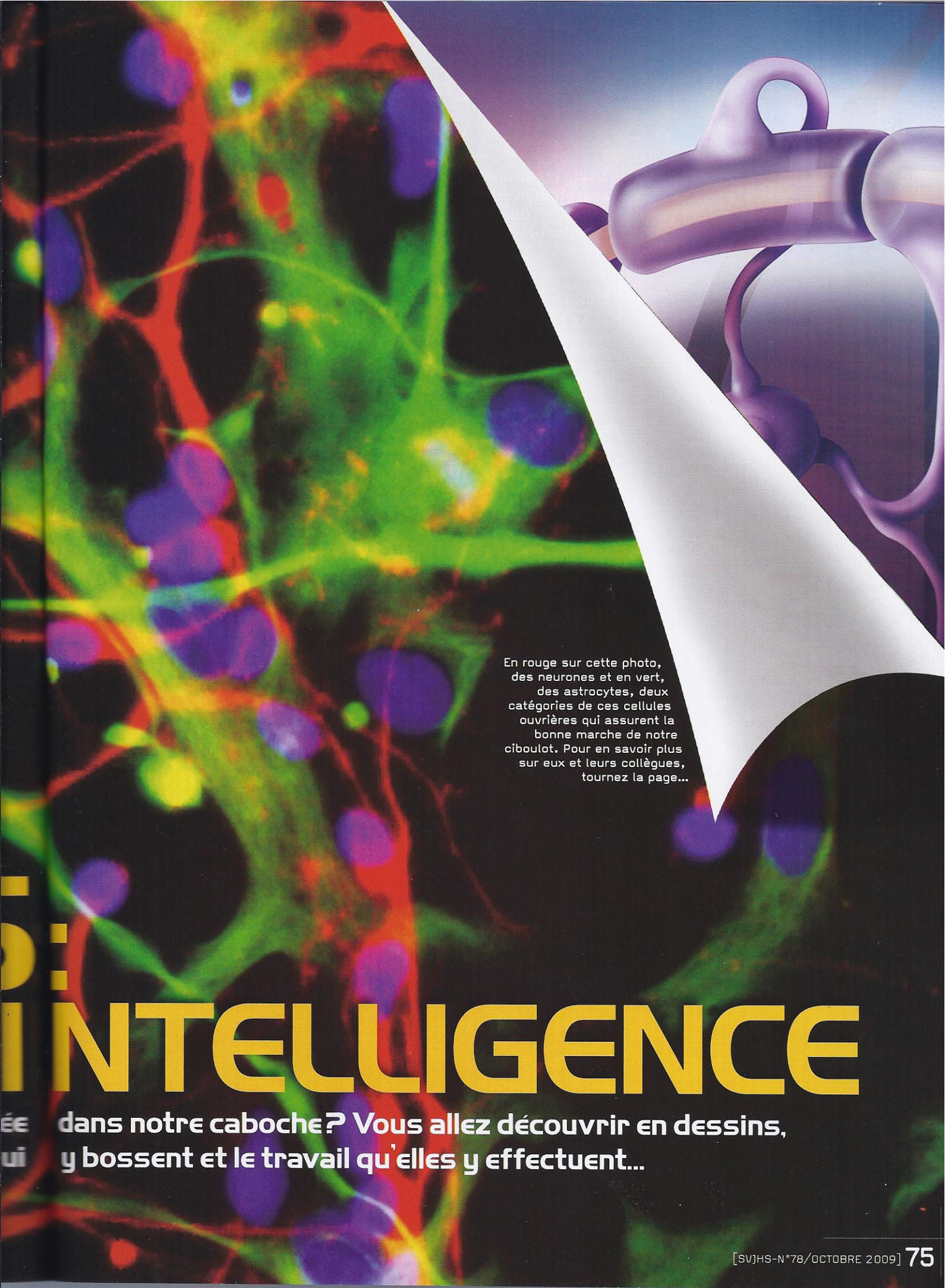


NEURONES L'UNION FAIT L'I

Comment marche la formidable usine à idées et à émotions logée dans les pages suivantes, les équipes d'ouvriers spécialisés qui

LISE BARNÉOUD

AFP

The image features a complex background. On the left, a microscopic view shows a network of neurons with red and green filaments and purple nuclei. On the right, a 3D model of a neuron is shown in purple and blue, with a white triangular shape overlapping it. The overall theme is neuroscience.

