

Test de la maladie de la vache folle

Comment savoir qu'une vache est atteinte d'encéphalopathie spongiforme bovine, alors même qu'elle ne présente aucun des symptômes caractéristiques? Un test élaboré par le CEA est remarquablement efficace : la forme pathogène de la protéine du prion est détectée par un anticorps spécifique. Lors des essais, tous les animaux malades ont été détectés et aucun animal sain n'a été faussement déclaré contaminé. Le CEA s'est associé à la Société Pasteur Sanofi Diagnostics pour développer ce test.

Azote pur

Des chimistes de l'Armée de l'air américaine ont réussi à fabriquer un ion comportant cinq atomes d'azote disposés en V. Chargé positivement, ce composé est stabilisé et neutralisé avec du fluorure d'arsenic, formant un sel stable à -78°C , mais qui se décompose à 22°C , et explose violemment en présence d'eau. Cet ion, fortement contraint, est un puissant oxydant : servira-t-il un jour de carburant ou d'explosif?

Le destin de l'Univers

Les cosmologistes assuraient que le destin de l'Univers était établi : il n'y aurait pas contraction après la phase d'expansion actuelle, mais une accélération de l'expansion. Cette assertion était fondée sur la luminosité des supernovae dans les lointaines galaxies, moins intense que prévu. Il fallait supposer cependant que la luminosité intrinsèque des supernovae lointaines est identique à celle des supernovae proches, ce que contredit un résultat récent.



Photon par photon

La détection d'un photon unique, que ce soit par l'œil ou par un photodétecteur, est en général destructive. Pourtant, en mécanique quantique, rien n'interdit de «voir et de revoir» un unique photon. Cette prouesse expérimentale est le fruit de l'équipe de Serge Haroche, à l'École normale supérieure de Paris. Cette expérience est fondée sur la mesure de la phase du mouvement de rotation d'un électron placé sur une orbite circulaire autour d'un ion de rubidium. Le champ d'un seul photon dans la cavité suffit à inverser cette phase, sans changer l'énergie de l'électron, donc sans absorber le photon. En mesurant la phase de l'électron, on détecte ainsi le photon sans le détruire.

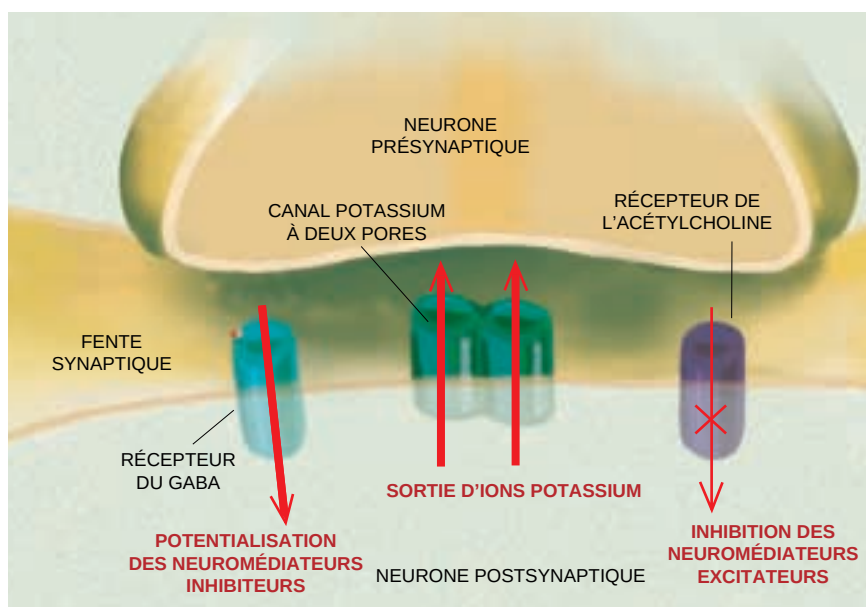
Un nouveau mécanisme pour l'anesthésie

Des molécules commandant le flux des ions potassium à travers la membrane des neurones sont la cible de certains anesthésiques.

Plusieurs potions, élixirs ou autres préparations ont été utilisées pour endormir les opérés ou apaiser leur douleur. En 1842, un médecin américain a l'idée de faire respirer de l'éther à un des malades qu'il doit opérer. C'est le début de l'utilisation des anesthésiques volatils. Une anesthésie générale est caractérisée par une perte de conscience, une suppression des sensations douloureuses, un relâchement du tonus musculaire et une amnésie. Tous ces symptômes disparaissent après élimination des drogues. Pour endormir les opérés, les anesthésistes utilisent plusieurs substances qui bloquent la transmission de l'influx nerveux. Amanda Patel, Éric Honoré, Georges Roney, et leurs collègues de l'équipe de Michel Lazdunski (CNRS-UPR 411) ont découvert un nouveau mode de mise au repos du système nerveux central : les anesthésiques volatils agissent spécifiquement sur une toute nouvelle classe de molécules, des canaux potassium à deux pores.

Pour expliquer l'action des anesthésiques, on a proposé deux mécanismes : ils agiraient en se dissolvant dans les membranes des neurones, les désorganisant et inhibant la transmission des messages excitateurs ; ou bien ils se fixeraient sur des cibles spécifiques localisées sur ces membranes, notamment sur les récepteurs du GABA, le principal neuromédiateur inhibiteur du système nerveux central. Plusieurs arguments sont en faveur de cette seconde hypothèse.

