

Les ouvrières de bas rang détectent ce marquage chimique et attaquent la prétendante : elles saisissent ses pattes et ses antennes et l'immobilisent pendant plusieurs heures, voire plusieurs jours, jusqu'à ce qu'elle abandonne toute velléité de pouvoir. Seule la fourmi *alpha* produit cette phéromone qui, selon les biologistes, serait un signal de l'état physiologique de la fourmi *alpha*. Grâce à cette alliance avec les ouvrières de bas rang, la fourmi *alpha* conserve sa position dominante sans avoir à se battre, et diminue les tentatives de «coup d'État» de la part des ouvrières de haut rang. Les ouvrières de bas rang ont ainsi un rôle d'interposition, essentiel au bon fonctionnement des colonies. Elles stabilisent la hiérarchie de dominance. Toutefois, les ouvrières de bas rang répondent parfois à la phéromone en attaquant la fourmi *alpha* émettrice, probablement parce qu'elle est devenue trop vieille et que la colonie a besoin d'une jeune reproductrice. La composition de la phéromone varierait vraisemblablement au cours de la vie et serait un indicateur de sa vigueur.



Dans une colonie de fourmis *Dinoptera quadriceps*, seule l'ouvrière la plus agressive, nommée *alpha*, s'accouple. Certaines ouvrières dominantes la défient parfois pour prendre sa place. Lors de l'affrontement (page 18), la reproductrice ramène son abdomen vers l'avant afin de projeter à l'aide de son aiguillon des phéromones sur la prétendante. Les ouvrières immobilisent la prétendante (ci-dessus, le numéro 14) jusqu'à ce qu'elle renonce à son «coup d'État».

Le rideau du sommeil

Lorsqu'on s'endort, des circuits neuronaux entrent en oscillation. Ceci crée un filtre qui retient les informations sensorielles et pourrait les empêcher d'accéder à la conscience.

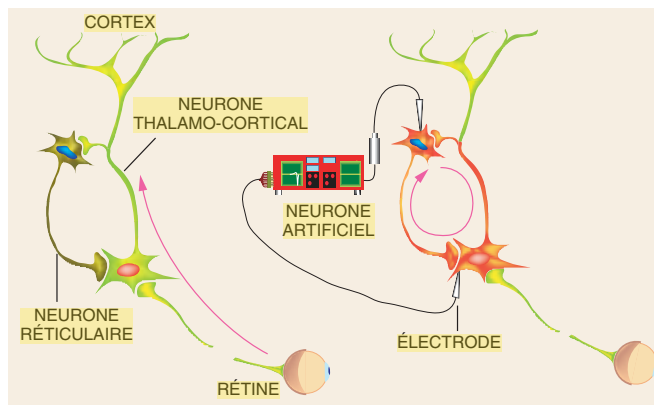
Nous perdons tous conscience une fois par jour : lorsque nous nous endormons. Les sons et les images cessent de parvenir à notre conscience. Au réveil, le contact avec les sensations extérieures revient. Tout se passe comme si le cerveau tirait un rideau sur le monde. Gwendal Le Masson, de l'Unité INSERM EPI 9914, à Bordeaux, et Thierry Bal et Damien Debay à l'Unité de neurosciences intégratives et computationnelles de Gif-sur-Yvette, ont montré que cette capacité de retranchement dépend de boucles de rétroaction électriques entre paires de neurones. Sur des tranches de cerveau de furet, ils ont remplacé un des neurones de la paire par un neurone électronique, et ont pu maîtriser le degré de «sommeil» de cette portion de cerveau.

L'électroencéphalogramme d'une personne éveillée révèle des ondes électriques de faible amplitude, désordonnées et de haute fréquence. Au contraire, au cours des phases de sommeil sans rêve, ou sommeil profond, l'électroencéphalogramme montre des ondes de grande amplitude et de basse fréquence. Ces ondes sont la résultante du battement synchrone de milliards de neurones, rythmés par un centre enfoui de l'encéphale. Dans cette phase, les zones du cortex sont isolées, en partie déconnectées du monde extérieur. Si l'on parle à la personne, elle ne répond pas. Si on lui montre une image, elle ne la voit pas.

