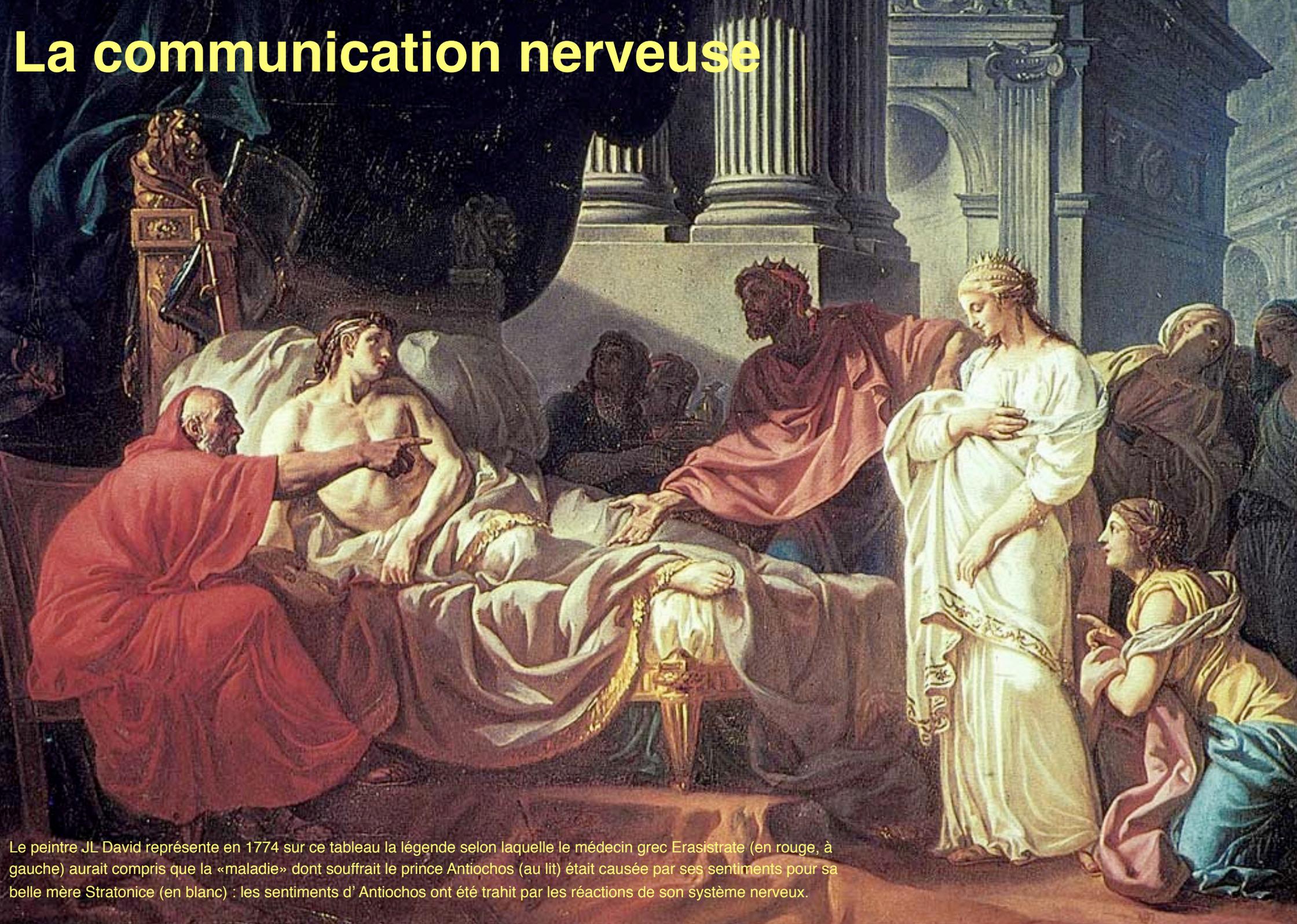


# La communication nerveuse



Le peintre JL David représente en 1774 sur ce tableau la légende selon laquelle le médecin grec Erasistrate (en rouge, à gauche) aurait compris que la «maladie» dont souffrait le prince Antiochos (au lit) était causée par ses sentiments pour sa belle mère Stratonice (en blanc) : les sentiments d'Antiochos ont été trahis par les réactions de son système nerveux.

## INTRODUCTION

Que ce soit pour jouer ou pour survivre, l'homme, comme tout animal, doit être sans cesse attentif à une multitude de signaux et d'informations en provenance de son environnement. C'est en analysant ces informations qu'il pourra agir de manière adaptée, et ce, en vue de réaliser les différentes fonctions de l'organisme :

- se nourrir : pour cela il faut trouver, identifier et attraper de la nourriture !
- se reproduire : il faut trouver et séduire un partenaire !
- se protéger en réagissant pour favoriser le combat... ou la fuite !
- maintenir sans même avoir, en apparence, à y penser, des niveaux constants pour certains paramètres de l'organisme comme la température ou la quantité d'eau...

Un individu peut répondre aux signaux de l'environnement de différentes manières. Le mouvement, volontaire ou involontaire, en est une. Il met en jeu la musculature de l'organisme. Comment ce mouvement est-il commandé ? Où la décision en est-elle donnée ? Comment se fait le lien entre les signaux perçus et la réponse qui est donnée en conséquence, par exemple entre le signal de départ de la course, et la mise en mouvement du sprinter ? Comment se fait la communication, au sein de l'organisme, entre son oreille, qui capte le son, et ses jambes, qui assurent ce mouvement ? Comment les muscles peuvent-ils répondre à la volonté de l'athlète ?

C'est en étudiant le système nerveux que nous allons pouvoir répondre à toutes ces questions. L'organisme est capable de détecter des signaux très divers, externes (lumière, son, odeur...), mais aussi internes (douleur, sensation de faim, pensées...). Nous verrons comment cette perception est possible, et la manière dont le système nerveux contrôle le comportement et les différentes fonctions du corps.

À la fin de ce chapitre, vous saurez expliquer :

- comment nous percevons notre environnement ;
- comment est assurée la commande d'un mouvement ;
- comment les centres nerveux et les organes sont en communication ;
- ce que sont les nerfs et la manière dont ils sont organisés.

Bon voyage !