Les récepteurs du GABA sont situés sur des canaux chlore, qui restent fermés tant que le neuromédiateur n'y est pas fixé. Quand le GABA se lie à son récepteur, le canal chlore s'ouvre laissant entrer des ions chlore dans le neurone postsynaptique. Cette entrée massive de charges négatives crée un hyperpolarisation qui bloque la transmission des signaux dans les neurones. Les anesthésiques qui se fixent également sur les récepteurs du GABA, renforcent encore le flux d'ions chlore : les neurones postsynaptiques sont totalement mis au repos. Pour obtenir ce mécanisme de perte réversible de conscience, on peut soit renforcer l'action d'un neuromédiateur inhibiteur (le GABA, notamment), soit inhiber l'action d'un neuromédiateur excitateur, le glutamate ou l'acétylcholine. Ces neuromédiateurs déclenchent l'émission de signaux excitateurs en se fixant sur leurs récepteurs. Toute substance (et c'est le cas de certains anesthésiques) qui prend la place de ces neuromédiateurs sur leurs récepteurs, les empêche d'agir, donc d'activer le système nerveux central.



Les anesthésiques mettent le système nerveux central au repos soit en potentialisant les neuromédiateurs inhibiteurs (tel le GABA) qui bloquent la transmission de l'influx nerveux dans les neurones postsynaptiques, soit en inhibant les neuromédiateurs excitateurs (tel l'acétylcholine) qui, au contraire, transmettent l'influx nerveux. Les nouvelles cibles des anesthésiques sont les canaux potassium à deux pores qui laissent des ions potassium quitter en masse le neurone postsynaptique, ce qui bloque également la transmission de l'influx.

En fait, l'inhibition de l'activité neuronale peut-être obtenue par l'afflux d'ions chlore qui pénètrent dans les neurones postsynaptiques par les récepteurs du GABA, mais aussi par une sortie d'ions potassium par des canaux potassium spécifiques. Jusqu'à présent, on connaissait des canaux potassium à un pore, mais Florian Lesage a récemment découvert une nouvelle famille de canaux potassium : ils sont constitués de deux pores.

Ces canaux potassium seraient généralement au repos, sauf en cas de stress. Dans ces conditions, de l'acide arachidonique et d'autres acides gras (les constituants des membranes) seraient libérés. Or certains de ces canaux potassium à deux pores sont activés par l'acide arachidonique et par les perturbations mécaniques de la membrane. Dans ces conditions, les canaux potassium s'ouvrent, déclenchant une sortie d'ions potassium de la cellule : on pense qu'une telle hyperpolarisation aurait un effet protecteur en empêchant, par exemple, les ions cal-

cium (toxiques quand ils sont en excès) de pénétrer dans les neurones au cours d'un accident vasculaire cérébral.

A. Patel et ses collègues ont montré que certains de ces canaux sont activés par les anesthésiques volatils. Deux de ces canaux, nommés TASK et TREK-1 sont activés par ces anesthésiques, mais tandis que TREK-1 est activé par le chloroforme, l'éther, l'halothane et l'isoflurane, TASK n'est activé que par l'halothane et l'isoflurane. S'ils agissaient en se dissolvant dans la membrane et en la perturbant, on ne devrait pas constater une telle spécificité.

De surcroît, en éliminant, par diverses techniques, des régions particulières des molécules qui constituent les canaux potassium à deux pores, l'équipe de Sophia Antipolis a montré que les anesthésiques cessent d'agir quand certaines zones sont retirées. Les anesthésiques n'agissent sans doute pas sur les canaux TREK-1 et TASK en s'y liant par un mécanisme de type clé-serrure, mais en modi-

fiant la configuration de la protéine-canal : cette modification réversible entraînerait l'ouverture du canal. Les récepteurs TREK-1 et TASK sont exprimés dans de nombreux tissus et surtout dans le cerveau et dans le cœur, ce qui explique pourquoi certains anesthésiques ont des effets secondaires indésirables : ils perturbent la fonction cardiaque.

La découverte de ces canaux potassium sensibles aux anesthésiques volatils augmente le nombre des cibles des anesthésiques. On sait que les invertébrés ont de très nombreux types de canaux potassium à deux pores et l'on commence à en découvrir d'autres chez l'homme. Peut-être trouvera-t-on alors des canaux spécifiques d'un organe qui seraient activés par un anesthésique particulier. Parviendra-t-on, un jour, à «endormir» spécifiquement le système nerveux central sans toucher le cœur ni les poumons, c'est-à-dire sans risque de déclencher des effets secondaires délétères ?

Vision primaire

Le cerveau traite la position des yeux en même temps que les images.

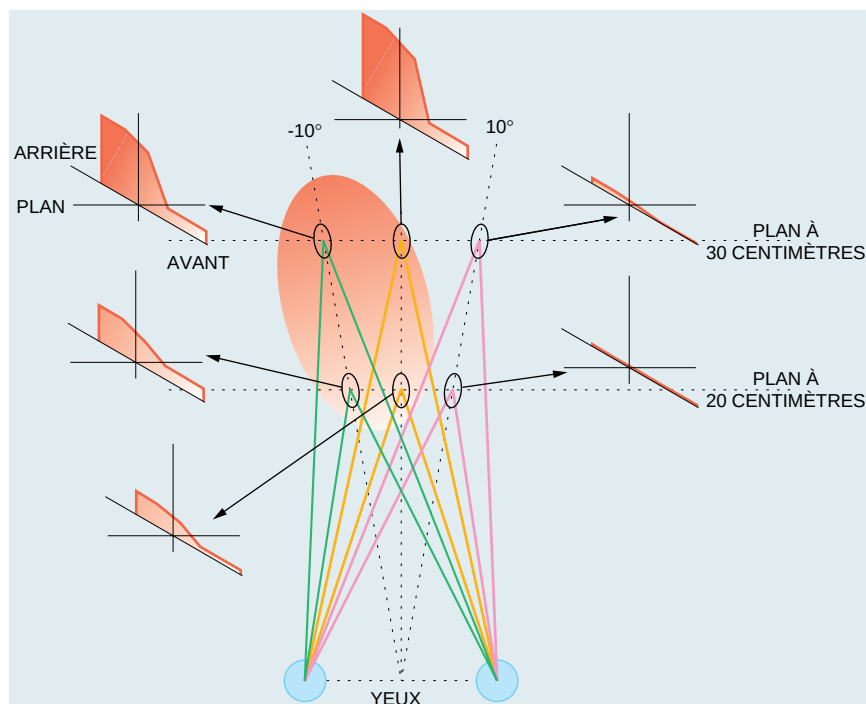
Avant de saisir un objet, nous devons le localiser, apprécier sa forme et son volume, ainsi que la distance qui nous en sépare. Nous disposons pour cela de deux yeux, écartés de quelques centimètres, qui reçoivent deux images d'un même objet, avec un léger décalage angulaire. Notre cerveau reconstruit le relief en combinant ces deux images et en tenant compte de la position de ceux-ci par rapport au reste de notre corps. On pensait que notre cortex visuel primaire, qui se situe dans la partie postérieure de notre cerveau, se contentait de coder les images reçues par les rétines et que leur positionnement dans l'espace était reconstitué seulement dans une seconde étape du traitement visuel, dans une autre zone cérébrale, le cortex pariétal. En réalité, le cortex primaire code déjà la position des objets dans l'espace tridimensionnel.