En rouge sur cette photo,
des neurones et en vert,
des astrocytes, deux
catégories de ces cellules
ouvrières qui assurent la
bonne marche de notre
ciboulot. Pour en savoir plus
sur eux et leurs collègues,
tournez la page...

INTELLIGENCE

... dans notre caboche? Vous allez découvrir en dessins,
... y bossent et le travail qu'elles y effectuent...

LES ÉQUIPES D'OUVRIERS

Quel bazar ! Le cerveau est une véritable usine où turbinent plusieurs catégories d'ouvriers : les neurones, bien sûr, mais aussi toutes les autres catégories — regroupées sous le terme de cellules gliales —, neuf fois plus nombreuses et essentielles à la bonne marche de notre ciboulot.

LES NEURONES

Ces minuscules cellules aux allures de pieuvre sont maîtresses des lieux ; sans elles, notre fabuleuse machine à penser et agir n'existerait pas. Dans leur « corps » rondouillard se trouve toute la machinerie nécessaire pour faire vivre la cellule. Autour, une dizaine de petits bras, les dendrites, leur permet de recevoir des informations de plusieurs milliers de collègues. Et un gros pied, l'axone, leur permet d'envoyer leur signal aux neurones éloignés. Ce pied unique peut mesurer jusqu'à 1 m de long. Il se termine par des ramifications munies de petits boutons, dits synaptiques, qui font office de passerelles avec les autres neurones. En moyenne, chaque neurone est ainsi connecté à au moins 10 000 autres ! Ce qui, comme vous le constaterez dans les pages suivantes, demande une sacrée organisation pour propager, transmettre puis recevoir tous ces signaux.

LES ASTROCYTES

Les neurones ne pourraient tout simplement pas fonctionner sans ces petites mains. Beaucoup plus nombreuses que les autres cellules, elles possèdent de nombreux prolongements. Leurs « pieds » les abreuvent dans les capillaires sanguins. Et leurs multiples « mains » se placent juste à côté des boutons synaptiques des neurones. Un astrocyte peut ainsi être en contact avec plus de 10 000 neurones ! Cette position privilégiée leur permet d'apporter à ces derniers le glucose et

l'oxygène qui leur sont indispensables. Mieux : les astrocytes régulent l'apport en énergie en fonction de l'activité du neurone et peuvent stocker du **glycogène** pour les efforts intenses ! Ils contribuent, de plus, à l'activité des neurones. Ils sont en effet capables de recevoir leurs messages, de les intégrer et même de leur envoyer des signaux. Seules différences avec les neurones : ils ne codent pas les informations par un courant électrique mais sous forme d'**ions calcium**. Enfin, ils pourraient également se transformer en neurones — une « promotion » qui reste encore à confirmer.