Les cerveaux de furet sont le siège d'ondes lentes même une fois prélevés, à condition qu'on les immerge dans du liquide physiologique. Si on coupe le cerveau en tranches, les neurones continuent à fonctionner. On peut dès lors y placer des électrodes et étudier leur activité électrique. On constate qu'ils sont disposés en boucle : les neurones, dits thalamo-corticaux, ont leur corps cellulaire dans le thalamus, et leur extrémité dans le cortex. Une autre classe de neurones se connectent aux premiers au sein d'une zone nommée le noyau réticulaire, puis reviennent au thalamus. Ainsi, dans cette boucle, un neurone du thalamus reçoit un signal de sa propre activité par l'intermédiaire d'un neurone réticulaire. Dans une telle paire de

neurones, le neurone réticulaire est inhibiteur : il diminue l'activité électrique du neurone thalamo-cortical. L'intensité de cette inhibition peut varier, et les biologistes supposent que le moment où le cerveau bascule d'un régime d'éveil à un régime de sommeil dépend précisément de cette inhibition. Pour vérifier cette hypothèse, ils ont remplacé le neurone réticulaire d'une paire par un neurone électronique relié à un ordinateur, réalisé au CNRS de Bordeaux par Sylvie Renaud. Un tel neurone est beaucoup plus grand qu'un neurone biologique, puisqu'il est constitué de fils, d'électrodes, de cartes à puce et d'écrans. Toutefois, ses extrémités sont tout aussi petites et son fonctionnement aussi rapide. Les extrémités sont des électrodes qui plongent dans le corps du neurone biologique et lui injectent des courants électriques, exactement comme une synapse suscite des courants électriques grâce à des neurotransmetteurs.

Ce neurone est programmable par l'expérimentateur qui peut moduler l'intensité de son action inhibitrice. Ainsi, les biologistes ont observé que, si le pouvoir inhibiteur du neurone réticulaire sur le neurone thalamique est faible, le neurone thalamique parvient à transmettre des informations sensorielles, par exemple apportées par les neurones en provenance de la rétine, vers le cortex. En revanche, si le pouvoir inhibiteur du



Un neurone thalamo-cortical est connecté à un neurone réticulaire. Si le pouvoir inhibiteur du neurone réticulaire est faible, les informations passent de la rétine au cortex (à gauche). Si le pouvoir inhibiteur est fort, les influx nerveux circulent en boucle, et l'information n'est pas acheminée vers le cortex (à droite). Cette inhibition est modulable grâce à des neurones artificiels, qui peuvent renforcer ou réduire le pouvoir inhibiteur des neurones réticulaires. Le sommeil est caractérisé par des pulsations régulières en boucle de vastes populations de neurones.

neurone réticulaire est important, l'activité électrique des deux neurones se met à osciller en boucle, de façon autonome : l'information est en permanence réinjectée dans le neurone thalamo-cortical au lieu d'être acheminée vers le cortex.

Cette oscillation a un fondement moléculaire. Sous l'influence inhibitrice du neurone réticulaire, la membrane du neurone thalamique s'hypermolarise, c'est-à-dire que la différence de potentiel qui règne de part et d'autre de la membrane neuronale augmente, freinant les décharges électriques. Ce phénomène active une classe de canaux ioniques, les canaux de calcium à bas seuil, ce qui donne naissance à une onde de dépolarisation. Cette onde repart vers le neurone réticulaire, à nouveau mis à contribution : le processus se répète de façon cyclique, ce qui produit des oscillations dont la fréquence est analogue à celle du sommeil.

Peut-on extrapoler à l'animal ces résultats obtenus sur des coupes de cerveau ? Effectivement, on sait que chez des

chats endormis, l'activité des neurones thalamiques et réticulaires oscille, elle aussi, en boucle. De plus, le réseau hybride peut être tiré de son « sommeil », soit par un fort influx nerveux en provenance de la rétine (l'équivalent d'une lumière aveuglante réveillant le dormeur), soit par de la noradrénaline, une hormone de l'éveil. Ainsi, les neurones artificiels reproduisent assez bien les caractéristiques des réseaux réels.

Dans certaines situations, des groupes de neurones entrent en résonance (fonctionnent en boucle), pendant que d'autres continuent à transmettre les informations sensorielles au cortex. Ce filtre pourrait aider à se concentrer sur une modalité sensorielle particulière. Certains musiciens, quand ils se concentrent intensément sur les sons qu'ils produisent, disent percevoir le monde visuel avec moins d'intensité, de façon floue. Grâce aux nouvelles méthodes d'exploration du cerveau, mêlant biologie et électronique, on espère progresser dans la compréhension de ces phénomènes.

