

Anti-analgésique analgésique

La morphine soulage la douleur ; des substances qui en bloquent l'action calment aussi la douleur.

La douleur est un signal d'alarme permettant à l'organisme d'identifier, dans son environnement, les éléments qui menacent son intégrité et sa survie. Les messages douloureux sont transmis des territoires sensibles vers la moelle épinière ; des relais les transmettent vers le cerveau, lequel commande la fuite ou l'évitement. Certaines substances diminuent la douleur, notamment la morphine et ses analogues naturellement présents dans l'organisme, les opioïdes endogènes ou enképhalines. Certaines molécules renforcent la douleur et, plus étonnant, d'autres encore, ont les deux effets. Ainsi, nous avons montré qu'une molécule nommée NPFF se comporte comme un anti-opioïde et renforce la sensation douloureuse quand elle agit dans le cerveau, mais qu'elle calme la douleur lorsqu'elle agit dans la moelle épinière.

Les opiacés, dérivés de la morphine, agissent sur la moelle épinière par l'intermédiaire de récepteurs dits opioïdes ; placés sur la voie ascendante qui conduit les perceptions vers la moelle épinière, puis vers le cerveau, ces récepteurs bloquent l'entrée des signaux douloureux (ou nociceptifs) vers les centres supérieurs du système nerveux ; ainsi, ils diminuent la sensation douloureuse.

Toutefois, la sensation douloureuse ne doit pas être supprimée, car ce signal d'alarme améliore les chances de survie et favorise la reconnaissance des objets responsables de sensations douloureuses. Ainsi, les effets des opioïdes doivent être compensés en permanence, dans le système nerveux, par les effets opposés des anti-opioïdes endogènes. Il y a quelques années, on a découvert des neuropeptides qui bloquent l'activité analgésique des opiacés : ce sont des anti-

opioïdes qui favorisent la transmission des messages douloureux et augmentent la sensation de douleur.

Ainsi, le neuropeptide NPFF est un anti-opioïde. Isolé chez le bœuf en 1985, ce peptide est un neurotransmetteur présent en très forte concentration chez les mammifères. Administré dans le cerveau, le NPFF inhibe l'analgésie produite par la morphine. Inversement, des anticorps qui inactivent le NPFF augmentent l'analgésie morphinique.

UN PEPTIDE, DEUX ACTIONS

Toutefois, diverses données pharmacologiques remettent en cause le dogme selon lequel un anti-opioïde potentialise la douleur. Comme le NPFF est rapidement dégradé par des enzymes, les neuropharmacologues ont étudié des analogues qui ont les propriétés du NPFF, mais qui sont plus résistants. Ainsi, chez le rat, l'injection directe d'analogues du NPFF dans la moelle épinière produit une analgésie très puissante : ils agissent pendant 48 heures, tandis que la morphine, administrée de

cette façon, calme la douleur pendant 120 minutes environ et que les doses efficaces sont 50 fois supérieures à celles du NPFF.

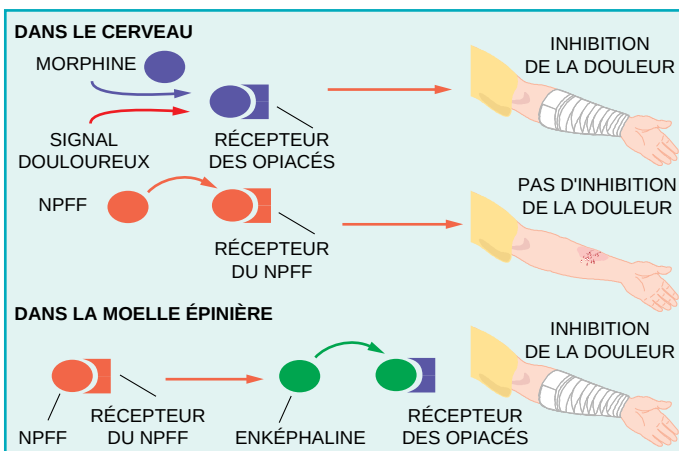
Comment le NPFF agit-il ? On constate que l'action analgésique des analogues du NPFF est bloquée (comme celle de la morphine) par des substances qui inhibent l'action des opiacés (des antagonistes opioïdes). On pourrait en conclure que ces analogues agissent sur les récepteurs des opiacés localisés dans la moelle épinière. En fait, ces analogues stimulent indirectement les récepteurs opioïdes : en agissant sur leurs propres récepteurs, ils déclencheraient la libération d'enképhalines endogènes, et ce seraient ces substances qui, en activant les récepteurs opioïdes, déclencheraient l'action analgésique. Ces résultats inattendus montrent que, dans la moelle épinière, le NPFF utilise le système opioïde pour produire ses effets.

Les conclusions préliminaires assimilant le NPFF à un anti-opioïde n'étaient qu'une facette d'une réalité plus complexe : selon l'état physiologique de l'organisme, le NPFF renforcerait ou inhiberait la douleur. Chez les rongeurs, le système opioïde est plus actif la nuit que le jour, au moment où la douleur est la plus probable, et où la vigilance de l'animal doit être maximale. Luis Stinus et Guy Simonnet, de l'Université de Bordeaux, ont montré que le NPFF se comporterait, chez le rat, comme un anti-opioïde le jour et comme un analgésique la nuit, modulant, selon les besoins, l'action des opiacés endogènes.