Boutons synaptiques

Dendrite

Axone

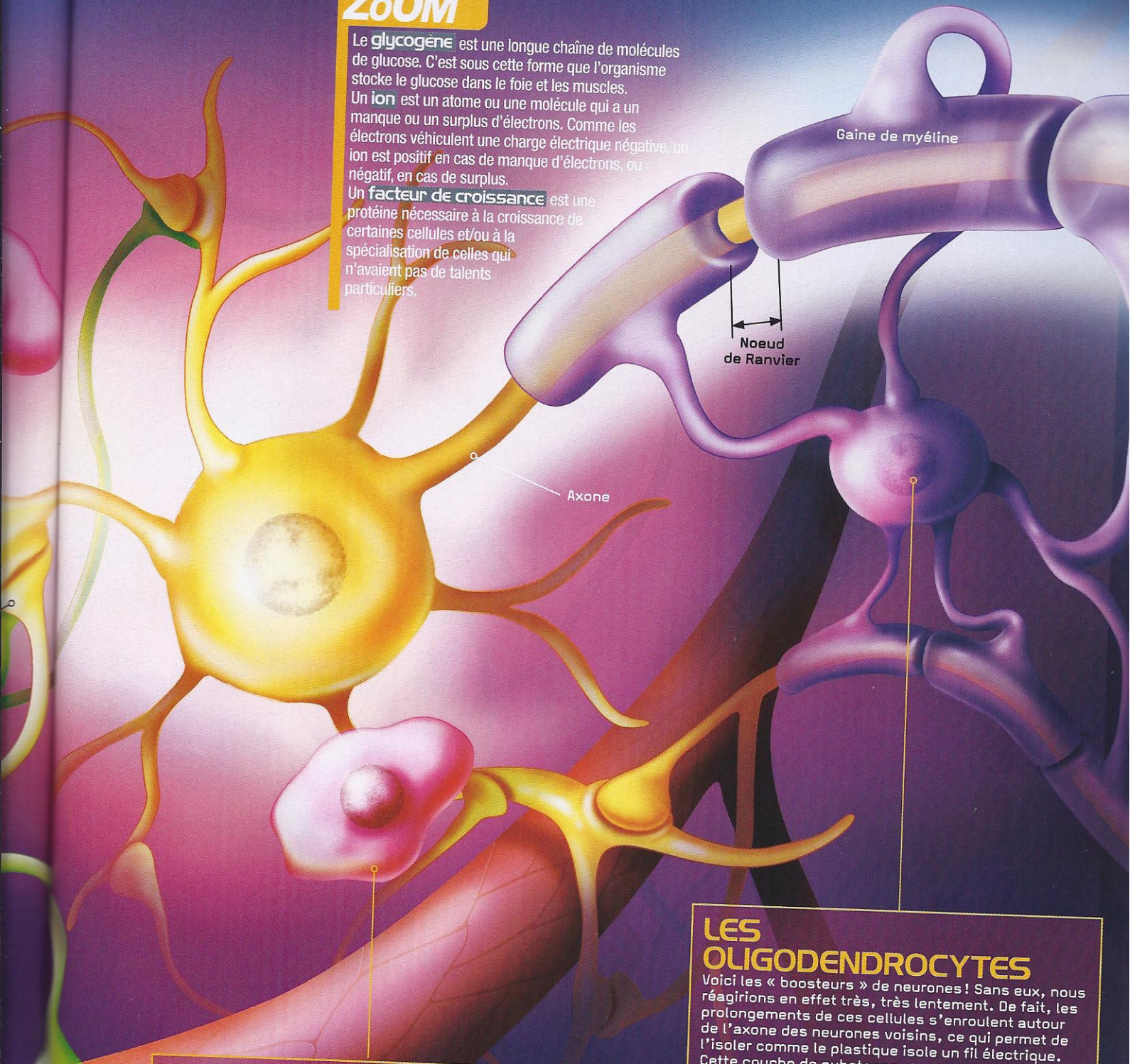
Corps du neurone

ZOOM

Le **glycogène** est une longue chaîne de molécules de glucose. C'est sous cette forme que l'organisme stocke le glucose dans le foie et les muscles.

Un **ion** est un atome ou une molécule qui a un manque ou un surplus d'électrons. Comme les électrons véhiculent une charge électrique négative, un ion est positif en cas de manque d'électrons, ou négatif, en cas de surplus.

Un **facteur de croissance** est une protéine nécessaire à la croissance de certaines cellules et/ou à la spécialisation de celles qui n'avaient pas de talents particuliers.



LES MICROGLIES

Ces petites cellules de forme sphérique sont un peu les nettoyeuses du cerveau. Elles ne se mettent au boulot que lorsqu'il y a un problème : un arrêt de la circulation, une infection, un coup sur le crâne, une maladie, etc. En se déformant et en allongeant leurs petits prolongements, elles interviennent directement sur le lieu de l'accident, absorbent les substances toxiques, éliminent les débris et les cellules mortes. Elles sécrètent aussi certaines substances, comme des **facteurs de croissance** mais aussi des toxines. Elles s'activent lors de certaines maladies telles qu'Alzheimer ou Parkinson (voir article p. 16), mais on ne sait pas si elles sont à l'origine des maladies ou si elles améliorent la situation. Enfin, les microglies peuvent également éliminer des liaisons entre neurones qui fonctionnent mal ou qui ne servent jamais.

LES OLIGODENDROCYTES

Voici les « boosteurs » de neurones ! Sans eux, nous réagirions en effet très, très lentement. De fait, les prolongements de ces cellules s'enroulent autour de l'axone des neurones voisins, ce qui permet de l'isoler comme le plastique isole un fil électrique. Cette couche de substance grasse, appelée gaine de myéline, ne couvre pas la totalité de l'axone ; régulièrement, elle est interrompue par de petits espaces, les nœuds de Ranvier. Le signal électrique, incapable de traverser la gaine, « saute » alors d'un nœud à l'autre (voir page suivante) à la vitesse hallucinante de 400 km/h ! Alors que sans cette gaine, elle tombe à moins de 4 km/h ! À la naissance, seules quelques régions du cerveau sont myélinisées, ce qui explique pourquoi les bébés réagissent parfois si lentement quand leur entourage change. Mais le plus mystérieux reste que le nombre de couches de myéline sur les axones dépend de l'activité de ces derniers : plus un neurone est utilisé, plus il sera couvert. Comment les oligodendrocytes savent-ils combien poser de couches ? Il semble que leurs collègues, les astrocytes, puissent « écouter » les messages des neurones et leur transmettre cette information afin qu'ils adaptent la dose. Un vrai travail d'équipe !