*Action, réflexion... Comment notre organisme est-il capable de décider d'un geste, et de le mettre en œuvre ? Le système nerveux, dont le cerveau fait partie, est au cœur de ces processus.*



*Le joueur d'échec I. Sokolov, après avoir longuement analysé la situation, s'apprête à jouer un coup décisif. Les sportives sont concentrées... Dès que le signal du départ retentira, elles vont s'élançer...*

*Dans les deux cas, le système nerveux est aux commandes. Comment agit-il ? Docs. Wikimedia.*

## SOMMAIRE

### 1. Le système nerveux permet une communication entre les organes

Le système nerveux assure la commande des mouvements en reliant les organes sensoriels et les muscles

Des récepteurs permettent à l'organisme d'être sensible aux stimulations extérieures

Les nerfs transmettent l'information entre organes et centres nerveux

### 2. Les centres nerveux reçoivent, analysent et fabriquent des messages

Les centres nerveux sont constitués de cellules spécialisées, les neurones

Le cerveau est un centre nerveux qui analyse les messages nerveux sensitifs et leur répond en fabriquant des messages nerveux moteurs

### 3. Le fonctionnement des centres nerveux peut être perturbé

Des situations particulières et la consommation de certaines substances altèrent le fonctionnement des centres nerveux.

Les récepteurs sensoriels peuvent être endommagés par des agressions de l'environnement



*Dès la préhistoire, le système nerveux, et plus particulièrement le cerveau, a intrigué les humains, qui ont cherché à «intervenir» lorsque ce dernier ne fonctionnait pas convenablement. Ce crâne de jeune fille conservé au muséum d'histoire naturelle de Lausanne montre la trace d'une «opération» d'ouverture du crâne pratiquée au silex (!) il y a 5500 ans. L'os montre que la malade a survécu à cette opération, peut être pratiquée pour soulager (?) des douleurs.*

*Doc [Wikimedia/Rama](#)*

# 1 - LE SYSTÈME NERVEUX RELIE LES ORGANES

## Le système nerveux assure la commande des mouvements en reliant les organes sensoriels et les muscles

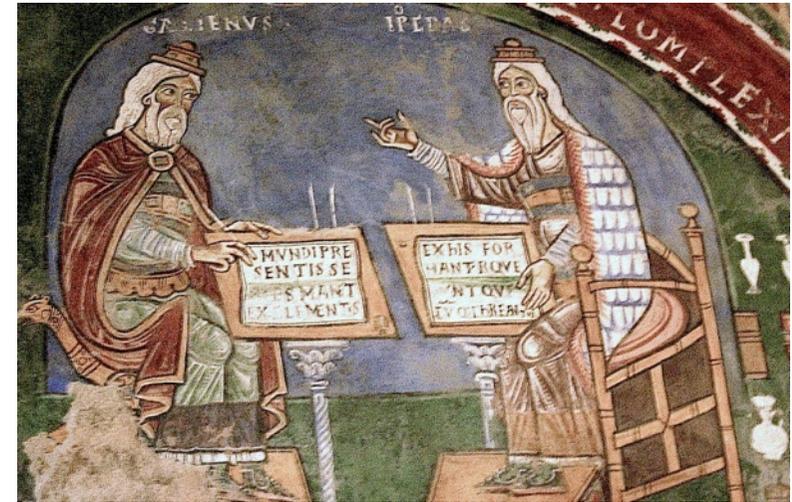
Nous découvrons dans cette partie les structures qui permettent à l'organisme d'élaborer des commandes, et de faire circuler l'information entre plusieurs de ses organes.

Le système nerveux a été mis en évidence très tôt: un papyrus égyptien, écrit il y a 3700 ans, suggérait déjà que le cerveau était relié à des maladies comme la paralysie ou la perte de la parole. C'est toutefois le scientifique Grec Alcmeon de Crotoné, élève de Pythagore (oui, celui du théorème), qui lui aussi reliait le cerveau à la pensée, qui le premier a disséqué un corps humain, découvrant en l'an - 500 que les yeux étaient reliés au cerveau par des nerfs. Le grec Hippocrate (460-377 av. J.-C.), père fondateur de la médecine, situe lui aussi la naissance des pensées et les sensations au niveau du cerveau : «*les hommes doivent savoir que du cerveau et du cerveau seulement naissent nos plaisirs, nos joies, nos rires et nos plaisanteries aussi bien que nos peines, nos douleurs, nos chagrins et nos larmes* ». C'est toutefois le médecin Grec Hérophile, avec son élève Erasistrate, qui vers - 300 va mettre en évidence, en pratiquant des dissections, l'organisation du système nerveux: il découvre que la plupart des nerfs sont reliés à un organe protégé à l'intérieur des vertèbres, la **moelle épinière**. Cette moelle est elle-même en continuité avec le **cerveau**. On distingue donc :

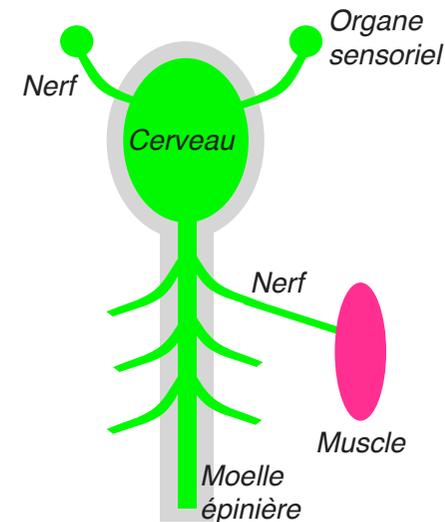
- le **système nerveux central**, qui regroupe le cerveau et la moelle épinière ;
- le **système nerveux périphérique** formé des nerfs et d'autres organes

Les nerfs partent du cerveau et de la moelle épinière. Très nombreux, ils se prolongent dans toutes les parties du corps ; si bien que tout organe ainsi grâce à eux reliée à un centre nerveux.

Le fonctionnement de ces centres a fait l'objet, dans l'histoire, de nombreuses hypothèses. Pour Hippocrate, le cerveau, qui contient des cavités remplies de liquide, fabriquait un liquide qui, en équilibre avec trois autres liquides de l'organisme, était responsable de la santé ou de la maladie. Ces liquides étaient appelés «humeurs», un terme qui est resté dans notre langage (nous pouvons toujours, 25 siècles après Hippocrate, être de bonne ou de mauvaise humeur!). À la même époque, le philosophe Aristote popularise encore cette théorie des humeurs, mais il considère que le cerveau