En fait, un équilibre fonctionnel semble régner entre le NPFF et les systèmes opioïdes, et la modification de cet équi-

libre conduit à des réactions différentes. Ce changement de statut du neuropeptide NPFF servira peut-être à la mise au point de médicaments. Dans la mesure où un tel effet pourra être reproduit chez l'homme, les analogues du NPFF devraient se révéler être de puissants analgésiques après injection directe dans la moelle épinière. Puisque le NPFF potentialise l'analgésie déclenchée par la morphine, on pourrait combiner l'action de ces deux substances et utiliser des doses de morphine très faibles, minimisant ainsi les risques d'effets secondaires, notamment l'accoutumance.

Jean-Marie ZAJAC,
CNRS, IPBS, Toulouse



En stimulant les récepteurs des opiacés, la morphine inhibe les sensations douloureuses. Dans le cerveau, quand le NPFF se lie à ses récepteurs, il peut empêcher la morphine d'agir : il augmente les sensations de douleur. Au contraire, dans la moelle épinière, le NPFF déclencherait la libération d'enképhalines, des substances synthétisées par l'organisme et analogues à la morphine : en se fixant sur les récepteurs des opiacés, les enképhalines inhibent la douleur. Le NPFF agit alors indirectement comme un analgésique.

Stratégies de chasse

L'environnement et la culture guidaient les choix des hommes du Paléolithique.

Comment les hommes du Paléolithique composaient-ils leurs menus? Ils choisissaient parmi les ressources alimentaires disponibles, en fonction de leurs besoins, mais aussi de leur culture et de leur technique. Les reliefs de leurs repas nous permettent de reconstituer leur environnement naturel et de connaître l'abondance des ressources.

Au Paléolithique moyen et supérieur (il y a entre 300 000 et 10 000 ans), en Europe, les hominidés, hommes de Néandertal ou de Cro-Magnon, vivent en petits groupes de chasseurs-cueilleurs. Ils pratiquent la prédation, par la chasse et la pêche, et le charognage. La prédation requiert une bonne connaissance du gibier et du territoire : les chasseurs accumulent des informations écologiques, éthologiques et techniques. Leurs stratégies, leurs gestes, voire leurs armes sont adaptés au comportement de l'animal convoité et au milieu où il évolue. Des choix culturels s'expriment aussi dans les modes de prédation. Ainsi les restes des animaux chassés et consommés renseignent-ils les préhistoriens sur l'environnement et sur les modes de vie des hommes préhistoriques.

Les chasseurs n'abattent pas le gibier au hasard : ils choisissent les proies qui leur apporteront le plus d'énergie pour un investissement d'énergie et de temps minimal. D'après l'étude de plusieurs sites archéologiques, nous avons élaboré deux modèles pour distinguer les périodes d'abondance et de pénurie.

En période d'abondance, la recherche d'animaux gras est privilégiée. La faune consommée est dominée par une ou deux espèces grégaires d'origine locale, peu dangereuses et productives, exclusivement chassées en troupeaux. On retrouve, parmi les animaux abattus, plus de mâles que de

fémmes, ou inversement selon la saison (ils ne sont pas gras au même moment de l'année), mais peu ou pas d'ossements de fœtus ni de nouveau-nés : les femelles gravides sont épargnées. La saisonnalité d'abattage, caractérisée par la pousse et l'usure des dents, par la croissance des os ou par les bois des cervidés, est fortement



Les hommes du Paléolithique n'étaient pas, comme sur ce tableau peint à la fin du siècle dernier, à la merci des fauves et de la présence ou non de gibier. Leurs stratégies de subsistances étaient parfaitement adaptées à leur environnement.

marquée ; les adultes dans la force de l'âge sont recherchés. Enfin les carcasses ne sont pas exploitées complètement : le matériel osseux est peu fracturé.

PÉNURIE ET PÉRIODES FROIDES

En période de pénurie en revanche, la diversité des espèces abattues est plus grande et la chasse est complétée par le charognage. On trouve autant de mâles que de femelles, de tous les âges, y compris des femelles gravides ou allaitantes, mais avec un déficit en jeunes, dont la viande est trop maigre. La saisonnalité est peu marquée, et l'origine des animaux peut être éloignée du lieu de consommation. Le matériel osseux

très fracturé témoigne d'une exploitation poussée des carcasses.

Au cours du Paléolithique, le climat européen a beaucoup varié. Quelles ont été les conséquences de ces variations, notamment les phases glaciaires, sur l'alimentation humaine? Lors d'un refroidissement ou d'un assèchement du climat, la biomasse diminue : la productivité totale nette d'une steppe, en condition froides et sèches, est de 4,2 tonnes par hectare en moyenne, contre 11,2 tonnes par hectare pour une prairie en conditions tempérées et humides. La végétation se raréfie, les herbivores aussi. Si l'homme ne change pas de territoire et ne l'agrandit pas, il augmente sa consommation de viande au détriment de sa consommation de végétaux, plus rares. Les animaux des régions froides sont plus gras, afin de lutter contre le froid. Pour maintenir un bon équilibre physiologique, il faut

consommer des nutriments complémentaires à ceux fournis par la viande (calcium, potassium, sodium, magnésium, vitamines A, E, C, B10). Les hommes préhistoriques chassent alors des animaux gras, des jeunes, des femelles gravides ou allaitantes, et mangent des abats, crus de préférence.