LE MESSAGE SE PROPAG

Gaine de myéline

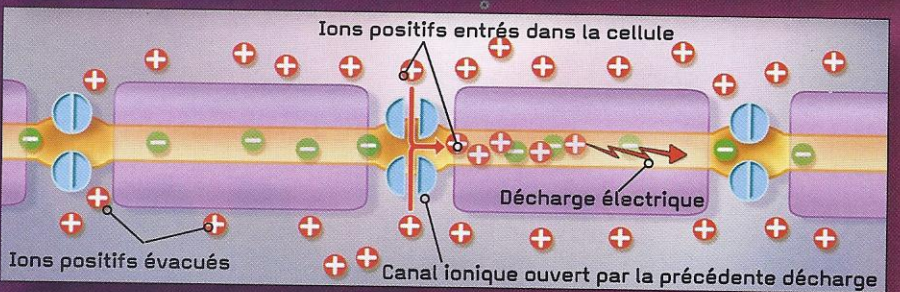
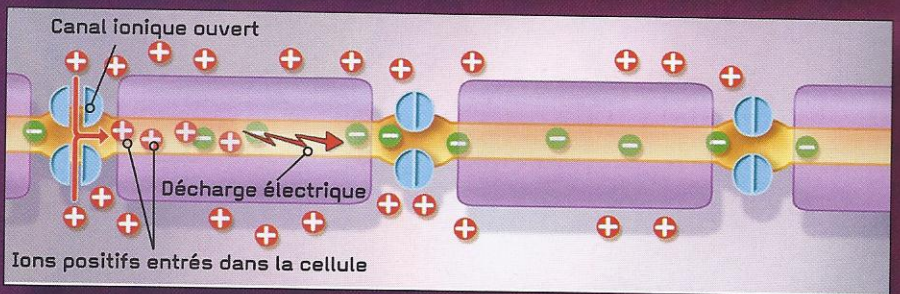
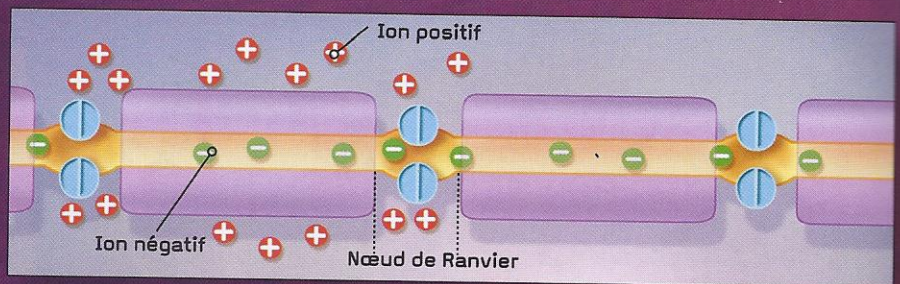
Décharge électrique

1 CENTRAL TÉLÉPHONIQUE

Ce gros câble, vous le reconnaissez ? C'est le prolongement de l'axone de la page précédente. Un neurone fonctionne un peu comme un central téléphonique qui reçoit des dizaines de messages, les centralise et les intègre pour n'en fabriquer qu'un seul à la sortie. Ces messages ont tous été dans un premier temps « fabriqués » au niveau des récepteurs sensoriels (yeux pour la vue, bouche pour le goût, oreille interne pour le sens de l'équilibre, etc.). Prenons l'exemple des récepteurs du goût situés sur la langue : dès qu'une goutte de citron, par exemple, parvient sur votre langue, elle se fixe sur des récepteurs, ce qui déclenche l'ouverture de petites portes, appelées canaux. Par ces trous passent alors des ions. Leur mouvement de part et d'autre du récepteur crée une variation électrique entre l'intérieur et l'extérieur de quelques millivolts à peine. Mais cela suffit à déclencher une série de signaux électriques qui vont se propager.

2 TRANSPORTEURS HORS PAIR

C'est l'axone qui se charge de transporter les messages nés dans les organes des sens jusqu'aux régions du cerveau capables de les interpréter.