Nous explorons le fonctionnement du cerveau chez des macaques rhésus, qui ont les mêmes capacités perceptives que l'homme, en enregistrant l'activité électrique individuelle des neurones en réponse à des images présentées sur un écran vidéo. Ces enregistrements révèlent d'abord que le cortex primaire code l'orientation des bords qui défi-

nissent un objet, ainsi que le relief de cet objet.

Fermons un œil. Chaque neurone du cortex visuel primaire n'est sensible qu'à la lumière qui arrive sur une petite portion de la rétine de l'œil ouvert, son champ récep-

teur. Si l'on projette dans ce champ récepteur un trait, matérialisé par une différence de contraste, l'activité du neurone dépend de l'orientation de ce trait : elle est maximale pour une orientation préférentielle, et minimale pour l'orientation ortho-



Les neurones du cortex visuel primaire codent la position des objets dans l'espace. Leur activité (graphes en rouge) est modulée par la distance du plan de fixation (ici, à 20 ou à 30 centimètres), par la position du stimulus par rapport à ce plan (en avant, en arrière ou dans le plan) et par la position latérale des objets (au centre, en orange, à 10 degrés à gauche, en vert, et à 10 degrés à droite, en rose). On a représenté ici l'activité d'un neurone (récapitulée par le dégradé de couleur de l'ellipsoïde) sensible aux stimuli présentés en arrière d'un plan de fixation à 30 centimètres et sur la gauche de la tête.

gonale. Toutes les orientations préférentielles sont représentées dans le cortex.

Ouvrons les deux yeux : la plupart des neurones du cortex ont deux champs récepteurs, un sur chaque rétine. L'activité d'un neurone est maximale lorsqu'un stimulus (par exemple un trait convenablement orienté) est projeté simultanément sur ses deux champs récepteurs, c'est-à-dire lorsque ce stimulus est placé à l'intersection des projections des deux champs récepteurs à travers la lentille que constitue le cristallin. La position relative des deux champs récepteurs détermine si leurs projections se croisent dans le plan fixé par les yeux, en avant de ce plan ou en arrière. Là aussi, toutes les positions relatives sont représentées dans le cortex, ce qui permet le codage de la profondeur relative des différents éléments d'un même objet (et la position relative de plusieurs objets).

Nous avons découvert récemment que l'activité de la moitié environ des neurones du cortex visuel primaire dépend aussi de

l'orientation des yeux. Nous avons entraîné deux macaques à fixer un point sur un écran, dans trois directions différentes sans bouger la tête : droit devant, dix degrés sur la gauche et dix degrés sur la droite. Pour chacune de ces directions, nous leur avons présenté des bords orientés, à des positions variables par rapport au plan fixé par les yeux (devant, dans le plan, derrière). Nous avons observé qu'un neurone dont l'activité est maximale pour un bord d'orientation donnée situé, par exemple, derrière le plan de fixation quand le singe fixe sur sa gauche est inactif pour le même stimulus présenté sur sa droite ; l'activité d'autres neurones est, au contraire, d'autant plus grande que le regard est dirigé vers la droite.

Les messages issus de la rétine et des muscles des yeux interagissent donc dès le cortex primaire. Jusqu'à présent des modulations de l'activité visuelle par la direction du regard n'avaient été observées que dans le cortex pariétal et dans quelques zones cérébrales voisines, qui

intègrent des signaux d'origines diverses, visuels, oculomoteurs, auditifs... Ces aires, qui reçoivent des informations visuelles informeraient-elles en retour le cortex visuel primaire de la position des yeux ? C'est peu probable : les modifications de l'activité neuronale dans le cortex primaire en fonction de l'axe du regard apparaissent trop vite après la présentation du stimulus visuel pour qu'une telle rétroaction ait le temps de se produire.

Nous savions déjà que l'activité des neurones du cortex primaire dépend aussi de l'angle de convergence des yeux. Cette partie du cerveau code donc, outre l'orientation d'un stimulus, la distance du plan de fixation, la position du stimulus par rapport à ce plan et sa position latérale : ils codent sa position absolue dans l'espace, par rapport à la tête. Le cortex primaire ne l'est donc pas tant que cela : il reconstitue des images beaucoup plus complexes que ne le pensaient ceux qui l'ont nommé ainsi.

YVES TROTTER, CNRS,
Université Paul Sabatier, Toulouse

La preuve vidéo ?

L'identification des visages à partir d'une vidéo est délicate.

