

Retour sur des sujets déjà traités dans nos colonnes

→ NOS ANCÊTRES CARNIVORES

Lucy et son bébé Selam vivaient dans un delta est-africain, où ces australopithèques avaient un mode de vie en partie arboricole, expliquait Kate Wong en 2007 (voir « Le bébé de Lucy », *Pour la Science*, février 2007, http://bit.ly/PLS352_Wong). Sans doute avaient-ils de ce fait un régime alimentaire opportuniste mêlant fruits, racines, feuilles, charognes...



José Braga et Didier Descouens

Avec des collègues français et sud-africains, Vincent Balter, de l'École normale supérieure de Lyon, vient de le confirmer dans le cas des australopithèques sud-africains (*Nature*, 9 août 2012). Les chercheurs ont mesuré les proportions de baryum, de strontium et de calcium dans l'émail dentaire d'australopithèques ayant vécu dans la région il y a plus de deux millions d'années, puis dans celui des premiers humains et de leurs contemporains paranthropes (genre éteint d'hominidés), il y a quelque 1,5 million d'années. Baryum et strontium sont en effet métabolisés par l'organisme comme le calcium, de sorte que les carnivores en contiennent moins que les herbivores, qui en ont moins que les végétaux, qui eux-mêmes en sont moins riches que le milieu où ils croissent.

Il ressort de ces mesures que, conformément à ce que l'on pensait, le régime alimentaire des australopithèques sud-africains était aussi sans doute omnivore opportuniste, tandis que leurs descendants se sont spécialisés. Ainsi, alors que les paranthropes étaient clairement herbivores, les premiers humains étaient beaucoup plus carnivores, probablement parce qu'en plus de charogner, ils chassaient déjà à l'aide de leurs outils de pierre.

→ LE TERRIFIANT SUPERVOLCANISME ARCHÉEN

Le volcanisme massif perturbe fortement l'atmosphère, expliquait Ilya Bindeman en 2006 (voir « Les ravages des supervolcans », *Pour la Science*, janvier 2006, http://bit.ly/PLS346_Bindeman). Aujourd'hui, les mégaéruptions sont rares, mais à l'Archéen, il y a 4 à 2,45 milliards d'années, le centre de la Terre dégageait quatre fois plus de chaleur qu'aujourd'hui et elles étaient fréquentes. C'est à partir de cette remarque que Pascal Philippot, de l'Institut de physique du globe de Paris, et ses collègues ont élaboré une explication simple de l'existence de dépôts épisodiques de sulfates à l'Archéen (*Nature Geoscience*, août 2012).

Les sulfates (XSO_4) sont produits dans la haute atmosphère par photolyse (réaction aux ultraviolets) du dioxyde de soufre d'origine volcanique. Dans l'atmosphère anoxique archéenne, ils étaient toutefois immédiatement réduits en sulfures (XS), de sorte qu'en bonne logique chimique, il n'aurait pas dû y avoir de dépôts de sulfates dans les roches archéennes. Pourtant, à trois reprises – il y a 3,5, 3,4 et 3,2 milliards d'années –, des sulfates s'y sont déposés. Pour expliquer cette anomalie, les géochimistes ont proposé divers mécanismes compliqués, voire évoqué de brèves « oasis de vie », c'est-à-dire des apparitions brèves, massives et locales d'oxygène.

Par des analyses pétrographiques et isotopiques de carottes de sédiments prélevées dans des terrains sud-africains, australiens et indiens, l'équipe de P. Philippot a pu établir que dans les roches sulfatées archéennes, les proportions de sulfates et de sulfures sont les mêmes que celles produites aujourd'hui par photolyse quand de grands panaches volcaniques (tel celui du Pinatubo) atteignent la haute atmosphère, où ils sont bombardés d'ultraviolets. Cela suggère qu'à trois reprises, les supervolcans archéens ont émis tant de dioxyde de soufre que le processus qui faisait normalement disparaître les sulfates – leur réduction en sulfure au sein de l'atmosphère anoxique archéenne – est devenu négligeable. Des sulfates ont alors précipité dans les océans, où ils se sont incorporés aux roches sédimentaires archéennes.

→ UN NOUVEAU BIOCIDÉ

Les maladies nosocomiales sont des infections contractées à l'hôpital en respirant ou absorbant les spores de bactéries apportées par les autres patients, rappelait Bernard Régnier en 2005 (voir « Les infections à l'hôpital », *Pour la Science*, mai 2005, http://bit.ly/PLS331_Regnier).