Cette situation est illustrée par des restes osseux du Paléolithique moyen découverts à Mützig, en Alsace. Le climat, aux saisons marquées, était humide et relativement rigoureux en hiver ; un important dégel se produisait au printemps. La chasse, menée pendant l'été, était orientée vers le renne et le cheval, dont les restes prédominent. Les animaux abat-

tus étaient surtout des jeunes et des adultes dans la force de l'âge, avec une prédominance des femelles pour le renne, mais pas de fœtus ni de nouveau-nés. De petites hardes étaient chassées, ainsi que quelques animaux solitaires. La faune était d'origine locale. Enfin, les carcasses de renne et de cheval ont été exploitées intensément.

Dans certains sites où l'approvisionnement en matière première pour la confection des outils et des armes semble difficile et où, en revanche, les restes osseux indiquent une période d'abondance, on suppose que les préhistoriques s'y sont installés car l'approvisionnement en aliments y était aisé et abondant.

Marylène PATOU-MATHIS, CNRS, Institut de paléontologie humaine.

Le sentiment de bonheur

Les gens sont plus heureux qu'on le prétend, surtout les personnes mariées.

Le bonheur n'est guère étudié, le malheur, beaucoup plus, comme si le bonheur s'obtenait par élimination des sources de malheur... Depuis 20 ans, les chercheurs américains David Myers et Ed Diener ont rassemblé les informations de dizaines d'enquêtes à travers le monde, concernant des centaines de milliers de personnes interrogées sur leur sentiment de «bien-être». Aux États-Unis et en Europe, les gens sont plus heureux qu'on ne le pensait et le sentiment de bonheur ne dépend pas notablement de la richesse ou de l'environnement.

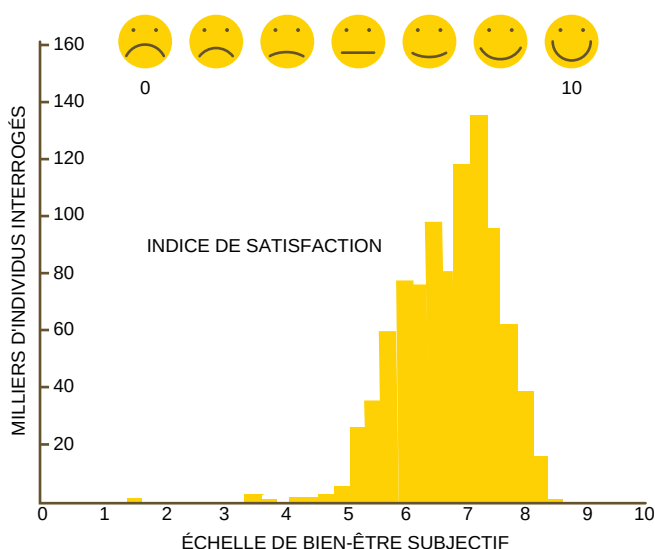
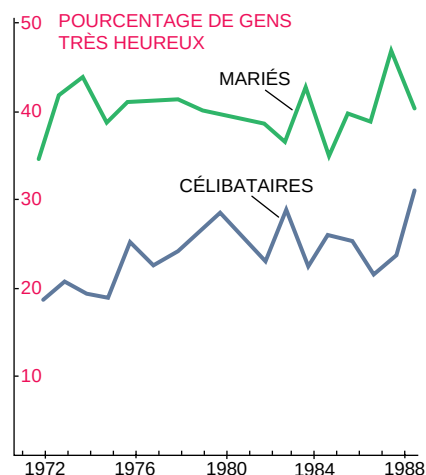
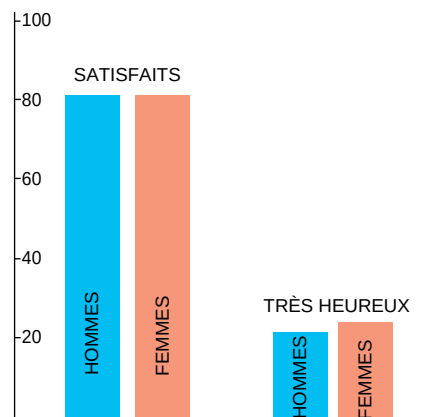
Comment les chercheurs en sciences sociales mesurent-ils quelque chose d'aussi indéfinissable que le bonheur? En demandant aux personnes interrogées de définir leur sentiment de bonheur et de malheur : comparés aux individus déprimés, les gens heureux sont moins égocentriques, moins agressifs, moins grossier et sont en meilleure santé. La répartition de l'indice de bonheur en fonction de divers paramètres,

tels que l'âge, le sexe, la richesse, la race ou le niveau d'éducation, révèle une constance étonnante : les gens sont à peu près aussi heureux, qu'ils soient jeunes ou âgés, riches ou pauvres, noirs, jaunes ou blancs, éduqués ou illettrés, hommes ou femmes.