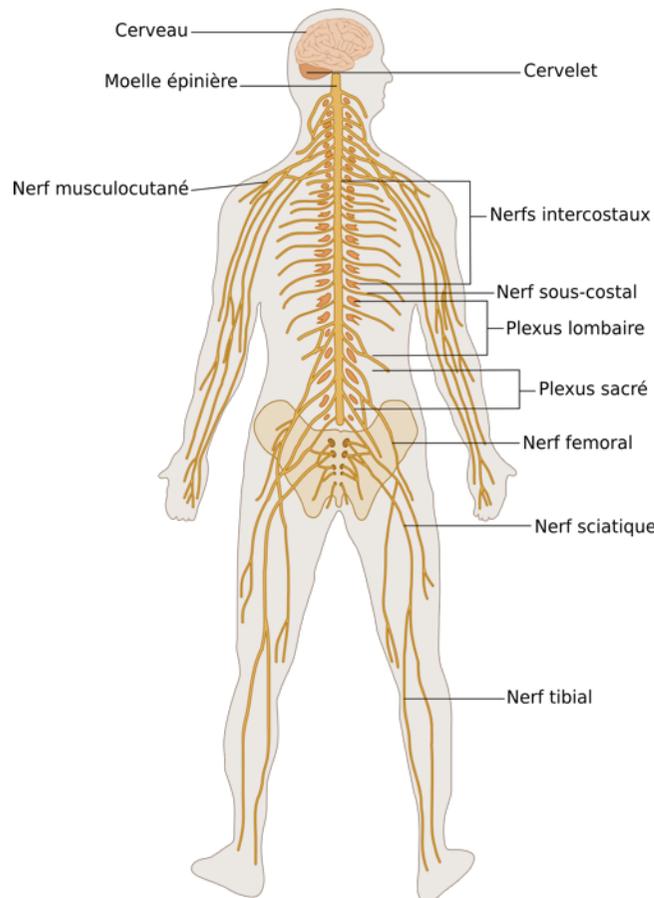


**Représentation des médecins Hippocrate et Galien sur une fresque de la chapelle bénédictine d'Anagni (Italie, XIIème siècle).** Doc [Wikimedia/ Nina Aldin Thune](#)



**Organisation schématisée du système nerveux:** les organes sont reliés par des nerfs au cerveau ou à la moelle épinière, ces deux centres nerveux étant protégés par le crâne ou par la colonne vertébrale (en gris). Certains nerfs sont reliés aux organes sensoriels alors que ceux qui sont reliés à la moelle épinière aboutissent aux muscles. Schéma RR.

sert uniquement à refroidir le sang et que les pensées proviennent du coeur (une autre idée erronée qui est restée dans le langage courant: on parle toujours des «raisons du coeur», ou du coeur comme origine des sentiments...). Cette idée d'une circulation de liquides en provenance du cerveau va être reprise et développée 450 ans plus tard par le médecin Grec Galien, qui écrivit de nombreux livres qui servirent de base à la médecine pendant 14 siècles, pour qui les humeurs circulaient dans les nerfs, causant les sensations. Ces idées erronées provenaient de l'observation de dissections réalisées par Galien sur de nombreux animaux (plus ou moins bien conservés) et de ses observations des conséquences des blessures des gladiateurs, dont il fut le médecin.



Principaux éléments du système nerveux humain. Schéma [Wikimedia/theemir](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MN_Schema.png), légende MN.

Malgré leurs efforts et la qualité de leurs observations et de leurs raisonnements, qui leur ont permis de bien décrire les divers organes du système nerveux humain (voir schéma ci-contre) les médecins de l'antiquité ne disposaient pas des connaissances nécessaires pour comprendre ce qui circule dans les nerfs. Il faudra pour cela attendre l'époque de la renaissance et la mise au point, en 1745 et 1746, de générateurs d'électricité nommés «bouteilles de Leyde». Dès lors, ceux qui conçoivent et utilisent ces bouteilles reçoivent par accident (au début) des décharges électriques, et constatent qu'elles font se contracter leurs muscles. L. Calvani, en 1756, montre que les muscles isolés du corps se contractent sous l'influence du courant électrique, mais c'est surtout L. Galvani, dans les années 1770, qui va montrer **qu'un nerf stimulé électriquement provoque la contraction du muscle auquel il est relié** (expériences [visibles ici](#)). Dès lors, l'idée que les nerfs conduisent de l'électricité va peu à peu s'imposer. Mais d'où vient cette électricité ?



Vue (grossie) de quelques nerfs. Extérieurement, les nerfs ressemblent à des vaisseaux sanguins, et si on les coupe quelques gouttes de liquide peuvent s'en écouler, toutes ressemblances qui expliquent les idées de anciens médecins Grecs. Photo Wikimedia/ Adrian Halga

### Webexercice

- A partir de [ces expériences](#), essaie de répondre aux questions suivantes : Qu'est-ce qui provoque le saut de la grenouille ? Par quel organe la grenouille a-t-elle pu détecter ce danger potentiel ? Que se passe-t-il si le cerveau est lésé ? Que peut-on en déduire concernant la fonction de cet organe ? Que se passe-t-il si l'on sectionne le nerf moteur ou la moelle épinière ? Quel peut être le rôle de ces éléments ? Et si l'on sectionne le nerf optique ? La suite du chapitre va te permettre de vérifier l'exactitude de tes hypothèses !

Le système nerveux de la grenouille, un autre vertébré, est assez similaire à celui de l'homme. Une application web permet de simuler quelques expériences sur cet animal, afin de comprendre le fonctionnement du système nerveux.

## Des récepteurs permettent à l'organisme d'être sensible aux stimulations extérieures

Le système nerveux et un système de communication relié au milieu extérieur: il détecte les événements qui s'y produisent, en informe l'organisme et génère les réactions appropriées en réponse aux événements perçus.

Les signaux (encore appelés stimuli) de l'environnement peuvent être à l'origine d'un mouvement. Un **stimulus** est une information extérieure pouvant être captée par des organes particuliers, les **organes sensoriels**. Le stimulus peut être de nature très variable :

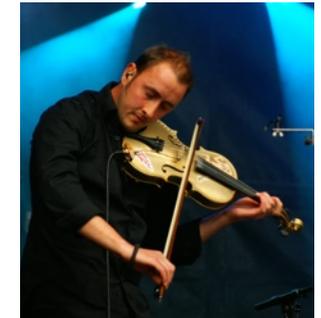
- physique : son, lumière, pression, chaud ou froid ;
- chimique : substance odorante ou gustative.

Chaque organe des sens est «sensible» à un type de stimuli particulier, car il est capable de le détecter et de fabriquer un message à ce sujet pour les centres nerveux. Le tableau suivant répertorie les organes sensoriels ainsi que les nerfs qui les relient aux centres nerveux.

Organe sensoriel	Sens associé	Stimulus	Nerf
Oeil (rétine)	Vue	lumière	Optique
Oreille (tympan)	audition	son	Auditif
Nez	olfaction (odorat)	substances volatiles	Olfactif
Langue (surface)	goût	substances dissoutes dans la salive	Glossopharyngien
Peau	tact (toucher)	température, pression	Nombreux nerfs différents

Le **toucher** dispose de récepteurs dispersés dans la peau, certains endroits étant très riches en récepteurs (le bout des doigts par exemple) alors que d'autres sont moins sensibles (comme le dos).

Les organes des sens regroupent de très nombreux **récepteurs sensoriels**, qui sont des cellules particulières capables de **transformer un stimulus en message nerveux**.



Observer ces images. Il est aisé de relier chacune d'elles à un sens particulier, à des informations provenant de notre environnement (sans oublier le sens qui vous permet de les voir!).