4 RECEVOIR ET COMPARER

Fastoche ? Pas vraiment. Car notre neurone transmet son message à des milliers d'autres par l'entremise de ses multiples ramifications au bout de son axone. Et il reçoit en permanence des messages en provenance d'environ 10 000 à 60 000 autres... Voilà pourquoi chaque neurone doit pouvoir intégrer tous les messages qui lui parviennent et en faire la synthèse avant d'envoyer à son tour un signal. Une faculté encore largement mystérieuse pour les biologistes. On sait toutefois que cette intégration des messages se déroule dans le « corps » du neurone. Des opérations d'additions s'y déroulent à vitesse éclair : si deux signaux excitateurs (voir page suivante) lui parviennent dans un court laps de temps, ils seront additionnés. À l'inverse, si autant de signaux excitateurs et inhibiteurs (le contraire) arrivent en même temps, ils s'annuleront et aucun message ne sera libéré.

C'est par les neurones et sous forme électrique que transitent toutes les informations sous notre crâne. Voici comment.

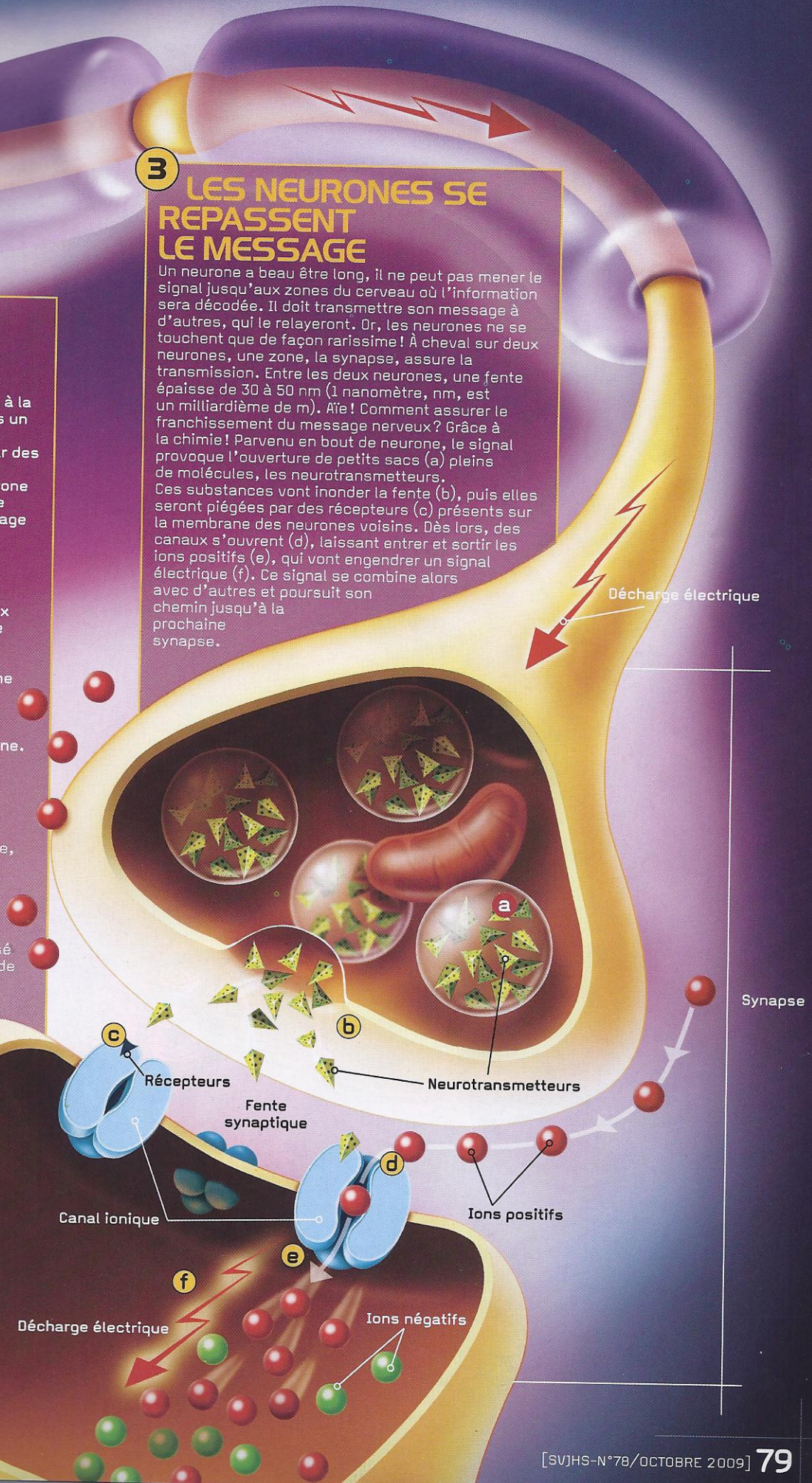
Ici, les messages circulent un peu à la façon d'un courant électrique dans un fil. Seule différence : les charges électriques ne sont pas portées par des électrons mais par des ions. On en trouve non seulement dans le neurone mais aussi à l'extérieur. Lorsque le neurone est au repos, il y a davantage d'ions positifs à l'extérieur qu'à l'intérieur.