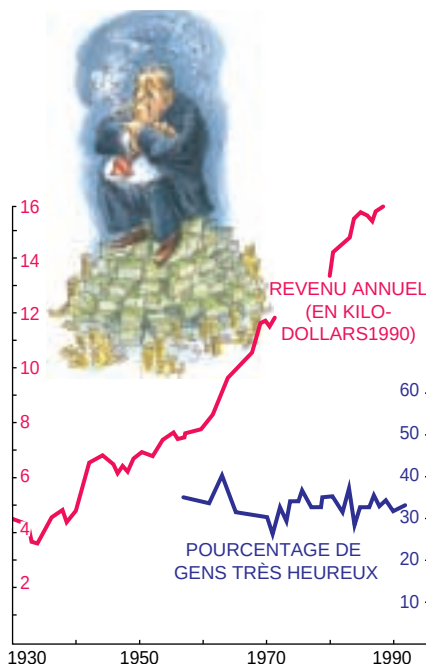
Ainsi les Américains ont un revenu deux fois supérieur à celui de 1957 (en dollars constants), mais la proportion de ceux qui se déclarent très heureux a décliné de 35 à 29 pour cent durant la même période. Une enquête, menée parmi les 100 Américains les plus riches a même révélé que ceux-ci sont seulement légèrement plus heureux que la moyenne. Ce n'est que dans les pays les plus pauvres, comme l'Inde ou le Bangladesh, que le revenu est un indicateur fiable du bien-être ressenti.

Les habitants des pays riches sont-ils beaucoup plus heureux que ceux des pays plus pauvres? En général oui, mais la différence est faible. Au Portugal, par exemple, une personne sur dix seulement se déclare très heureuse, tan-

dis qu'aux Pays-Bas, beaucoup plus prospère, la proportion de gens très heureux est de quatre sur dix. Durant les années 1980, les Irlandais se déclaraient plus heureux que les habitants de la riche République fédérale d'Allemagne. Comme d'autres facteurs, tels les droits civiques et le niveau d'instruction, sont également corrélés à la richesse d'une nation, on ne peut déterminer si le bonheur des habitants des pays riches est fondé sur



Les chercheurs en sciences sociales ont enquêté sur le sentiment de bien-être subjectif d'un échantillon représentatif de la population américaine. On demande aux personnes interrogées à quel pictogramme leur humeur correspond le mieux (en haut). En rassemblant les données de près d'un millier d'enquêtes portant sur plus d'un million de personnes, on obtient une estimation du sentiment de bien-être subjectif.



Le bonheur apparaît relativement uniforme. Les personnes des deux sexes rapportent un sentiment de bonheur similaire (en haut). L'une des seules variations marquées se situe entre les personnes mariées et les célibataires (au milieu). Aux États-Unis, le «bien-être subjectif» est resté à peu près constant entre 1930 et aujourd'hui, alors que les revenus augmentaient (en bas).

leur richesse ou est une conséquence d'autres facteurs de bien-être.

Études après études, on relève, chez les gens heureux, quelques traits de caractère. Ils possèdent une haute opinion d'eux-mêmes. Ils pensent généralement qu'ils sont plus moraux, plus intelligents, qu'ils ne nuisent à personne, qu'ils s'entendent bien avec tout le monde et qu'ils sont plus riches que la moyenne. Les personnes heureuses, optimistes et extraverties estiment qu'elles choisissent leur vie. Aux États Unis le sentiment de bonheur était plus grand parmi les individus pratiquant une religion.

Les causes de ces corrélations sont incertaines. Est-ce que le bonheur amène les individus à interagir socialement, ou est ce que les gens qui ont une vie sociale très active sont plus heureux? Si les gens heureux sont plus actifs, cela expliquerait pourquoi ils se marient plus tôt, ont des meilleurs emplois et se font plus d'amis. Si ces traits de caractère prédisposent au bonheur, les gens seraient plus heureux en agissant d'une manière adéquate.

Quel qu'en soit la raison, l'abondance de relations personnelles, caractéristique du bonheur est également corrélée à l'état de santé. À l'inverse des célibataires ou des solitaires, les personnes qui peuvent citer plusieurs amis proches sont en meilleure santé et ont une espérance de vie supérieure.

Paul Valéry écrivait avec raison «Un homme seul est toujours en mauvaise compagnie». Pour plus de neuf personnes sur dix, le mariage est le meilleur moyen de mettre fin à la solitude. Bien que la fin d'une relation conjugale puisse être cause de souffrances, un mariage solide semble être une source de soutien moral. Durant les années 1970 et 1980, 39 pour cent des adultes mariés se déclaraient «très heureux» contre 24 pour cent de ceux qui n'avaient jamais été mariés (l'écart est similaire pour les deux sexes). Dans d'autres études, 12 pour cent seulement des divorcés se percevaient comme «très heureux».