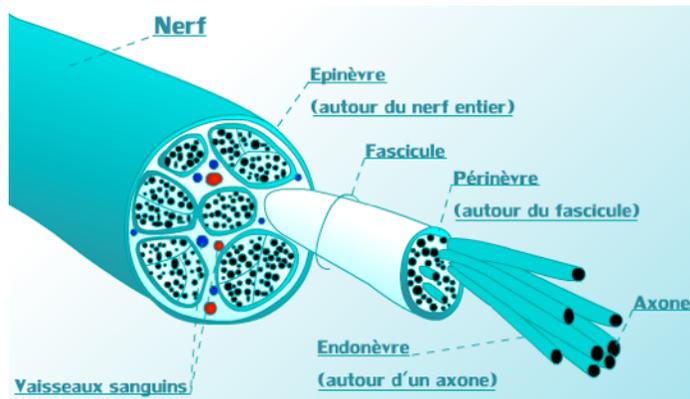
Doc. Wikimedia: Elisabeth Ann Colette / JW Waterhouse / Lotus Head/ Benoit Derrier.

**Une expérience rapide:** Selon la richesse en récepteur au toucher de la peau, deux contacts proches peuvent être «confondus» en un seul. Pour vous en persuader, écartez les pointes d'un compas d'un cm environ, puis, sur la peau d'un ou d'une camarade qui ferme les yeux, posez en même temps les deux extrémité du compas à différents endroits du corps (sans enfoncer!), en lui demandant si vous la touchez avec une ou deux pointes: vous constaterez que si au niveau des mains les deux pointes sont bien différenciées, ce n'est pas le cas à d'autres endroits du corps.

Ainsi, la rétine de l'œil comprend plus de 120 millions de cellules qui permettent la vision de la lumière ou des couleurs. Ces cellules transforment l'intensité ou la «couleur» de la lumière qui les frappe en message nerveux. Les cellules sensorielles de l'oreille sont sensibles à des sons de hauteurs différentes. La surface de la langue présente un réseau complexe de bourgeons gustatifs, sensibles à différents goûts (salé, sucré, acide, amer...). La peau possède également différents récepteurs sensibles à la pression ou à la température.

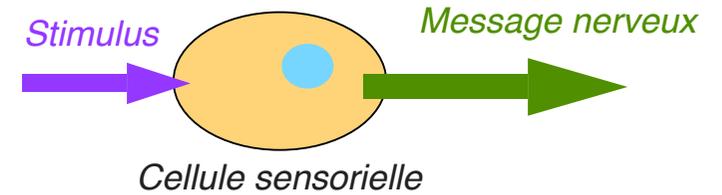
C'est au niveau de ces récepteurs sensoriels, en réponse à un stimulus reçu, que naît un **message nerveux** que l'on appelle **sensitif**. L'organe sensoriel est en quelque sorte un « codeur » : il traduit un message externe à l'organisme en un message nerveux qui va pouvoir être décodé et utilisé par les centres nerveux. Ainsi, dans l'exemple des sprinteuses abordé en introduction, le stimulus est le signal sonore de départ et l'organe récepteur mis en jeu est l'oreille, qui va fabriquer un message nerveux à destination du cerveau de la sportive. Dans l'exemple de la grenouille, le stimulus est la personne qui approche ; l'organe récepteur impliqué est l'œil (ou le nez !). **Les différents récepteurs fournissent donc en permanence aux centres nerveux de nombreuses informations en codant des stimuli variés sous forme d'un message nerveux de nature électrique**, qui porte une information sur le milieu extérieur. Mais comment cette information est-elle transportée dans l'organisme ?

### Les nerfs transmettent l'information entre organes et centres nerveux

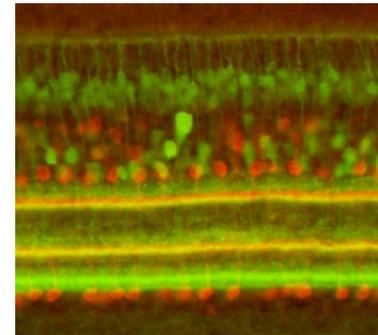


Les récepteurs sont reliés aux centres nerveux par des **nerfs**. Tous ne sont pas faciles à discerner, mais certains sont évidents, comme les nerfs optiques, qui furent les premiers découverts. Si l'on observe un nerf au microscope, on constate qu'il est fait d'un paquet de fibres (voir schéma ci-contre, [Wikimedia/D. Anthony](#)), comme un gros câble électrique renfermant des câbles plus petits. Ces «câbles» sont les **fibres nerveuses**, très nombreuses et fines, pouvant avoir une

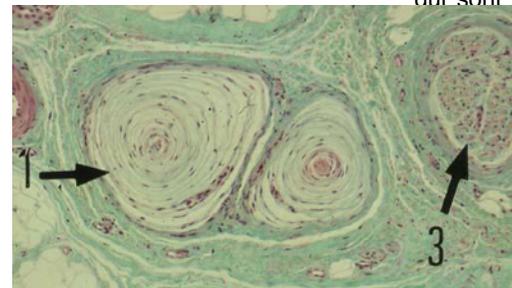
longueur de l'ordre du mètre. Mais quels sont les rapports entre ces fibres et les centres nerveux ?



**Une cellule sensorielle est capable de transformer un stimulus en message nerveux. Schéma RR**



Une **coupe de rétine**, partie de l'œil sensible à la lumière, montre l'existence de plusieurs couches de cellules mises en évidence par une coloration fluorescente. Ces cellules transforment les stimulus lumineux en message nerveux.



Une **coupe de peau** (ci dessous) montre des corpuscules ovaux (1) qui sont des récepteurs du toucher, à la pression, situés à côté (2). (3). Doc Wikimedia / J. Stanke et al./ [Atlas de l'anatomie humaine & animale.](#)

### Aller plus loin

L'organisme est aussi sensible à des signaux internes, par exemple la douleur. Il existe dans la plupart des organes des récepteurs sensoriels à la douleur qu'on appelle **nocicepteurs**. Certains de ces récepteurs internes peuvent aussi être à l'origine de comportements visant à satisfaire les besoins de l'organisme (par exemple, boire quand on est déshydraté).

