer que l'accusée souffrait de troubles mentaux.

Des voix suggèrent que le recours à l'imagerie cérébrale permis par la loi ne soit fait qu'à décharge dans le cadre d'un procès. Mais cela fait-il sens de considérer l'imagerie cérébrale fonctionnelle comme fiable uniquement pour une utilisation à décharge ?

La réponse est non. Soit la technique est fiable dans tous les cas de figure, soit elle ne l'est pas. Mais, en l'état actuel des connaissances théoriques et techniques, l'imagerie fonctionnelle ne répond pas aux indispensables exigences de fiabilité requises dans une procédure légale.

Dès lors, faut-il bannir l'imagerie cérébrale des tribunaux comme d'autres le souhaitent ? Je pense que non. Tout d'abord parce la loi ne différencie pas l'imagerie cérébrale anatomique (ou lésionnelle) de la fonctionnelle. Or l'imagerie lésionnelle est un outil fiable qui peut se révéler indispensable dans certaines expertises psychiatriques, telle la traumatologie. Quant à l'imagerie cérébrale fonctionnelle, à l'heure où l'expertise psychiatrique dans les tribunaux, bien qu'indispensable, connaît une crise sans précédent, toute interdiction freine-

rait la recherche et nous priverait peut-être d'outils permettant de mieux rendre la justice dans quelques années.

Aujourd'hui, il semble prudent de repousser l'utilisation de l'imagerie cérébrale fonctionnelle pour l'expertise judiciaire par un moratoire sur cet aspect de la loi, accompagné d'une évaluation périodique de l'état des connaissances. Ce qui, bien sûr, ne remet pas en cause l'apport précieux de l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle pour la recherche scientifique et médicale.

Le droit ne peut donc plus ignorer les éléments neurobiologiques qui participent au comportement humain, celui des prévenus, mais aussi celui des acteurs du procès. Il est donc nécessaire de poursuivre les recherches scientifiques et médicales, mais aussi de développer des formations pour que les juges, avocats et procureurs soient au fait des avan-

cées et des limites des recherches et techniques de psychologie et de neurosciences cognitives et sociales, qu'il s'agisse des questions de responsabilité ou des facteurs influençant les décisions dans les tribunaux.

Aujourd'hui, le neurodroit divise. Pour les partisans, comme pour les opposants farouches, prudence et mesure doivent rester les maîtres-mots. L'avenir d'un très grand nombre d'individus et des changements sociétaux profonds risquent fort de dépendre des avancées dans ces disciplines et ce plus tôt que nous le pensons. ■

Olivier OULLIER, professeur à Aix-Marseille Université (UMR7290), est le vice-président du Global Agenda Council on Neuroscience and Behavior du Forum économique mondial.



Réagissez en direct à cet article sur www.pourlascience.fr

DÉVELOPPEMENT DURABLE

L'eau comptabilisée à l'échelle européenne

Pour évaluer l'état des écosystèmes aquatiques européens, on a comptabilisé les ressources en eau sur tout le continent et mis en place un outil commun.

Philippe CROUZET

Comment mesurer l'état de l'environnement et la durabilité de son exploitation ? Principalement théorisée par l'INSEE dans les années 1980, la comptabilité de l'environnement vise à quantifier certains paramètres environnementaux, telles les ressources naturelles, considérées comme un capital à préserver. Elle s'inspire de la comptabilité classique : entre une date de départ et une date de clôture, un stock est modifié par des flux et aboutit à un nouveau stock. Elle a été adoptée par l'ONU sous le nom de SEEA (pour *System of Environmental-Economic Accounts*, ou Système de comptabilité économique et environnementale).

L'Agence européenne pour l'environnement (AEE), à Copenhague, au Danemark, a appliqué cette méthode à l'échelle européenne pour permettre à la Commission d'évaluer et d'améliorer les politiques environnementales. L'analyse a d'abord porté sur l'occupation des terres en 2007, puis sur le cycle du carbone en 2012. Aujourd'hui, elle est effectuée sur les services fournis par les écosystèmes (alimentation en nourriture, en eau...).

Cette analyse doit notamment fournir les éléments nécessaires à l'évaluation de la directive cadre sur l'eau. Émise en l'an 2000, cette directive européenne vise à réglementer l'utilisation de l'eau pour préserver les écosystèmes aquatiques,

qu'ils soient continentaux ou côtiers. Les stocks sont les lacs, les réservoirs artificiels, les glaciers, les nappes phréatiques... Les flux sont la pluie, l'évaporation, la consommation humaine, les cours d'eau (souterrains ou en surface)... La mer est à la fois source et réceptacle, mais son stock n'est pas comptabilisé.