Dans les études sur le bonheur, on examine aujourd'hui chez les gens heureux, les corrélations entre leur bonheur, leur vision du monde et leurs objectifs. Une partie de ces recherches indiqueront peut-être comment transformer les circonstances et les comportements qui s'opposent au bonheur en des comportements qui y conduisent. Finalement, l'étude scientifique du bonheur pourrait nous aider à comprendre comment construire un monde qui renforce le sentiment de bien-être et qui aide les gens à tirer le meilleur d'eux-mêmes. □

Modélisez et simulez vos systèmes dynamiques avec SIMULINK®.

SIMULINK, système interactif complet, intègre la modélisation, la simulation et l'analyse de vos systèmes dynamiques. Complémentaire au logiciel MATLAB, il lui est totalement intégré, ce qui vous permet de bénéficier des fonctionnalités des deux logiciels dans un même environnement de travail.

Modélisation

Vous modélisez rapidement, sous forme de schémas-blocs.

vos systèmes linéaires et non linéaires, évoluant en temps discret ou continu. De très nombreux blocs sont fournis, que vous positionnez et liez tout simplement avec la souris pour construire votre modèle. Vous pouvez créer vos propres blocs en code C, Fortran ou MATLAB, ou encore de façon graphique à partir de sous-modèles schémas-blocs. Des ensembles de blocs spécialisés (Blocksets) sont proposés en option.

Modules applicatifs

- DSP Blockset
- Nonlinear Control Design Blockset
- Fixed-Point Blockset

Simulation et analyse

Des fonctions de simulation basées sur de puissants solveurs d'équation (Runge-Kutta, Gear, Adams,...) vous permettent d'observer de façon interactive l'évolution temporelle de votre modèle. Des fonctions de linéarisation et de définition des points d'équilibre sont également à votre disposition.

Génération de code C

Avec le module additionnel Real-Time Workshop®, vous générez du code C source directement à partir de votre schéma-bloc SIMULINK. Ce code peut être intégré dans toute application ou implanté sur des processeurs-cibles.



Ces produits sont disponibles sur PC, Macintosh, UNIX et VMS.

Pour recevoir gratuitement une brochure technique accompagnée de 4 exemples applicatifs, appelez dès aujourd'hui, le

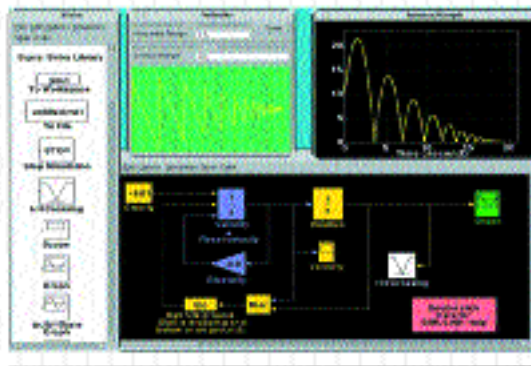
(1) 45 34 23 91

ou encore photocopiez cette page, joignez-y vos coordonnées et faxez-la au

(1) 45 07 08 06

SCIENTIFIC SOFTWARE

72-78, Grande Rue - 92310 SURESNES
Email : info@sgfr



Simulation d'un rebond sur une surface rigide, avec visualisation de la vitesse et de la trajectoire de la balle. L'intégration du bloc 'Trapezoidal' dans le modèle permet de tenir compte avec précision des discontinuités du système.

Une image de neurones

Une nouvelle méthode permet de suivre l'activité des cellules nerveuses, une par une.

Les neurones ont des formes variées en raison de la diversité des arborisations qui les terminent. Leur fonction dépend-elle de leur forme ? Pour le savoir, on doit pouvoir les étudier un par un : Paul Gogan et Suzanne Tyc-Dumont, de l'Unité de Neurocybernétique cellulaire du CNRS de Marseille, ont mis au point une méthode de visualisation de neurones en culture qui, pour la première fois, autorise l'observation de tous les événements qui surviennent simultanément dans un neurone excité.

L'intérieur d'un neurone au repos est électriquement négatif par rapport à l'extérieur ; en phase d'excitation, la différence de potentiel entre les deux faces de la membrane s'annule, voire s'inverse. L'afflux d'ions sodium change les propriétés électriques de la membrane, et cette modification locale se transmet de proche en proche : le potentiel d'action ou «influx nerveux» se transmet

dans tout le prolongement neuronal. On disposait de deux méthodes pour étudier ce phénomène, mais elles ne donnent que des informations partielles.

Avec les microélectrodes intracellulaires, directement implantées dans le corps cellulaire du neurone, on mesure le potentiel d'action, résultante de tous les événements électriques qui se produisent dans la membrane du neurone pendant la durée de l'excitation. Avec la méthode du patch-clamp, plus précise, une microélectrode sélectionne une infime partie de la membrane du neurone et mesure la quantité des ions qui la traversent.

Cette information locale ne renseigne pas sur la participation éventuelle des canaux ioniques situés ailleurs sur la membrane du corps cellulaire ou de l'extrémité (l'arborisation dendritique). Pour cela, on doit visualiser le neurone tout entier : avec la nouvelle méthode, le neu-

rone apparaît en détail et les images obtenues permettent de localiser tous les sites membranaires excités.