Site sur le [toucher](#)

## LES CENTRES NERVEUX REÇOIVENT, ANALYSENT ET FABRIQUENT DES MESSAGES

### Les centres nerveux sont constitués de cellules spécialisées, les neurones

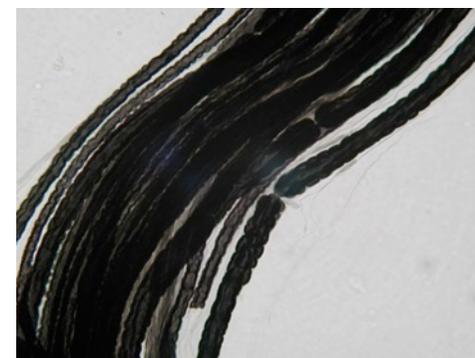
Dès l'invention des premiers microscopes, vers 1660, les centres nerveux, et en particulier le cerveau, on été observés, mais avec difficulté: les premiers observateurs distinguaient mal les cellules dans un enchevêtrement de fibres indistinctes. Ainsi, en 1720, le chercheur suédois Swedenborg réussit à observer des cellules dans le cerveau, en forme de pyramides, et pensa que chacune d'elle était reliée à toutes les parties du corps. Toutefois, ces cellules étaient très difficiles à observer, les colorations connues alors ne permettant pas de bien les voir. Ainsi, en 1810, de Dr Gall propose que les centres nerveux soient entièrement constitués de fibres nerveuses

Toutefois, en 1837, le Pr. R. Remak identifie le premier le lien entre fibre nerveuse et cellule: il observe que **les fibres nerveuses ne sont que le prolongement du cytoplasme des cellules nerveuses**. D'autres chercheurs vont confirmer cette découverte dès 1849. Mais à cette époque, il est toujours difficile de bien voir les cellules nerveuses, en particulier celles, extrêmement nombreuses, situées près de la surface du cerveau. Cette difficulté ne sera levée qu'en 1873 par le Dr C. Golgi, qui met au point une coloration qui permet enfin de mieux voir les cellules nerveuses. Celles-ci ont une forme complexe, car leur cytoplasme forme de nombreuses fibres ramifiées et des expansions, un peu comme un arbre. Toutes ces cellules semblent à Golgi directement reliées par leurs expansions, comme formant un grand ensemble. C'est un observateur exceptionnel, S. Ramon y Cajal, qui montrera en 1888 que la principale expansion de ces cellules s'arrête un peu avant une autre cellule, et que ces dernières sont bien séparées. En 1891, HW. Waldeyer, en faisant le bilan des recherches des autres biologistes, nomme «**neurone**» ces cellules.

Un neurone est une **cellule spécialisée** dans la fabrication et la transmission de messages nerveux. C'est l'unité de base du système nerveux (qui contient aussi d'autres cellules, jouant un rôle de soutien, de protection et de nutrition).

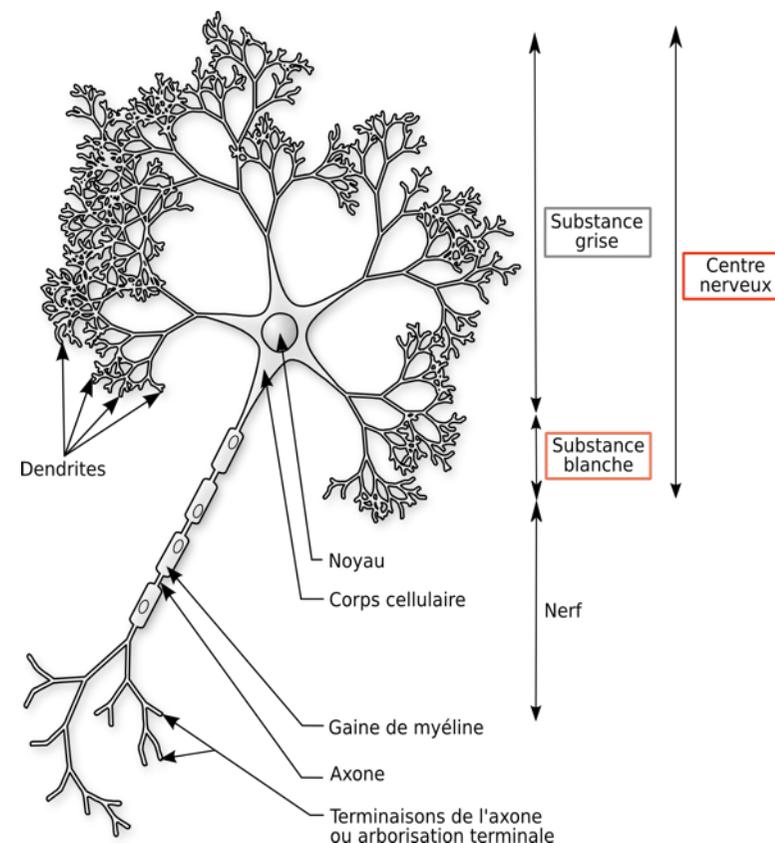
Un neurone comprend différentes régions :

- un **corps cellulaire** : il contient le noyau et les différents éléments du cytoplasme
- des **dendrites** : courtes ramifications situées tout autour du corps cellulaire ;
- un **axone** : ramification principale du neurone, qui peut-être très longue (jusqu'à plusieurs mètres) et **constitue les fibres nerveuses** des nerfs.



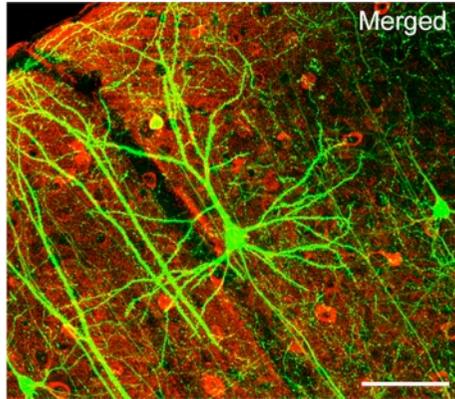
**Fibres nerveuses** disposées en faisceau et observées au microscope après coloration de Golgi dans un nerf (x 800).

*Doc. Wikimedia / Jagiellonian University Medical College*



**Structure d'un neurone**, cellule de base du système nerveux. Le cytoplasme est situé le plus souvent dans des centres nerveux alors que les axones constituent les fibres nerveuses des nerfs.