Les flux d'eau et d'argent présentent des différences notables. On peut épargner l'eau, mais on ne peut ni l'emprunter ni la transférer sans tuyaux ; en d'autres termes, à un instant donné, on ne peut pas irriguer avec l'eau du mois suivant ou avec celle d'un bassin lointain. L'AEE a alors révisé les échelles géographiques et temporelles considérées pour les comptes de l'eau. Ainsi, elle a construit



UNE COLLECTION D'ENTRETIENS AUDIO ORIGINAUX À TÉLÉCHARGER



EINSTEIN ET LES RÉVOLUTIONS QUANTIQUES
La révolution quantique du début du 20^{ème} siècle se prolonge de nos jours avec une deuxième révolution qui repose sur le concept étrange d'entrelacement.
Alain Aspect, Professeur à l'Institut d'Optique et membre de l'Académie des sciences.
MP3 - 75 minutes **9,90€**



LE CERVEAU
Une exploration détaillée et fascinante de l'organe le plus complexe du corps humain par un des plus grands neurologues français.
Yves Agid, Neurologue, membre de l'Académie des sciences.
MP3 - 57 minutes **9,90€**

TÉLÉCHARGEZ LES NOUVEAUTÉS DE LA RUBRIQUE SCIENCES SUR DEVIEVOIX.FR

SCIENCES & MUSIQUES D'AVANT-GARDE



QUADRIVUM RADIO

Découvrez le programme de podcasts de la webradio Quadrivum en partenariat avec le magazine Pour la Science. Pénétrez dans les plus grands laboratoires pour écouter la parole des chercheurs.

- Biologie**
Nicolas Gompel
Institut de biologie du développement de Marseille Luminy
L'expression des gènes dans le cadre de l'évolution
- Physique**
Stéphane Mazouffre
Laboratoire laser à Orléans
Au cœur d'un propulseur à plasma
- Physique**
Simone Speziale
Centre de physique théorique de Luminy
Gravité quantique
- Biologie**
Jonathan Ewbank
Centre d'immunologie de Marseille-Luminy
Immunologie

www.quadrivumradio.com

un référentiel hydrographique, qui répertorie les bassins (divisés en unités élémentaires), les rivières et les lacs dans toute l'Europe. Ce référentiel, nommé ECRINS, est disponible gratuitement sur le site de l'AEE et permet des calculs de bilans hydrographiques. On trace ainsi les consommateurs et les quantités d'eau consommées. Sur le plan temporel, l'échelle de référence choisie pour le calcul des flux est le mois. Ce réajustement des échelles devrait permettre de surmonter les erreurs décelées dans certains comptes de l'eau, effectués par pays et par année.

Faire un bilan comptable nécessite d'harmoniser des données de différentes natures (pluie, débits, prélèvements...), fournies par des organismes variés (météo, services hydrographiques, agences de l'eau...). Dans la plupart des cas, on s'en sert pour calculer les écoulements dans les cours d'eau, qu'on prend comme références pour décrire les systèmes hydrographiques de façon quantitative. En effet, ils intègrent les contributions de tous les processus du cycle de l'eau : la pluie, l'évaporation, la fonte des neiges, le stockage dans des lacs artificiels ou naturels, les prélèvements (pour l'agriculture, l'eau potable...), les rejets (égouts...), etc.

On a ainsi réuni plus de 80 millions de débits journaliers, grâce auxquels on a reconstitué les débits mensuels en des milliers de points pour les huit dernières années. Ces points sont situés à divers endroits de cours d'eau dits principaux (ceux dans lesquels se déversent les affluents), qui s'étendent sur plus de 750 000 kilomètres et dans lesquels s'écoule l'eau issue de bassins versants couvrant plus de quatre millions de kilomètres carrés. Les valeurs ont ensuite été extrapolées sur la totalité du réseau hydrographique.

Toutefois, de nombreuses données manquent encore pour certains pays d'Europe – elles devraient être obtenues dans les années à venir. On manque aussi d'information sur l'utilisation de l'eau par certains secteurs, telles l'agriculture et l'industrie, souvent insuffisamment incitées à fournir ces données. Ainsi, les volumes d'eau consommés par le refroidissement des appareils industriels et l'irrigation pourraient être très supé-

rieurs à nos estimations. Les systèmes de collecte d'information doivent donc subir d'importantes révisions – à l'exception de ceux des grandes villes, plus fiables, bien que leurs données soient peu accessibles.