Pour observer les variations du potentiel électrique, l'équipe de Marseille utilise un colorant fluorescent qui se fixe dans la membrane du neurone et dont la fluorescence change légèrement chaque fois que le neurone est excité. Afin de détecter ces infimes variations de luminosité, S. Tyc-Dumont et ses collègues ont adapté les caméras utilisées par les astronomes pour photographier les étoiles lointaines, mortes depuis des millions d'années et dont la Terre ne reçoit qu'une faible intensité lumineuse. Une caméra de ce type, couplée à un microscope, permet de visualiser la totalité de la membrane d'un neurone.

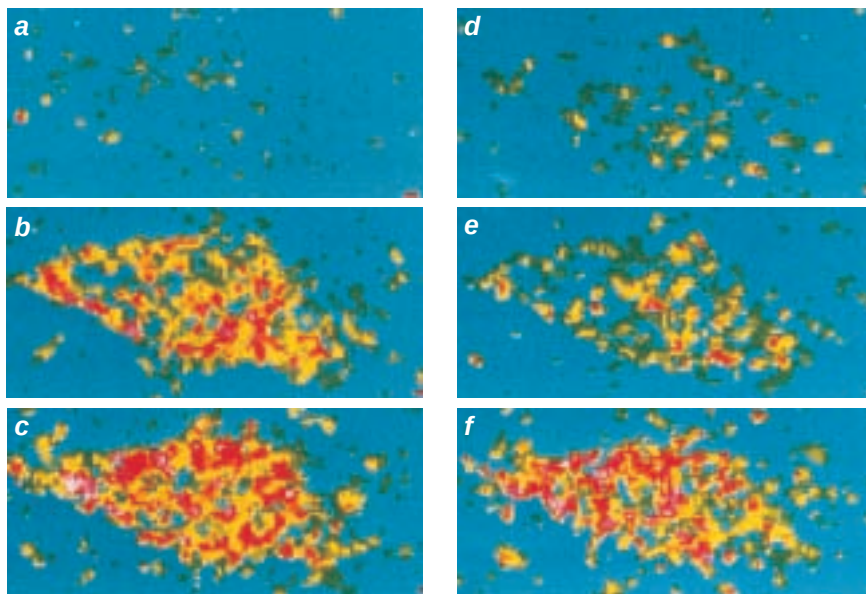
EXCITATION ALÉATOIRE

De cette façon, on observe l'activité de tous les canaux, lors d'une excitation neuronale. On a ainsi découvert que la membrane d'un neurone excité n'est pas homogène : elle apparaît comme une mosaïque multicolore. La diversité des couleurs indique que les canaux ioniques y sont répartis de façon hétérogène, et qu'ils ont des activités électriques – repérées par les nuances de couleurs – très différentes. Une image presque uniformément bleue correspond au potentiel de repos de la cellule. Après une excitation, les sites bleus indiquent les canaux fermés, inactifs, et les sites rouges les canaux ouverts, actifs. L'ouverture et la fermeture des différents canaux est totalement aléatoire d'une excitation à l'autre.

Cette nouvelle méthode devrait aider les neurobiologistes à savoir si les canaux voisins interagissent, en potentialisant ou en inhibant leur action ; si chaque canal a un comportement individualisé ou si plusieurs canaux réagissent simultanément ; on étudiera comment communiquent les neurones et comment l'excitation d'une cellule nerveuse modifie l'activité électrique des cellules voisines. En suivant l'activité électrique d'un neurone, on pourra également préciser les récepteurs membranaires où se fixent les médicaments et étudier comment ces derniers modifient l'activité électrique du neurone.

La microstructure de la membrane neuronale correspond à la répartition des canaux ioniques dans cette membrane : cette microstructure est aléatoire. Au contraire, la géométrie de l'ensemble, *in vivo*, ne l'est certainement pas, et l'organisation des terminaisons dendritiques optimise, sans doute, la fonction cérébrale.

Marie-Thérèse LANDOUSY



Les canaux ioniques localisés dans la membrane du corps cellulaire d'un neurone en culture ont été visualisés grâce à un colorant sensible aux différences de potentiel. Lorsque le neurone est au repos (a), les canaux sodium sont fermés, et apparaissent en bleu. Lorsque le neurone est excité, certains canaux s'ouvrent et deviennent rouges. La mosaïque des couleurs montre que tous les canaux ne sont pas ouverts ou fermés simultanément, et que certains, en vert ou en jaune, sont dans un état intermédiaire (b et c). Quand on bloque sélectivement les canaux sodium, ils sont tous inactivés (d), et leur activité réapparaît progressivement à mesure que l'inhibiteur cesse d'agir (e et f). Chaque neurone mesure environ 100 micromètres dans sa plus grande dimension.

Faune du Sahara

Le dernier refuge des grands mammifères est au Tchad.