Les caméras vidéo sont aujourd'hui partout : dans les magasins, les banques, les bus, etc. Des villes entières s'équipent même de caméras de surveillance. Sans discuter la dissuasion de ces méthodes de surveillance généralisées, la question qui se pose est simple : la qualité des images vidéo des caméras de surveillance est-elle suffisante pour identifier une personne ? Autrement dit, un film

vidéo constitue-t-il une preuve fiable ? Pour répondre à cette question, Vicki Bruce et Mike Burton, deux psychologues écossais, ont demandé à 230 étudiants de comparer des visages issus de films vidéo de bonne qualité et des photographies classiques. Parmi les 200 visages des photographies, dix correspondaient à des visages des films vidéo. À leur grande surprise, les psychologues ont remarqué que, même dans des conditions idéales, où les visages sont de face avec une expression neutre, seuls 70 pour cent des identifications étaient correctes. Lorsque sur l'image vidéo le visage souriait, les identifications correctes tombaient à 64 pour cent, et lorsque

le visage était de côté, cette proportion n'était plus que de 61 pour cent.

Dans une seconde expérience, 60 étudiants regardaient de courtes séquences vidéo de haute qualité qui mettaient en scène des inconnus. On leur demandait alors de retrouver la photographie du visage correspondant. Même lorsqu'on les prévenait que l'une des dix photographies correspondait au personnage de la séquence visionnée, 79 pour cent seulement réussissaient l'identification.

À l'inverse lorsque des visages connus étaient filmés avec une même résolution médiocre, 90 pour cent des identifications étaient correctes. Ainsi, si l'on identifie facilement des visages connus, la comparaison de visages inconnus est difficile. Malgré l'arrivée des caméras vidéo numériques, dont la définition est bien supérieure à celle des caméras analogiques, les procédures d'identification à des fins de justice devront prendre en compte cette difficulté. Lorsque les sujets ne sont pas familiers, les procédures de reconnaissance automatique donnent de bien meilleurs résultats que la reconnaissance visuelle. Toutefois, ces procédures automatiques fonctionnent mal lorsque la qualité vidéo est médiocre.

Ainsi, les visages connus ne sont pas traités comme des images, mais de manière abstraite, ce qui permet une généralisation à différentes conditions d'observation, tels l'angle de vue ou la luminosité.



Les images utilisées pour la première série de tests. À gauche, une image fixe extraite d'une séquence vidéo et à droite, une photographie de bonne qualité.

Derrière les barreaux

Depuis quelques années, le nombre de personnes emprisonnées a augmenté dans la plupart des pays occidentaux. Toutefois, les États-Unis battent le record : 668 prisonniers pour 100 000 habitants, presque autant que dans les pays de l'ex-Union soviétique. La criminalité n'est pourtant pas plus importante dans ce pays qu'en Europe occidentale (excepté pour les homicides, qui sont de deux à huit fois plus nombreux à cause de la facilité avec laquelle on achète une arme à feu aux États-Unis).

Il y a une trentaine d'années, la peur de la criminalité et du trafic de drogue a commencé à gagner la société américaine. Les hommes politiques se sont alors empressés de promettre qu'ils mettraient sous les verrous tous les criminels. Pour ne citer que les plus récents, les présidents Ronald Reagan et George Bush ont mis en œuvre des mesures répressives, déclarant notamment « la guerre à la drogue ». Même William Clinton, qui appartient pourtant au Parti démocrate, traditionnellement moins sévère, a cautionné la peine de mort et, comme président, a signé un projet de loi anti-criminalité qui demandait plus de prisons et un accroissement des peines minimales. Les gouverneurs d'un grand nombre d'États ont aussi signé des lois plus répressives, notamment à l'égard des récidivistes. Les officiers locaux, policiers, magistrats instructeurs et juges, qui prennent la plupart des décisions

courantes à propos des incarcérations, ont été fortement influencés par ces discours et par ces mesures sécuritaires : de plus en plus, ils ont choisi l'emprisonnement des délinquants.

Les peines, déjà longues par rapport

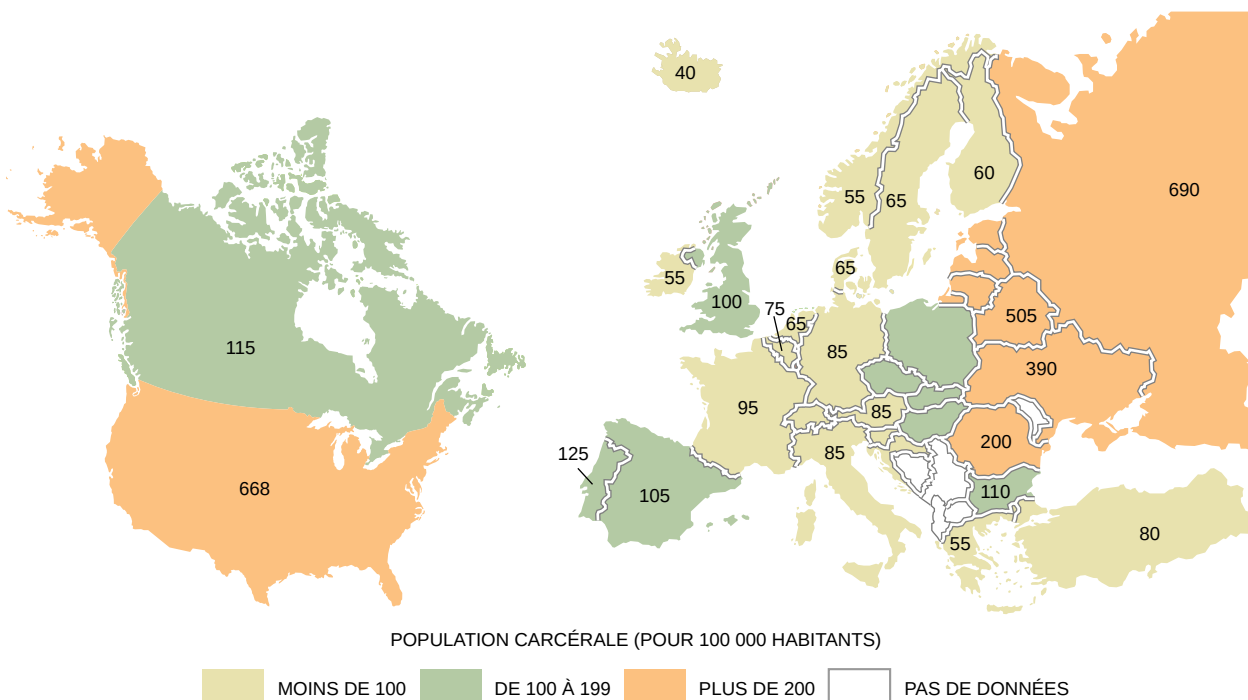
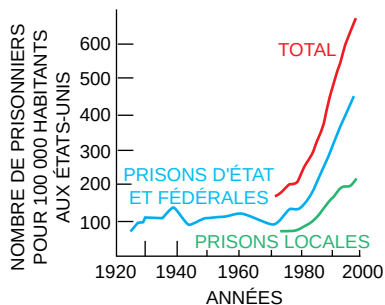
à celles appliquées en Europe occidentale, se sont donc allongées. Le nombre de personnes emprisonnées a été multiplié par cinq entre 1972 et 1988, où il a atteint 1,8 million. La majorité des condamnés de ces dernières années ont commis des délits sans violence, telle la possession de drogue, qui ne sont pas punis par de longues peines de prison dans les autres pays occidentaux.