*Doc Wikimedia/Nicolas.Rougier*

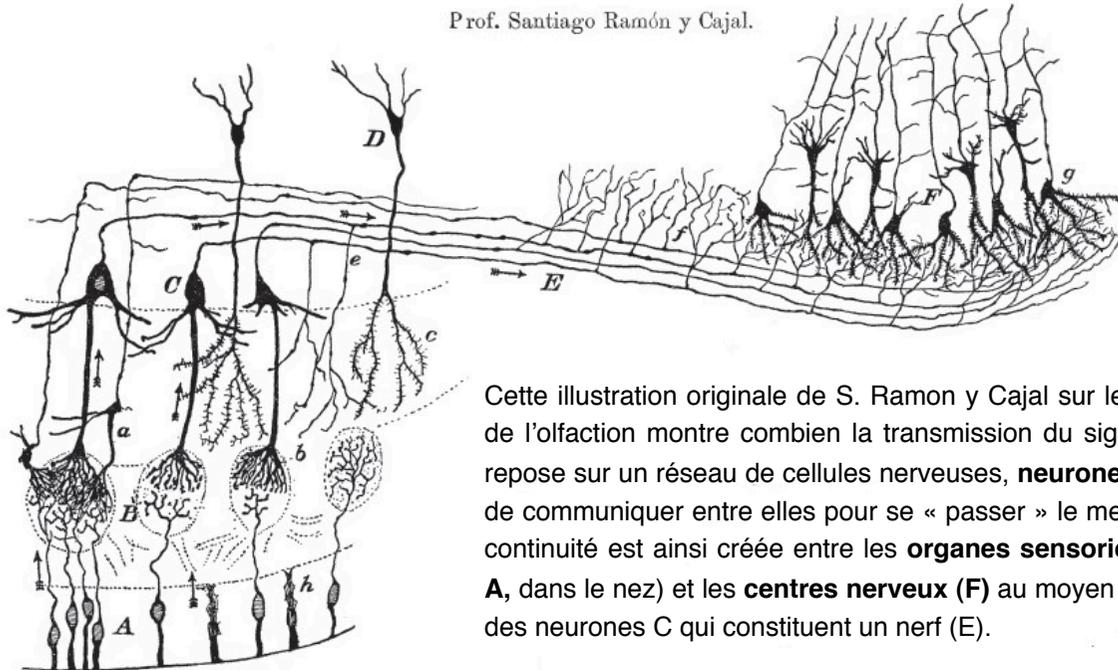


Merged

Les dendrites sont spécialisées dans la **réception** de messages en provenance d'autres cellules nerveuses ; elles sont en connexion avec de nombreuses autres cellules. Le corps cellulaire est le lieu d'**intégration** de ces messages : il fait une sorte de « moyenne » des messages arrivant au même instant, et **crée** en conséquence **un nouveau message** résultant qui sera transmis par l'axone à d'autres cellules nerveuses. La membrane est donc un élément clé du neurone, puisqu'elle permet des contacts très nombreux avec d'autres cellules nerveuses. Sa surface est très importante, comme le montre le doc ci-contre ([Wikimedia/PLOS](#)), où les différentes parties d'un neurone ainsi que ses connexions avec d'autres

cellules sont clairement visibles (l'axone étant fin, non ramifié et dirigé vers le bas, près de la barre d'échelle représentant 0,1mm). Le message nerveux se propage toujours dans **la même direction**: il naît au niveau du corps cellulaire, et est transmis dans l'axone à une vitesse de l'ordre de **1 m/s**.

Prof. Santiago Ramón y Cajal.



Cette illustration originale de S. Ramon y Cajal sur les neurones de l'olfaction montre combien la transmission du signal nerveux repose sur un réseau de cellules nerveuses, **neurones**, capables de communiquer entre elles pour se « passer » le message. Une continuité est ainsi créée entre les **organes sensoriels** (cellules **A**, dans le nez) et les **centres nerveux** (**F**) au moyen des axones des neurones C qui constituent un nerf (**E**).

## Questions d'élèves

*Pourquoi dit-on qu'on est énérvé ?*

Le terme « énérvé » vient du latin « enervare » = e (sans) + nervus (nerf) : quelqu'un qui s'énérvé se fatigue à un point tel qu'il n'a finalement plus aucune force, ni physique ni morale, comme si on lui avait coupé tous les nerfs ! Donc, quelque soit la situation : pas la peine de s'énérvé !

*Les nerfs, c'est les trucs durs dans la viande ?*

Et bien non ! Les nerfs sont en fait des structures plutôt tendres et fragiles... La cervelle, qui n'est « que du nerf » n'est pas ce qu'il y a de plus coriace ! Les parties dures de la viande, que nous nommons improprement nerfs, sont en fait les tendons (des structures très résistantes qui attachent les muscles aux os du squelette), les ligaments, ou encore les enveloppes qui entourent les fibres musculaires.

*C'est vrai que plus on a une grosse tête, plus on est intelligent ?*

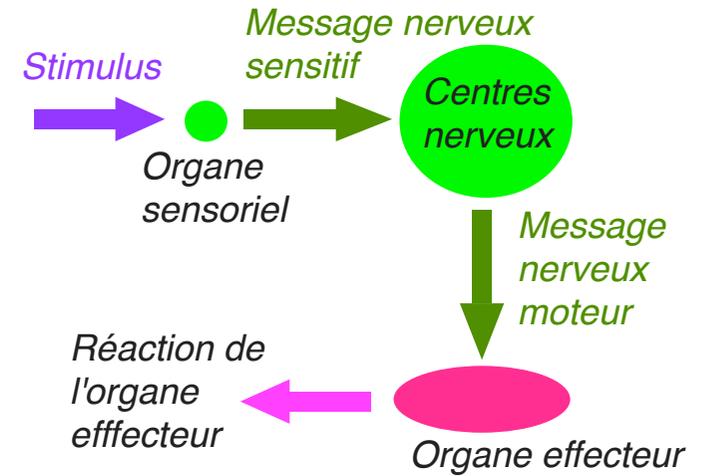
Et bien non, cela n'est pas du tout exact ! D'une part, parce qu'on peut avoir un gros cerveau et n'en utiliser qu'une toute petite partie ; et d'autre part parce que la taille du cerveau n'est pas du tout corrélée aux capacités mentales, ou à l'intelligence (si tant est qu'on puisse la définir) de l'individu. Ainsi d'après les fossiles, notre ancêtre Neandertal avait un cerveau plus volumineux que le notre... Et la taille du cerveau étant à peu près proportionnelle à celle du corps, les éléphants ont un cerveau bien plus grand encore !

*Ma maman dit qu'elle se « dope » au chocolat. Le chocolat c'est une drogue ?*

Le chocolat contient effectivement des substances susceptibles d'agir sur le système nerveux (alcaloïdes, cannabinoïdes...). Mais leur quantité n'est pas assez importante pour produire une véritable dépendance: il faudrait en manger par kilos pour courir ce risque ! C'est donc plutôt l'indigestion qui guette. Le plaisir procuré par l'ingestion de chocolat tient probablement plus aux sucres et matières grasses qu'il contient, ainsi qu'à sa texture .

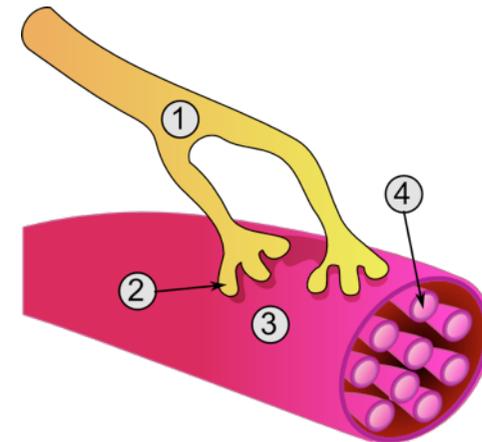
Le premier type de message, créé au niveau des récepteurs sensoriels et transmis jusqu'aux centres nerveux, est un **message sensitif**. Arrivé au cerveau, ce message va se répercuter et être modifié par un très grand nombre de neurones, car chacun d'entre eux peut établir près de 20,000 connexions avec d'autres neurones (et il y a environ 100 milliards de neurones dans le cerveau). Une partie du cerveau reçoit donc ce message sensitif, qui est décodé et interprété. Si il est nécessaire d'y répondre par un mouvement, un autre ensemble de neurones va fabriquer un nouveau message nerveux, à rôle moteur, qui va être envoyé dans la moelle épinière, en sortira au niveau d'un nerf pour « porter » la commande du mouvement jusqu'à un muscle. On différencie ainsi les **nerfs sensitifs**, qui apportent les messages aux centres nerveux, et les **nerfs moteurs** qui emportent les messages des centres nerveux à destination des autres organes.