Dès que le signal arrive, des canaux situés sur la membrane du neurone s'ouvrent. Ni une ni deux, les ions positifs se ruent à l'intérieur du neurone et leur mouvement crée une minuscule décharge électrique. Celle-ci va alors se propager de proche en proche à l'intérieur du neurone isolé par sa gaine de myéline. Et quand la gaine de myéline s'interrompt ?

Pas de souci ! Là où la gaine s'arrête, on recommence : l'arrivée de la décharge électrique ouvre les canaux et les ions positifs entrent en masse à l'intérieur, ce qui déclenche à nouveau un signal électrique. Dans le tronçon myélinisé précédent, tout est revenu à l'état de repos grâce à des « pompes » qui évacuent les ions positifs à l'extérieur.

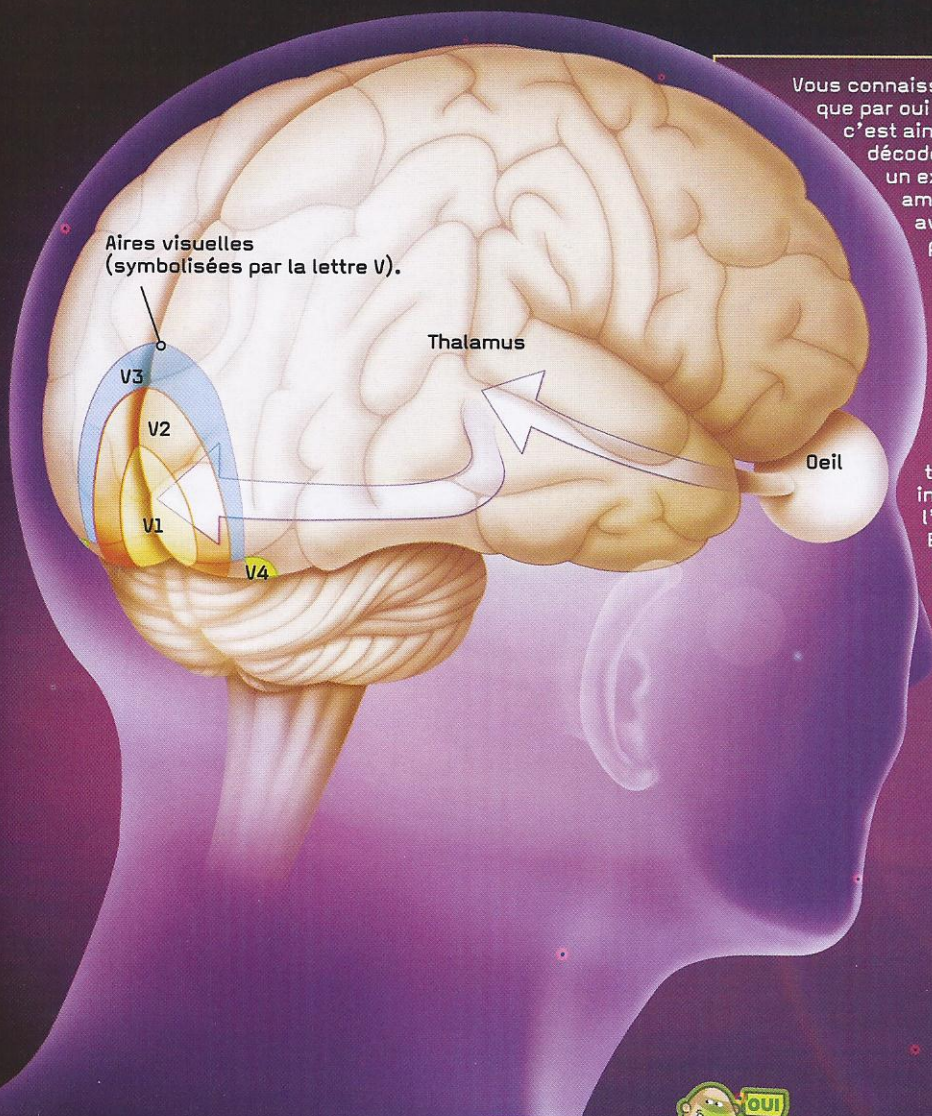
B LES NEURONES SE REPASSENT LE MESSAGE

Un neurone a beau être long, il ne peut pas mener le signal jusqu'aux zones du cerveau où l'information sera décodée. Il doit transmettre son message à d'autres, qui le relayeront. Or, les neurones ne se touchent que de façon rarissime ! À cheval sur deux neurones, une zone, la synapse, assure la transmission. Entre les deux neurones, une fente épaisse de 30 à 50 nm (1 nanomètre, nm, est un milliardième de m). Aïe ! Comment assurer la franchissement du message nerveux ? Grâce à la chimie ! Parvenu en bout de neurone, le signal provoque l'ouverture de petits sacs (a) pleins de molécules, les neurotransmetteurs. Ces substances vont inonder la fente (b), puis elles seront piégées par des récepteurs (c) présents sur la membrane des neurones voisins. Dès lors, des canaux s'ouvrent (d), laissant entrer et sortir les ions positifs (e), qui vont engendrer un signal électrique (f). Ce signal se combine alors avec d'autres et poursuit son chemin jusqu'à la prochaine synapse.



UN TRAVAIL EN RÉ