L'augmentation du nombre d'incarcérations s'est produite pendant que les atteintes aux biens des personnes diminuaient fortement et que le nombre de crimes violents baissait aussi. Pour autant, des sentences lourdes réduisent-elles la criminalité ? Rien n'est prouvé.

En revanche, ce durcissement pénal, qui s'exerce particulièrement à l'égard des jeunes hommes noirs, a pour conséquence la plus visible la dislocation de la communauté noire. Une importante minorité d'adolescents, blancs et noirs, ont des comportements violents mais, vers 20 ans, la plupart des Blancs trouvent du travail et fondent une famille, tandis qu'une grande partie des Noirs n'ont pas d'emploi : ils ont plus de risques de rester, ou de devenir délinquants et d'aller en prison. Le système est aussi biaisé en défaveur des Noirs à propos de la drogue : bien que 13 pour cent seulement des consommateurs de drogue soient noirs, 74 pour cent des condamnations liées à la drogue concernent des Noirs. Un Noir adulte sur sept est privé de droit de vote suite à une condamnation criminelle.

Selon deux criminologues britanniques, les sociétés les moins égalitaires sont les plus sévères. L'emprisonnement est une « récompense négative », comparé à la récompense positive qu'est la richesse. Ce point de vue explique peut-être pourquoi les États-Unis ont une plus forte proportion de leur population en prison que les autres pays occidentaux, où les inégalités de revenus sont moindres, et pourquoi cette proportion a commencé à croître au début des années 1970, peu après que les différences de revenu ont commencé à se creuser.

Rodger DOYLE



Les dégâts d'un ver

Un ver de terre tasse le sol plus que des bulldozers.

Dans le massif amazonien, de grandes surfaces de forêt sont abattues et brûlées puis transformées en pâturages. Cette déforestation entraîne un tassement du sol, attribué habituellement au passage des lourdes machines utilisées pour transporter les troncs et au piétinement du bétail. Toutefois, avec Eleusa Barros, de l'Institut brésilien de recherche amazonienne, à Manaus, et Armand Chauvel, de l'Institut de recherche pour le développement, nous avons découvert qu'un ver de terre participe activement au tassement des sols argileux d'Amazonie Centrale.

La transformation de la forêt en pâturage, qui soumet le sol à des alternances plus marquées de sécheresse et d'humidité, appauvrit fortement la faune du sol (vers de terre, termites, fourmis) : 70 à 80 pour cent des espèces d'invertébrés qui peuplent le sol forestier disparaissent. Une espèce de ver de terre, *Pontoscolex corethrurus*, envahit alors le sol du pâturage où sa densité peut dépasser 400 individus par mètre carré, constituant plus de 90 pour cent de la biomasse d'invertébrés ; ce ver compacte le sol, en réduisant le volume des pores au sein des agrégats de particules du sol et entre ceux-ci.

Nous avons comparé les variations de la porosité d'un échantillon de sol prélevé sous forêt au Nord de Manaus, entre zéro et cinq centimètres de profondeur, et dont l'humidité était conservée, d'une part lorsqu'il est soumis à une forte pression mécanique et d'autre



Les déjections du ver de terre *Pontoscolex corethrurus* (les concrétions blanches, nommées *turricules*), rejetées à la surface d'un sol de pâturage, s'agrègent et forment une couche compacte en se desséchant. Cette photographie a été prise en saison sèche, après formation de fentes de dessiccation.

part lorsqu'il transite dans le tube digestif de *Pontoscolex corethrurus*. Après l'application d'une forte pression, de 1 000 kilopascals (correspondant à une masse de 10 kilogrammes sur un centimètre carré), le volume des pores qui assurent la circulation et la rétention de l'eau utilisable par les plantes (de dimensions comprises entre 0,1 et 100 micromètres), est alors divisé par sept (de 21,7 à 3 centimètres cubes pour 100 grammes de sol). La compaction par *Pontoscolex corethrurus* est plus forte : dans les déjections de ce ver, le volume de la même classe de pores est divisé par 14. Dans le tube digestif du ver, la teneur en eau est doublée ; le sol est mélangé à du mucus (contenant des matières organiques hydrosolubles) et malaxé. Les petits agrégats d'origine biologique (de diamètres compris entre 10 et 500 micromètres), qui constituent une grande partie du sol sous forêt, disparaissent presque totalement dans ces déjections.