Les muscles qui, en se contractant, entraînent les mouvements, sont des **organes effecteurs**. Il en existe d'autres, par exemple les glandes qui produisent et sécrètent des hormones. Les muscles se contractent de façon coordonnée suite à la réception d'un message nerveux moteur, émis par les centres nerveux (cerveau et moelle épinière), et transmis via les nerfs moteurs.



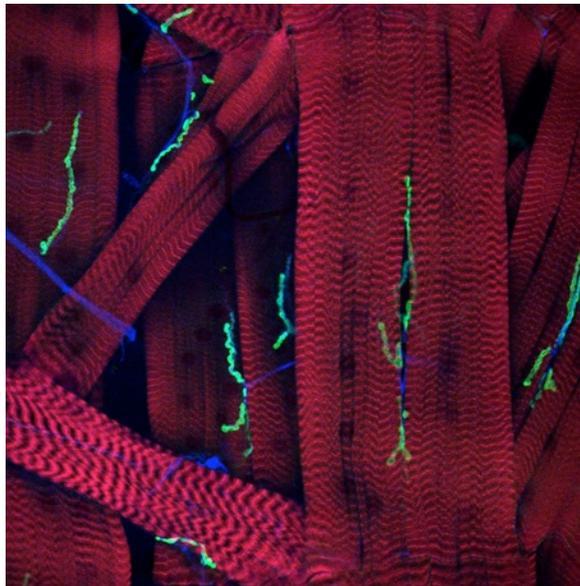
**Cheminement des différents messages nerveux** dans le système nerveux, du stimulus qui leur donne naissance jusqu'à la réaction d'un organe effecteur.

Schéma RR



**Synapse** entre l'axone d'un neurone (en jaune) et une cellule musculaire (en rose). L'axone (1) se divise et entre presque en contact (2) avec la membrane (3) de la cellule musculaire. L'arrivée du message nerveux provoquera la libération de

messagers chimiques qui déclencheront la contraction de la cellule musculaire. Schéma Wikimedia.



Au niveau du muscle, la terminaison du nerf (*en vert et bleu sur la photo*), et donc les axones qui le constituent, entre presque en contact avec les cellules musculaires (*en rouge*). En fait, elles en sont si proches que l'arrivée du message nerveux au bout de l'axone déclenche la libération d'une substance (un «messenger chimique») qui, immédiatement captée par la cellule musculaire, provoque sa contraction. Ce branchement «indirect» des cellules nerveuses avec d'autres cellules porte le nom de **synapse**, terme inventé en 1897 par le médecin CS Sherrington.

Photo de synapses nerf/muscle : [ASCB/Timothy Mosca](#)

La communication nerveuse, au sein de l'organisme, repose donc sur les cellules très spécialisées que sont les neurones. Ces neurones, sensitifs ou moteurs, présentent pour la plupart un

long prolongement, l'axone. Plusieurs axones sont regroupés dans les nerfs, qui sont donc en lien direct avec le système nerveux central. Comment ce dernier est-il organisé ?

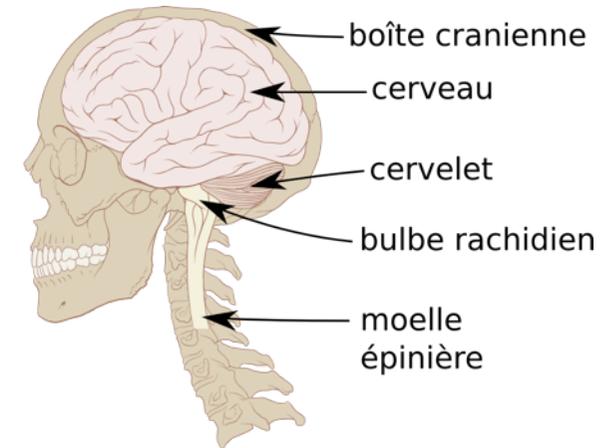
## Le cerveau est un centre nerveux qui analyse les messages nerveux sensitifs (perception) et élabore en réponse des messages nerveux moteurs

Les **centres nerveux** sont, comme leur nom l'indique, au cœur du réseau nerveux formé par l'ensemble des neurones. Ce sont ces centres, le **cerveau** (également appelé **encéphale**) et la **moelle épinière**, qui reçoivent et analysent les messages nerveux sensitifs en provenance de différents organes. Ils les traitent, et, si besoin, émettent en réponse des messages moteurs adaptés, en direction des organes effecteurs.

La moelle épinière est mise en jeu dans la commande des mouvements « réflexes », mouvements pour lesquels la volonté de l'individu n'intervient pas (voir exercice truc). Dans le cerveau le traitement des informations est plus complexe ; il peut mettre en jeu la volonté ou la mémoire par exemple.

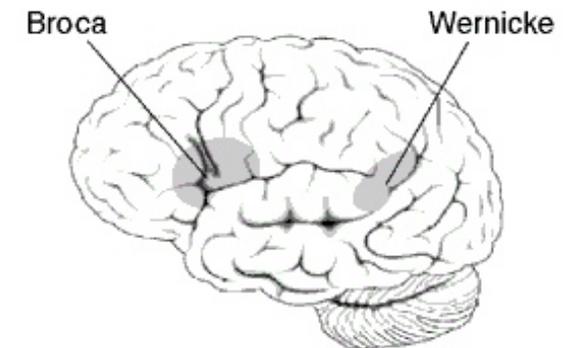
La **perception** de l'environnement est l'analyse cérébrale réalisée à partir des messages nerveux sensitifs. Elle a lieu à la surface du cerveau, dans une région nommée **cortex**, qui ne fait que quelques mm d'épaisseur et contient la plupart des neurones (le reste du volume du cerveau étant occupé par les axones de ces neurones et par d'autres types de cellules)