L'équipe de Mathias Oulé, de l'Université de Saint Boniface, à Winnipeg au Canada, vient de tester un biocide commercial de la famille de la guanidine nommé *Akwaton* et produit par la Société *Fosfaton Akwaton International* (à Winnipeg). Les chercheurs affirment que ce composé cristallin obtenu par oxydation de la guanine – une base azotée que l'on rencontre notamment dans l'ADN sous forme de nucléotide – dilué à seu-

lement 0,05 pour cent dans l'eau perce en moins de deux minutes à 20 °C les membranes des staphylocoques dorés (intoxications alimentaires), de *Pseudomonas aeruginosa* (diverses graves infections), de *Salmonella choleraesuis* (salmonelloses), de colibacilles (diarrhées), de *Clostridium difficile* (inflammation du côlon) et même du staphylocoque doré résistant à la méthicilline (*Journal of Medical Microbiology*, 9 août 2012). Pour comparaison, les solutions à base d'eau oxygénée (volatile) communément utilisées sont à 3 pour cent et celles d'alcool (très volatil) à 70 pour cent. Inodore, incolore, non corrosif et non toxique, ce biocide a déjà été largement utilisé dans l'industrie agroalimentaire et... pour élaborer des bains de bouche. Il devrait maintenant se mettre au service de la lutte contre les maladies nosocomiales.

François Savatier

HABITATION ET ASSURANCE

Petit prix, couverture maxi

3 questions à Philippe Perrotin,
agent hospitalier, 2 enfants, propriétaire
d'une maison avec jardin à Rennes

**Etre bien protégé
sans se ruiner,
c'est possible !
Assurez votre maison
malin grâce à
la GMF, et profitez
de services et de
garanties qui
vont vous
simplifier la vie.**

Pourquoi avoir
souscrit à
l'assurance
DOMO PASS ?

Après avoir trouvé la maison de mes rêves, j'ai aussi déniché le contrat multirisques habitation idéal ! J'ai choisi DOMO PASS formule Confort +, car toutes les garanties sont incluses à un prix vraiment avantageux. Pour à peine 250 euros par an⁽¹⁾, je suis indemnisé en valeur à neuf pour tous les biens sans limite d'âge suite à un

DOMO PASS

Un prix avantageux, la souplesse en plus

Le contrat DOMO PASS, c'est :

- trois formules pour répondre aux besoins et budget de chacun : Eco pour des garanties essentielles, Confort pour une protection étendue, Confort + pour une protection optimale tout inclus
- une assurance sur mesure : la couverture ou non des objets de valeur, le choix du niveau de franchise, de nombreuses options en formule Confort pour les propriétaires de maison, la prise en compte de tous les modes d'habitation (résidence principale, secondaire, colocation, échange de domicile, maison de retraite, location saisonnière...)
- des garanties à prix malin : l'assurance des appareils nomades pour 7 euros par mois quel que soit le nombre d'appareils, et la garantie « panne électroménager » pour 5 euros par mois⁽²⁾ (garanties en inclusion en Confort +)
- « Avant'âge 30 » pour les jeunes : les locataires de moins de 30 ans bénéficient d'une réduction de 20% sur la formule Confort (pour un logement jusqu'à 3 pièces).

sinistre garanti ; le contenu des dépendances et mon jardin sont couverts : mobilier, outillage, arbres... Même les canalisations extérieures sont prises en charge : on m'envoie un prestataire agréé en cas de fuite, de rupture ou d'engorgement.

D'autres services vous ont-ils séduit ? La GMF a inventé des « plus » qui simplifient vraiment la vie. Avec la garantie

250 € par an

Cotisation

DOMO PASS Confort + ⁽¹⁾

« panne électroménager », mes appareils ⁽²⁾ de moins de 5 ans sont réparés par un prestataire envoyé à domicile, ou remplacés si la réparation est impossible, livraison et installation comprises. Nul besoin de m'en occuper !

Et la GMF a intégré les nouveaux modes de vie de toute la famille

Oui, c'est important, surtout lorsqu'on a des ados !

A la maison, nous avons deux ordinateurs portables, quatre téléphones mobiles, trois lecteurs MP3, une tablette multimédia, plusieurs appareils photo... La formule Confort + du contrat DOMO PASS couvre tous ces appareils nomades de moins de 5 ans (vol, dommage accidentel...) quel que soit leur nombre ou le lieu du sinistre. Je suis plus serein !

⁽¹⁾ pour une maison de 4 pièces avec jardin située à Rennes

⁽²⁾ appareils blancs ou bruns



Pour en savoir plus sur ce contrat de la GMF :

Appelez le 0 970 809 809 (numéro non surtaxé) ou connectez-vous sur www.gmf.fr

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