Comment parvient-on à transformer ces flux de messages électriques en données compréhensibles ? Bien qu'il s'agisse encore d'une question largement mystérieuse, voici ce que l'on peut en dire aujourd'hui.



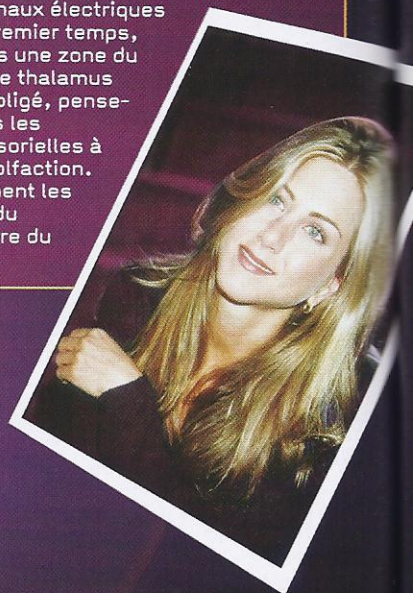
Aires visuelles (symbolisées par la lettre V).

Thalamus

Oeil

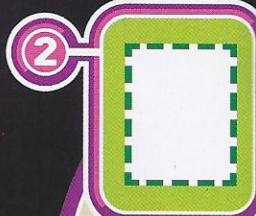
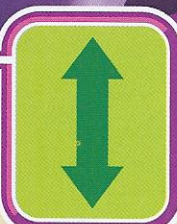
Vous connaissez le jeu du oui-non ? Vous ne pouvez répondre que par oui ou non aux questions posées. En simplifiant, c'est ainsi que les neurones du cerveau parviennent à décoder les informations qui lui parviennent. Prenons un exemple concret, testé par des chercheurs américains sur des patients atteints d'épilepsie avant qu'on ne les opère. On leur a montré une photo de l'actrice Jennifer Aniston en localisant, dans leur cerveau, les régions qui travaillent pour la reconnaître.

Lorsqu'on vous montre la photo, un signal part de vos yeux : votre rétine transforme la lumière en signaux électriques qui, dans un premier temps, s'arrêtent dans une zone du cerveau appelée thalamus – un passage obligé, pensez-vous, pour toutes les informations sensorielles à l'exception de l'olfaction. Ensuite, ils gagnent les aires visuelles du cortex, à l'arrière du cerveau.



1
Là, une première partie de oui-non se joue entre quelques milliers de neurones spécialisés dans la reconnaissance de l'orientation de l'image, tous situés dans un même « quartier » : les aires visuelles primaires V1 et V2. Le signal déclenche d'abord une consultation ultrarapide : l'axe principal de la photo est-il vertical ? horizontal ? en biais ?

Les neurones qui reconnaissent les axes verticaux vont répondre oui. Et hop, ils envoient pour cela un signal ! Alors que ceux qui sont spécialisés pour reconnaître les axes horizontaux ne se sentent pas concernés et ne produisent aucune décharge. En partant de ce quartier, on sait ainsi qu'il y a un axe vertical.