Le palimpseste cosmique

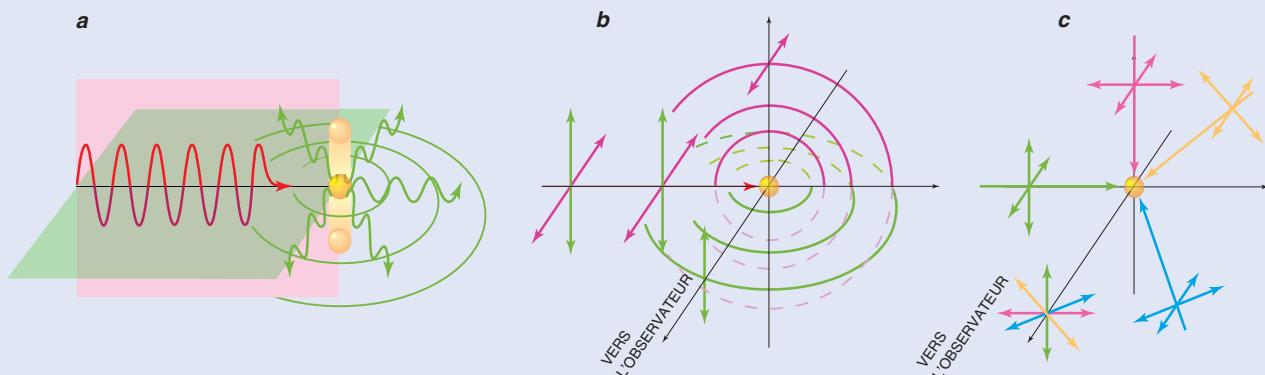
Aux informations gravées dans le rayonnement cosmologique fossile et déjà connues – son spectre et ses fluctuations –, s'ajoute sa polarisation, dont la mesure apporte de nouvelles informations sur l'Univers primordial.

Lorsque, 300 000 ans après le Big Bang, le plasma chaud et indifférencié qui emplissait l'Univers s'est refroidi au-dessous de quelques milliers de kelvins, il s'est transformé en gaz neutre. Il a libéré le rayonnement qu'il enfermait et qui nous parvient aujourd'hui sous la forme de micro-ondes. Ainsi, de la Terre, le fond du ciel constitue une coquille sphérique d'environ 14 milliards d'années-lumière de diamètre brillant dans le domaine des micro-ondes et que les astronomes nomment surface de dernière diffusion. Elle porte l'image du plasma primordial, tel qu'il était à cette époque reculée. Récemment, en employant un radiotélescope installé en Antarctique, les astronomes du DASI (pour *Degree Angular Scale Interferometer*, ou

interféromètre à l'échelle angulaire de un degré) ont mesuré la très faible polarisation qui a été imprimée à ce rayonnement micro-onde au moment où il a été libéré. Ce signal nous renseigne sur les grumeaux de plasma présents à cette époque.

L'essentiel de la lumière que nous recevons est non polarisée. Il est constitué de trains d'ondes électromagnétiques indépendants qui oscillent chacun dans des plans différents. Toutefois, la lumière non polarisée peut acquérir une direction d'oscillation privilégiée lorsqu'elle est diffusée ou réfléchi. Dans ce cas, l'essentiel de l'énergie du rayonnement incident est ré-émis sous forme d'ondes qui oscillent toutes dans un même plan.

Lorsque l'Univers était suffisamment chaud, le rayonnement qu'il contenait était en permanence absorbé et réémis au sein d'un plasma de particules chargées (protons et électrons). L'Univers s'étendant, la température de la matière et du rayonnement décru et les collisions entre photons et particules chargées se sont raréfiées. Finalement, les photons de basse énergie ne pouvaient plus détruire le nombre croissant de particules neutres (essentiellement des atomes d'hydrogène) qui commençaient à se former et le rayonnement fut libéré tandis que le gaz chaud passait à l'état neutre. Les cosmologistes nomment cette période « la recombinaison ». Elle s'acheva lorsque les photons du rayonnement



Une onde électromagnétique (a, en rouge) polarisée linéairement oscille dans un plan (en rose). Lorsqu'elle atteint un électron (en orange), elle lui imprime un mouvement oscillatoire qui provoque l'émission de l'onde diffusée (en vert). Cette onde est concentrée dans le plan perpendiculaire au mouvement (en vert) et polarisée comme l'onde incidente. Quand l'onde incidente n'est pas polarisée, elle peut tout de même être représentée comme la somme de deux ondes polarisées, l'une selon la direction de la ligne de visée (b, en rose), l'autre selon la direction perpendiculaire (en vert). Le rayon-

nement diffusé dû à la première composante est contenu dans le plan perpendiculaire à la ligne de visée et ne peut être observé. Seul nous parvient le rayonnement (en vert) induit par la seconde composante et polarisé comme elle. Lorsque la particule chargée reçoit des ondes non polarisées de différentes directions (c, en vert, rose, jaune et bleu), elle réémet vers l'observateur des ondes polarisées dans différentes directions. Si le rayonnement incident n'est pas isotrope, l'une de ces émissions polarisées est légèrement plus intense que les autres et l'on observe un léger excédent de polarisation.