Dans certains pâturages, et même dans des zones déboisées manuellement

et non pâturées actuellement, une couche superficielle continue, de quelques centimètres d'épaisseur, se forme par la coalescence des déjections de vers de terre, déposées à l'état boueux, et qui durcissent en séchant. La masse des déjections ainsi produites peut dépasser 100 tonnes par hectare et par an. Cette couche compacte ralentit l'infiltration de l'eau et l'aération du sol. Celui-ci n'est plus oxygéné et devient gris ; l'herbe dépérit et des taches dépourvues de végétation s'étendent dans le pâturage. L'absence d'oxygène favorise aussi la production de méthane, gaz à effet de serre, par les micro-organismes du sol.

Dans le sol forestier, des pores sont créés en permanence par de nombreuses espèces «décompactantes» (termites, fourmis, autres espèces de vers de terre). La réintroduction de celles-ci, associée à une reconstitution au moins partielle du milieu forestier, semble aujourd'hui la meilleure solution pour redonner au sol ses qualités premières.

Michel GRIMALDI, IRD - INRA, Rennes

Le potassium et le chou

Le canal ionique qui transfère le potassium de la racine vers les vaisseaux où circule la sève a été identifié.

La chèvre mange le chou, l'homme, qui est un loup pour l'homme, mange la chèvre (et aussi le chou). Ajoutons un maillon en amont de cette chaîne alimentaire succinte : le chou absorbe les ions potassium. Ces ions, très étudiés par les agronomes, sont indispensables aux

plantes, notamment pour contrôler l'ouverture de pores, nommés stomates, disposés sur les deux faces des feuilles. Ces pores régulent les échanges de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone. Ils sont aussi essentiels au bon fonctionnement du système nerveux de la chèvre et de l'homme.

Deux sèves coexistent dans une plante. La sève brute, composée de l'eau et des sels minéraux (sodium, potassium, phosphates,...) que les végétaux puisent dans le sol, circule, dans les vaisseaux d'un tissu nommé xylème, des racines aux parties supérieures. La sève élaborée, qui contient principalement les sucres fabriqués dans les feuilles grâce

à la chlorophylle et la lumière, parcourt l'ensemble de l'organisme dans les vaisseaux d'un autre tissu, le phloème. Il existe des passages entre le phloème et le xylème.

Les ions s'infiltrant dans les différents tissus par des ouvertures constituées de protéines spécifiques, nommées canaux ioniques, insérées à travers la membrane des cellules. Jusqu'à présent, pour le potassium, seul le canal ionique qui permet aux ions de pénétrer dans les racines était connu. L'équipe de Hervé Sentenac, de l'Institut national de recherche agronomique et de Jean-Baptiste Thibaud, du CNRS, à Montpellier, a récemment identifié chez

Arabidopsis thaliana, une plante de la même famille que le chou (les crucifères) et bien adaptée aux études génétiques, le canal ionique, dénommé SKOR, qui transfère le potassium de la racine vers les vaisseaux qui véhiculent la sève.

Les ions potassium du sol pénètrent dans les cellules périphériques de la racine par le canal AKT1 découvert en 1992 par la même équipe ; puis ils circulent dans le réseau formé par les cellules jusqu'au cœur de la racine où des cellules les transfèrent par le canal SKOR dans les vaisseaux du xylème qui conduit la sève brute vers les parties supérieures de la plante. Une partie du

potassium redescend dans les vaisseaux du phloème et repasse dans les vaisseaux du xylème par un canal encore inconnu.

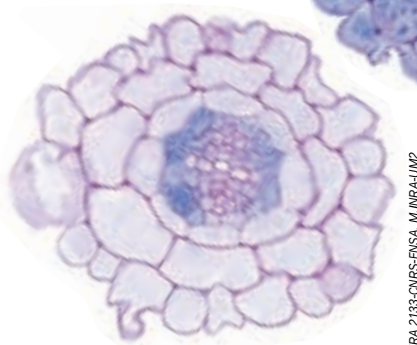
La protéine SKOR est formée de quatre sous-unités. Chacune de ces dernières est repliée pour for-

mer six segments parallèles qui traversent la membrane des cellules situées à la frontière entre les racines et les vaisseaux du xylème.

L'un des six segments est chargé électriquement et se déplace en fonction des concentrations ioniques de part et d'autre de la membrane de la cellule : la protéine SKOR adopte ainsi deux états (ouvert ou fermé) dont dépend le passage des ions potassium. Ce mode de fonctionnement est proche de celui de canaux connus chez l'homme.

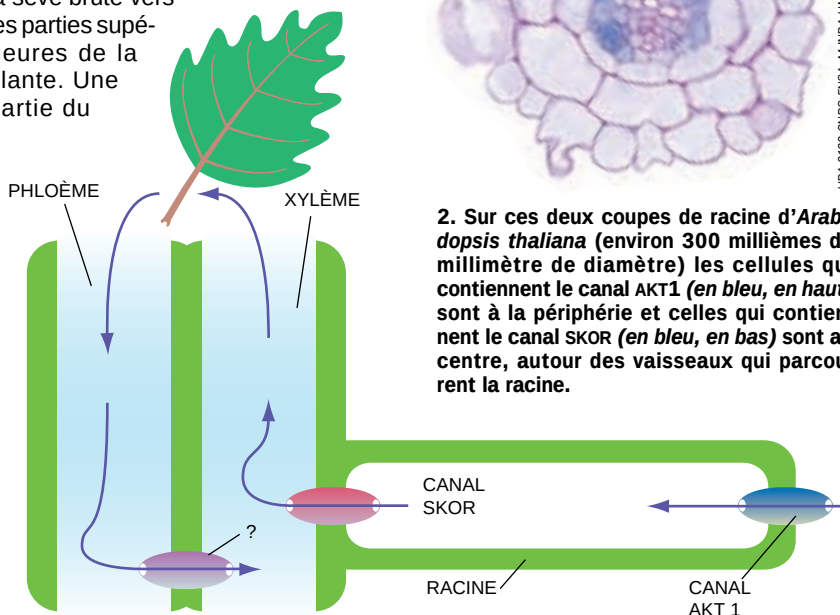
Ces canaux sont également contrôlés par l'acide abscissique, une hormone végétale impliquée dans les réactions au stress telles que la sécheresse et le froid, et qui agit sur l'ensemble de l'organisme, des racines aux feuilles.