2
Cette fois, des neurones d'autres quartiers (V2 et V4), spécialisés dans la reconnaissance des formes et des contrastes, vont s'exprimer. Est-on devant un objet plutôt rond ? ou carré ? Les spécialistes des objets ronds votent

SANDRINE FELLAY

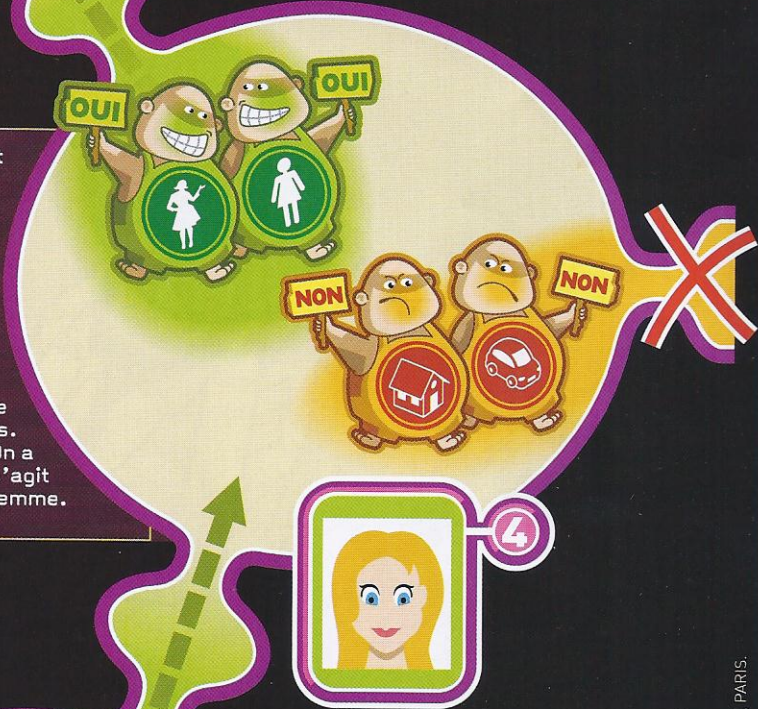


EAU



Le jeu se termine dans l'hippocampe, également situé dans le lobe temporal, mais à l'intérieur du cerveau, avec cette ultime étape où l'on interroge des neurones spécialisés dans la reconnaissance des personnes. Et tenez-vous bien, il existe un neurone spécialisé dans la reconnaissance de Jennifer Aniston! Oui, un seul! Cela a été prouvé sur les patients épileptiques étudiés. Quels que soient l'image et même le dessin de Jennifer Aniston présentés, ce neurone décharge son message et la personne reconnaît l'actrice américaine en moins de 300 millisecondes. Mais si c'est un cliché d'Angelina Jolie, le neurone reste muet. Évidemment, si vous ne connaissez pas cette actrice, il ne s'excitera pas. Et si vous décidez d'oublier Jennifer parce qu'elle ne répond jamais à vos lettres passionnées, il est probable qu'au bout de quelques années, ce neurone ne fonctionnera plus ainsi. ●

Le signal poursuit sa route, et change carrément de quartier, dans le lobe temporal du cerveau, pour une nouvelle consultation. Cette fois, on s'intéresse à la nature de l'image, en faisant notamment appel à la mémoire. Certains neurones savent reconnaître une maison, une voiture. Ceux-là répondent par la négative. D'autres neurones reconnaissent les visages, et même les visages masculins et féminins. Seuls ces derniers répondent oui. On a déjà bien avancé: on sait qu'il s'agit d'un visage de femme.



non, tandis que ceux qui reconnaissent les bords perpendiculaires de la photo répondent oui. Il s'agit donc d'une image rectangulaire avec un axe vertical.



La consultation se poursuit avec d'autres neurones des mêmes quartiers (V1, V2, V4). La question est déjà un peu plus complexe: quelles couleurs sont présentes? Le noir? Oui, répondent les neurones spécialisés dans la reconnaissance de cette couleur et qui perçoivent le pull. Le rose? Oui, répondent les neurones spécialistes du rose en voyant le visage. Pas de vert, ni de violet, précisent en revanche les autres neurones. Une image avec des taches de couleur commence à se former.

REMERCIEMENTS À ALAIN DESTEXHE, CNRS, GIF-SUR-YVETTE, CHRISTIAN GAUME, INSERM, PARIS.