Les grands mammifères du Sahara supportent mieux l'aridité que la pression humaine. Après avoir disparu d'Algérie, de Libye et d'Égypte, au Nord, puis de Mauritanie et du Mali, au Sud-Ouest, ils ne subsistent plus aujourd'hui qu'au Niger et, surtout, au Tchad. Pour combien de temps encore ? Selon une récente mission de dénombrement, certaines espèces risquent de disparaître bientôt complètement pour un motif pourtant contrôlable : la chasse, pratiquée



Cette gazelle dorcas mâle, déshydratée après une poursuite en voiture, par plus de 40°C, est incapable d'échapper à un homme à pieds. Elle sera bientôt égorgée.

surtout par les militaires, nombreux et bien armés.

Les dernières populations viables d'ongulés (animaux à sabots) sahariens vivent dans le Nord du Tchad, notamment dans la sous-préfecture de l'Ennedi. La guerre a sévi longtemps dans cette région montagneuse, isolée aux frontières du Soudan et de la Libye. Aucune étude écologique précise n'y a été menée depuis les années 1960.

Le seigneur des milieux rocheux est le mouflon à manchettes, caractérisé par ses imposantes cornes courbes et des poils formant un « tablier » sur son poitrail et des « manchettes » sur ses pattes antérieures. Il ne quitte qu'exceptionnellement les reliefs peu accessibles, où il est difficile à repérer : la couleur de son pelage est quasi identique à celle des grès de l'Ennedi. On ne le rencontre,

sur les pâturages et les points d'eau, qu'à l'aube et au crépuscule : il passe les heures chaudes à l'ombre d'abris rocheux. L'espèce est encore présente dans les principaux massifs montagneux du Sahara, et la population totale serait de 15 000 à 25 000 individus. L'Ennedi reste l'un de ses refuges, en particulier la bordure méridionale du massif, où sa répartition se serait peu modifiée depuis les années 1960. Sur 200 000 hectares classés en réserve de faune en 1967, mais qui ne sont aujourd'hui protégés qu'en théorie, le mouflon n'a disparu que de zones fréquentées par les nomades.

Les espèces qui, telle la gazelle dorcas, vivent en plaine sont chassées de façon intensive. Leur habitat n'offre aucune protection. Les animaux sont aisément poursuivis en véhicule tout terrain et abattus au fusil-mitrailleur. On peut même se passer de cette arme : une poursuite de moins d'une demi-heure épuise l'animal, qui ne peut habituellement se passer de boire qu'au prix d'une absence d'effort physique. Un homme à pieds peut alors l'égorgier. Ceux qui pratiquent ce type de chasse ne choisissent que les mâles, qui se déshydratent plus vite que les femelles. Les petits sont souvent capturés vivants pour alimenter un commerce illégal.

Selon nos observations, la gazelle dorcas résiste bien à cette chasse, tandis que les populations de gazelle dama sont beaucoup plus touchées et que les deux antilopes sahariennes, l'addax, aux cornes torsadées, et l'oryx algazelle, aux cornes courbes, semblent presque décimées. Les recherches ont été infructueuses, aussi bien au sol que par avion, sur les 80 000 kilomètres carrés de la réserve d'ouadi Rimé-ouadi Achim, créée en 1969 pour ces deux espèces. Des témoignages font cependant état de la présence sporadique de petits groupes d'addax (entre un et cinq individus) dans des zones frontalières, à l'Est vers le Soudan et à l'Ouest vers le Niger. Il convient d'être plus pessimiste à propos de l'oryx, qui recherche des milieux moins arides que l'addax. Il est pris entre la sécheresse qui le pousse vers le Sud et les éleveurs qui progressent vers le Nord à la faveur des récentes années pluvieuses et des programmes de creusement de puits.

Jérôme TUBIANA

Un chronomètre pour les noyaux

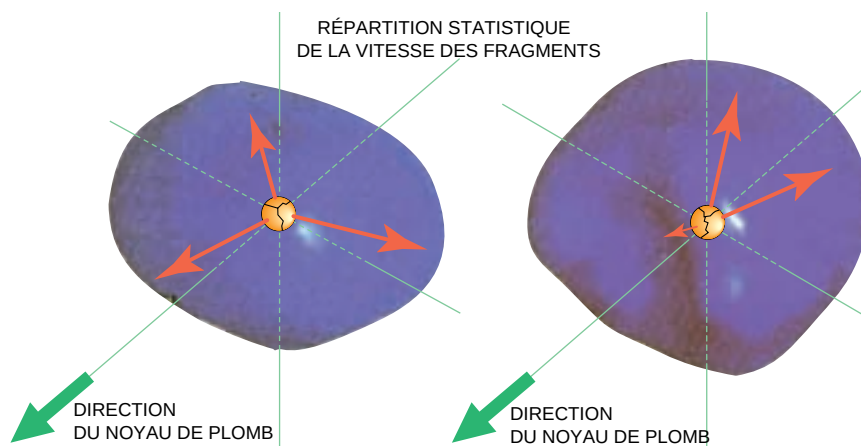
La répulsion entre les produits d'une réaction nucléaire indique la durée de vie des noyaux.