Or la qualité du moût de raisin, et donc du vin, dépend de la concentration en potassium dans les baies : plus elles sont riches en potassium, plus l'acidité du moût et les qualités organoleptiques du vin diminuent. Toutefois, comme les ions potassium sont indispensables à la bonne croissance de la vigne, les agronomes cherchent à diminuer la teneur en potassium, mais uniquement dans les baies. Pour ce faire, ils tentent, par des modifications génétiques ciblées sur le canal SKOR, de contrôler le transport et la répartition des ions dans la vigne.



URA 2133-CNRS-ENSA, M. INRA-UN2

2. Sur ces deux coupes de racine d'*Arabidopsis thaliana* (environ 300 millièmes de millimètre de diamètre) les cellules qui contiennent le canal AKT1 (en bleu, en haut) sont à la périphérie et celles qui contiennent le canal SKOR (en bleu, en bas) sont au centre, autour des vaisseaux qui parcourent la racine.



1. Les ions potassium pénètrent dans la racine par le canal AKT1 (en bleu), puis sont sécrétés par le canal SKOR (en rouge) dans le xylème qui les véhicule jusque dans les feuilles. Ils empruntent ensuite le phloème et rejoignent le xylème par un canal inconnu (en violet).

Déchets contre déchets

La pulpe de betterave pour le traitement de l'eau.

Comment éviter les rejets de métaux lourds dans les eaux usées des usines ? Les lagunages qui sont à la mode dans nombre de communes rurales éliminent bien les composés organiques des eaux usées, mais ils ne retiennent pas les métaux comme le plomb, le cuivre et leurs cousins, tous toxiques en concentrations élevées. Jean-François Thibaut et ses collègues de la Station INRA de Nantes ont trouvé un procédé pour capter ces atomes à l'aide d'un déchet de l'industrie agro-alimentaire : ils font passer les eaux usées à travers des pulpes de betteraves.

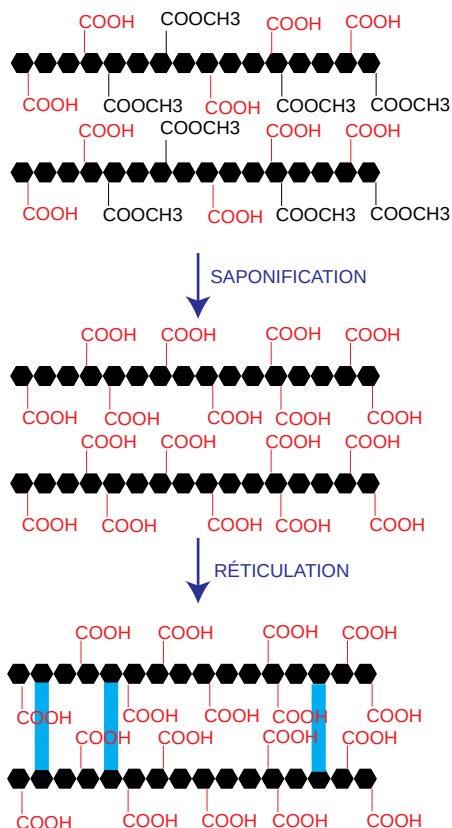
Ces dernières sont produites en abondance par les industries sucrières : les

25 millions de tonnes de betteraves produites chaque année en France engendrent, après extraction du sucre, 1,3 million de tonnes de pulpe sèche. Celle-ci est vendue pour l'alimentation animale à raison de 700 francs par tonne, mais elle est composée de molécules intéressantes : quelques sucres résiduels, et, surtout, de la cellulose et de la pectine. Ne peut-on tirer un meilleur parti de ces molécules élaborées ?

La pectine est un polymère, c'est-à-dire une molécule composée par l'enchaînement de sucres élémentaires, essentiellement l'acide galacturonique. C'est une molécule que connaissent bien les cuisiniers qui font des confitures : quand on chauffe des fruits en présence de sucre, elle est extraite des parois et passe en solution ; puis, quand le mélange refroidit, les molécules de pectine s'associent et forment un gel, la confiture. Toutefois, toutes les molécules de pec-

tine ne gélifient pas : tout dépend de leur groupes latéraux, qui sont soit des groupes acide carboxylique ($-\text{COOH}$), soit des groupes acides estérifiés par du méthanol ($-\text{COOCH}_3$). Ne gélifient que les molécules de pectine méthylées, c'est-à-dire comportant une forte proportion (plus de 70 pour cent) de groupes latéraux estérifiés. Les molécules de pectine de betterave, qui comportent peu de groupe méthylés, ont longtemps semblé sans intérêt, parce qu'elles ne gélifient pas, mais cet inconvénient portait un avantage : les nombreux groupes acide carboxylique peuvent se lier aux atomes métalliques ionisés (c'est-à-dire qui ont perdu des électrons).

Ayant vérifié les propriétés d'absorption d'ions métalliques par la pulpe de betterave préalablement lavée, les chimistes de Nantes ont d'abord cherché un traitement qui augmenterait ces propriétés. Pourrait-on détacher le méthanol des



Pour obtenir des molécules de pectines qui captent efficacement les métaux, on les saponifie, afin d'augmenter le nombre de sites fixateurs (en rouge), puis on les réticule (par des molécules schématisées en bleu) afin de limiter leur gonflement.

groupes latéraux méthylés afin de créer de nouveaux sites de liaison aux ions métalliques? Les chimistes ont traité la pulpe de betterave par une base, afin d'effectuer une réaction chimique de saponification (par la même réaction, on transforme les graisses en savon). Un traitement qui dure seulement une heure et demie double la capacité d'absorption des atomes métalliques.