Ces insuffisances compliquent l'évaluation des politiques gouvernementales. Cependant, des enseignements peuvent déjà être tirés. Ainsi, les précipitations représentent

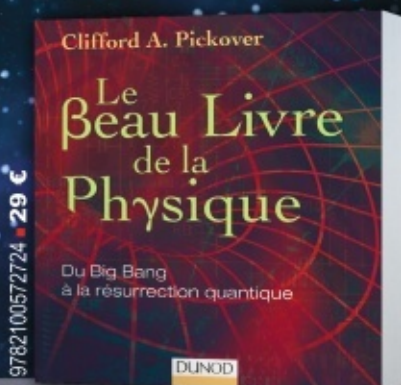
NOS MODÈLES MÉTÉOROLOGIQUES surestiment systématiquement l'évaporation, d'environ six pour cent en moyenne.

un apport d'eau moyen de 750 millimètres par an (un millimètre équivaut à un litre d'eau par mètre carré), soit 24 000 kilomètres cubes d'eau pour les huit années et le territoire évalués. Plus des deux tiers retournent dans l'atmosphère par évapotranspiration (terme qui regroupe l'évaporation et la transpiration des plantes). En comparant les écoulements de surface mesurés et les données fournies par nos modèles météorologiques, nous avons montré que ces derniers surestiment systématiquement l'évaporation, d'environ six pour cent en moyenne, conduisant à une sous-estimation de la quantité d'eau disponible de 45 millimètres par an. Cette erreur confirme la nécessité de prendre l'écoulement mesuré comme référence.

En outre, on dispose désormais d'un instrument harmonisé – même si les données restent à compléter –, commun à toute l'Europe. On peut décrire précisément la demande en eau et en tirer des leçons, tout en prenant en compte les besoins de l'écosystème : effectue-t-on trop de prélèvements par rapport à la ressource ? Faut-il restreindre la consommation lors des saisons sèches ? Doit-on construire des réservoirs supplémentaires, au risque de nuire à l'environnement ? Etc. Pour y répondre, les experts pourront se pencher sur les données collectées, qui seront publiées fin 2012. ■

Philippe CROUZET travaille pour le programme Systèmes naturels et vulnérabilités, à l'Agence européenne pour l'environnement (AEE ; www.eea.europa.eu/fr).

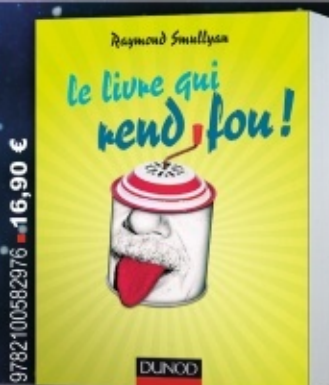
VARIEZ LE PLAISIR DES SCIENCES



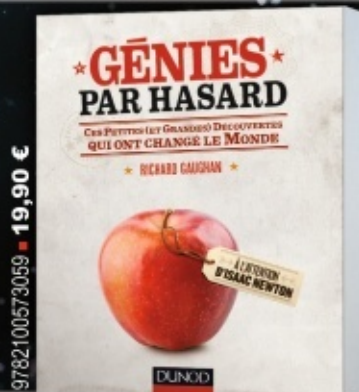
250 théories physiques pour découvrir les clés de notre univers



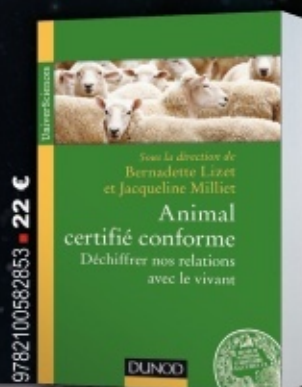
Plongez dans l'énigmatique concept de Multivers : l'Univers de tous les univers possibles



Un recueil d'énigmes stimulantes et ludiques écrit avec humour et fantaisie



Une cinquantaine de découvertes et de savants qui ont révolutionné la science (presque) par hasard



Protéger la Nature ne suffit plus, il faut la conserver et la gérer



Un voyage au microscope qui nous dévoile l'extraordinaire diversité du monde

WIP