Pour mieux comprendre les propriétés des noyaux, minuscules grains de matière constitués de protons et de neutrons, on bombarde les noyaux d'une cible mince avec ceux d'un faisceau. Connaissant le résultat de ces collisions, on mesure les propriétés mécaniques des noyaux telles leur résistance à des températures et à des pressions analogues à ce qu'ils subissent lors des explosions d'étoiles. Pour ce faire il faut analyser des collisions très violentes et mesurer des durées de vie des milliards de fois inférieures à ce que peuvent enregistrer les instruments. Les expériences réalisées à l'accélérateur du laboratoire du GANIL, à Caen, indiquent une cohésion de la matière nucléaire dans des états extrêmes plus forte que prévue.

Dans ces expériences, on bombarde une cible d'or avec un faisceau d'ions de plomb (des atomes dépouillés d'un ou de plusieurs électrons). Les noyaux sont projetés l'un contre l'autre à des vitesses proches du quart de la vitesse de la lumière. La viscosité de la matière

nucléaire est telle que les deux noyaux qui entrent en collision se collent et transforment, par «frottement», leur énergie cinétique en chaleur. Le résultat des collisions entre les noyaux de plomb et les noyaux d'or est un agrégat de matière dont la température dépasse 70 milliards de degrés et dont la densité avoisine 400 millions de tonnes par centimètres cubes. Les noyaux sont excités par la collision et ils accumulent tant d'énergie que les contraintes produites par le chauffage surpassent les forces de cohésion du noyau qui se rompt. Les fragments éparpillés dans l'explosion sont constitués de noyaux plus légers.

Les physiciens reconstituent la chronologie de la collision et, en particulier, ils mesurent la durée de vie des noyaux excités ainsi créés. L'entreprise est ardue car la durée des interactions est voisine de 10^{-22} seconde. Comment chronométrer des événements si éphémères, et comment accéder à des informations sur des processus qui se déroulent au cœur même des atomes ?



Après la collision de noyaux de plomb et de noyaux d'or, les noyaux d'or explosent en trois ou quatre fragments dont les vitesses (flèches rouges) sont mesurées, bien après l'explosion, par le détecteur Nautilus. On a représenté ici la répartition statistique de la vitesse des fragments d'or pour 10 000 collisions. La flèche verte indique la direction du noyau de plomb qui a survécu à la collision. Pour une collision peu violente, le noyau d'or se casse longtemps après la collision. Le noyau de plomb qui a subsisté était alors «loin» (quelques 10^{-13} mètre) du lieu de l'explosion et la répartition statistique de la vitesse des fragments est isotrope (à gauche). Lors d'une collision violente, le noyau d'or explose alors que le noyau de plomb est 100 fois plus proche. La répulsion électrostatique entre les charges positives des fragments émis et celles du noyau de plomb crée un creux dans la répartition des fragments d'or (à droite) : les fragments sont éjectés moins vite dans cette direction.

UN NOYAU ESPION

Des chercheurs de différents laboratoires ont eu l'idée d'utiliser directement le noyau de plomb, lorsqu'il a résisté à la collision, pour chronométrer l'explosion du noyau d'or. Quelques milliardièmes de seconde après la collision, des détecteurs localisent les fragments émis. La mesure du temps de vol entre la cible et le détecteur permet de déduire la vitesse des fragments du noyau d'or émis au cours de l'explosion. Seuls trois ou quatre fragments sont produits à chaque collision. Aussi, pour obtenir la répartition statistique de la vitesse des fragments, accumule-t-on les résultats de milliers de collisions.

Lorsque la durée de vie du noyau d'or surchauffé est faible, le noyau de plomb est encore dans son voisinage lors de l'explosion. En raison de la répulsion électrostatique entre le noyau de plomb, chargé positivement, et les fragments émis, aussi chargés positivement, l'éjection des fragments n'est pas isotrope : dans la direction du noyau de plomb, il y aura un creux dans la distribution des vitesses d'autant plus important que la répulsion est grande. En revanche, lorsque la durée de vie du noyau d'or est longue, le noyau de plomb a eu le temps de s'éloigner avant que le noyau d'or n'explose : la répartition des fragments sera isotrope.

Pour réaliser des comparaisons, on simule l'explosion en suivant l'évolution de trois ou quatre fragments, placés à une distance donnée d'un noyau de plomb et soumis aux forces électrostatiques. Comme dans les expériences, on accumule des événements en variant la répartition angulaire initiale des fragments. On obtient ensuite la répartition statistique pour une durée de vie donnée en variant la distance initiale entre le noyau de plomb et les fragments du noyau d'or. À chaque distance initiale correspond une durée de vie. En comparant les répartitions statistiques issues des expériences et celles des simulations on mesure la durée de vie du noyau d'or.

Dans des collisions violentes on a mesuré un temps de fragmentation de 5×10^{-22} seconde, plus long que ce qui était prévu par la théorie. Comme la durée de vie du noyau chauffé dépend de son état d'excitation, des collisions plus violentes permettraient d'observer des durées de vie plus brèves encore et de sonder ainsi la cohésion des noyaux dans des états extrêmes. C'est l'objectif de récentes mesures réalisées avec le nouveau multidétecteur INDRA et actuellement en cours d'analyse.

Ph. CHOMAZ, GANIL, CEA-CNRS,
D. DURAND, LPC, ISMRA/CNRS, Caen