Hélas, quand on saponifie ainsi les pectines, les mêmes groupes latéraux qui fixent des ions métalliques se lient aux molécules d'eau, de sorte que la pulpe gonfle excessivement quand on la met dans l'eau. Ce gonflement serait gênant, lors d'un traitement des eaux, car la pulpe qui aurait capté des ions métalliques devrait être coûteusement séchée avant d'être incinérée. Comment éviter ce gonflement? Les chimistes nantais ont proposé de lier les molécules. Les deux composés testés (le formaldéhyde, ou formol, et l'épichlorhydrine) relient des groupes latéraux hydroxyle ($-OH$) portés par les molécules de pectine. Si la réticulation par le formaldéhyde réduit la capacité de liaison, la réticulation par l'épichlorhydrine réduit considérablement le gonflement sans diminuer la capacité de fixation.

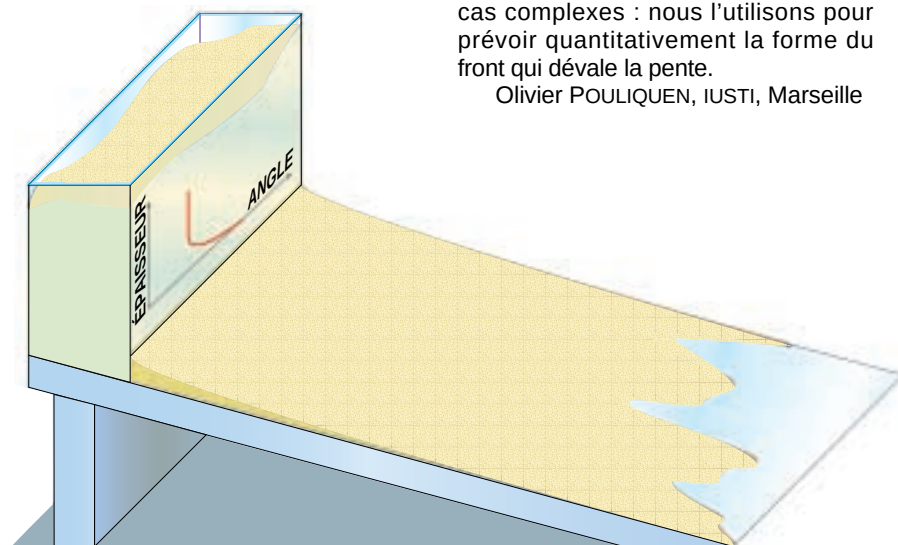
Glissements de terrain

La mécanique de l'écoulement du sable : une couche mince s'écoule difficilement.

Quoi de commun entre un éboulement de terrain, la chute du sable dans un silo, le déchargement d'un silo de céréales? Dans tous les cas, de la matière en grains s'écoule. Comment? Malgré l'importance des écoulements granulaires dans l'industrie et en géophysique, la simple question «à quelle vitesse coule une couche de sable sur une pente?» reste ouverte. Des expériences d'écoulement sur plan incliné apportent un début de réponse.

Les comportements des milieux composés de grains sont d'une grande variété. Lors de la construction d'un édifice, par exemple, le sol (granulaire) se déforme sous le poids et se comporte comme un solide, car les frottements des grains sont importants et les déformations sont lentes. En revanche, quand on secoue énergiquement une boîte partiellement remplie de sable, les collisions entre les grains sont élastiques et le milieu a les caractéristiques d'un gaz.

Toutefois, dans de nombreuses applications ou lors d'événements naturels, comme les avalanches et les glissements de terrain, les grains ont un comportement intermédiaire. Au cours d'une avalanche de roches, les grains roulent tout en restant en contact avec leurs voisins. Ils interagissent à la fois par collisions et par frottements. Comment décrire ces écoulements denses? Par analogie avec un liquide? Peut-être, mais le sable est loin de se comporter comme de l'eau.



Ce dispositif expérimental mesure l'épaisseur d'un dépôt après une avalanche de sable.

Une meilleure compréhension des propriétés d'écoulement passe par des expériences de laboratoire dans des configurations épurées.

L'expérience que nous avons réalisée consiste à faire couler un milieu granulaire simplifié (des billes de verre de 0,5 millimètre de diamètre) sur un plan incliné rugueux. Contrairement à un fluide classique, un milieu granulaire ne s'écoule pas dès que l'on incline le plan. Depuis un travail d'Augustin Coulomb, en 1773, on sait que le sable s'écoule quand l'angle du plan sur lequel il repose est supérieur à un angle critique, l'angle dit angle de talus. Toutefois nos expériences ont montré que le phénomène d'écoulement est plus complexe que ne l'avait pensé Coulomb : le seuil d'écoulement dépend à la fois de l'angle du support et de l'épaisseur de la couche de sable ; une couche mince coule plus difficilement qu'une couche épaisse.

Cet effet semble dû à la rugosité du support. Le dépôt qui subsiste après un écoulement est, d'ailleurs, une manifestation du phénomène : lorsque l'écoulement n'est plus alimenté, il reste sur le plan rugueux une couche immobile car le sable ne s'y écoule plus. Son épaisseur, mesurable, est celle pour laquelle l'écoulement s'arrête.

L'épaisseur du dépôt subsistant renseigne sur la vitesse de l'écoulement, comme l'ont révélé les mesures systématiques de vitesses d'écoulement que nous avons entreprises pour différentes valeurs des paramètres : angle d'inclinaison, épaisseur et rugosité du fond. Les données expérimentales se rassemblent sur une courbe reliant l'épaisseur du dépôt en fonction de l'angle d'inclinaison et elle permet de prévoir ces vitesses. La justification théorique de cette variation n'est pas élucidée, mais on détermine ainsi la vitesse d'écoulement dans des cas complexes : nous l'utilisons pour prévoir quantitativement la forme du front qui dévale la pente.

Olivier POULIQUEN, IUSTI, Marseille