Le cerveau est un organe particulièrement fragile. Protégé par la boîte crânienne, il est soumis pour son fonctionnement à des exigences strictes, car son fonctionnement nécessite énormément d'énergie: à lui seul, cet organe de 1 kg environ consomme 20 % de l'énergie de l'organisme! Le cerveau a donc de gros besoins en nutriments (glucose) et en dioxygène. Ceci explique que les accidents vasculaires cérébraux (AVC), en bloquant le flux sanguin dans une partie du cerveau, ont souvent des conséquences catastrophiques sur le fonctionnement de l'organisme. Ce sont justement les dommages accidentels (ou expérimentaux, voir exercice truc) du cerveau qui ont permis de découvrir que **le cortex est organisé en zones différentes et spécialisées, les « aires cérébrales »**. Ainsi, en 1861, le médecin P Broca fait le bilan de ses études de patients devenus incapables de parler: dans plusieurs cas, cette incapacité est liée à la destruction accidentelle d'une certaine zone de la surface du cerveau, toujours la même (et appelée depuis «aire de Broca»), située au même endroit. Il en déduit que cette zone est impliquée dans le contrôle de la parole, confirmant ainsi **l'organisation du cortex en territoires spécialisés** dans une fonction particulière. Ces aires sont en relation avec les organes sensoriels et effecteurs mis en jeu dans cette fonction, de très nombreuses communications existant également entre ces différentes zones.



**Situation** respective de quelques centres nerveux. Seuls le cerveau et la moelle épinière sont à connaître.

Doc MN dérivé de [Wikimedia/ Patrick Lynch](#).

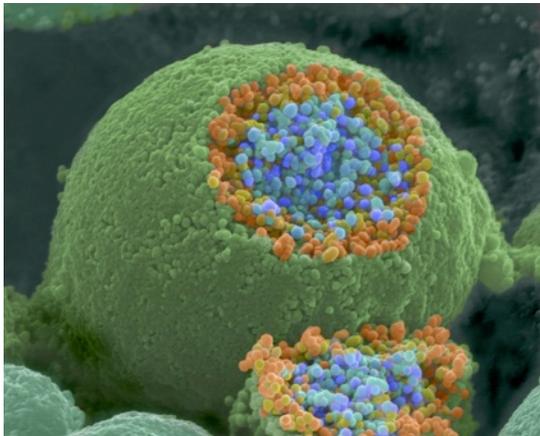


**Localisation** de l'aire cérébrale découverte par P. Broca et impliquée dans la fabrication des mots. Plus en arrière, l'aire de Wernicke est elle spécialisée dans la compréhension du sens des mots. De nombreuses aires ont depuis été identifiées, permettant de dresser une véritable cartographie du cerveau (voir ci-dessous). Doc Wikimedia.

Les différentes [aires cérébrales](#)

## Les neurones communiquent entre eux au niveau de synapses

À l'intérieur des aires cérébrales, entre ces aires et dans l'ensemble des centres nerveux, les neurones communiquent entre eux au niveau de nombreuses synapses. Ces dernières sont formées par deux régions de la membrane des deux cellules en communication. À ce niveau, les membranes ne sont pas en contact, mais séparées par un mince espace. Grâce aux synapses, les neurones forment **un réseau qui a la particularité de pouvoir évoluer**: un neurone peut établir de nouvelles synapses et en interrompre d'autres, de nouveaux circuits peuvent se créer, soit de façon permanente (comme ceux qui se sont créés dans votre cerveau lorsque vous avez appris à lire, ou à faire du vélo), soit de façon transitoire (comme lorsque vous ne révisez pas assez vos cours pour vous en souvenir longtemps!).

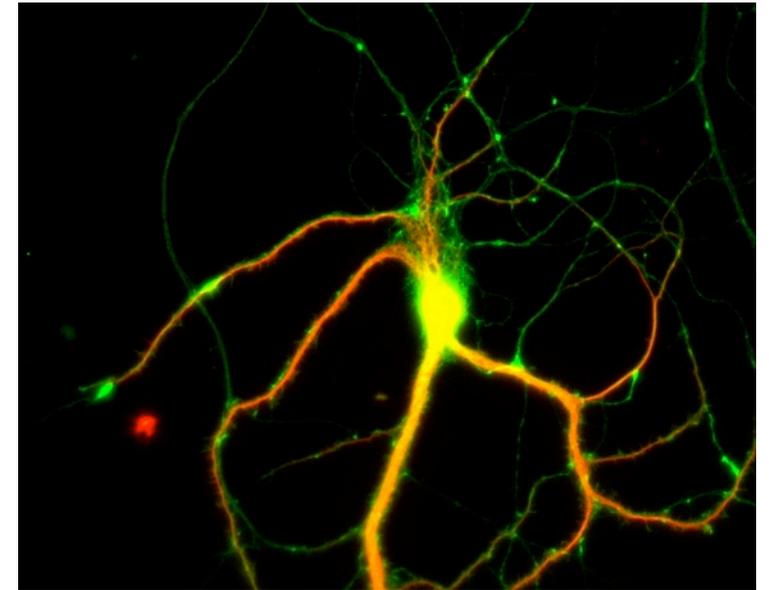


La transmission du message entre les deux cellules en contact est assurée par des substances particulières (les neurotransmetteurs), qui traversent le petit espace entre deux neurones lorsqu'un message nerveux arrivant au bout de la cellule présynaptique (située avant la synapse) les libère.

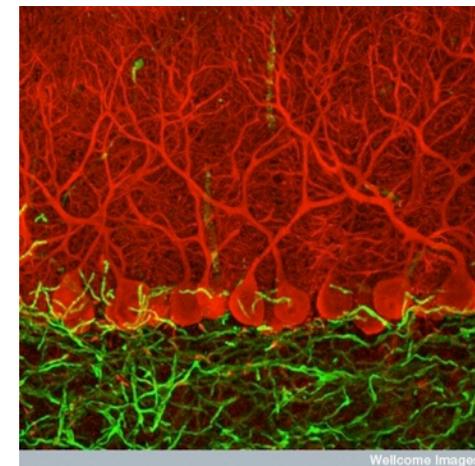
*Sur la photo ci-contre, en fausses couleurs, l'extrémité d'un axone est coupée montrant, sous la membrane verte, de petits sacs (orange et bleu) remplis de neurotransmetteurs prêts à être libérés pour transmettre un message nerveux - photo ASCB / Tina Carvalho.*

Ces substances vont faire renaître le message dans le neurone postsynaptique (située après la synapse) tout en permettant qu'il soit modifié par l'action d'autres synapses voisines (*mais là, cela devient un peu compliqué... si le fonctionnement du cerveau était simple, il ne nous permettrait pas d'en parler!*). La mise en évidence de ce mode de communication chimique entre neurones a été faite par le pharmacologue allemand Otto Loewi en 1921. L'existence des substances échangées entre neurones a une conséquence importante: si des substances qui leur ressemblent peuvent arriver entre els neurones, elles vont pouvoir créer des «interférences», des «faux messages» et perturber fortement, comme nous allons le voir, le fonctionnement du système nerveux.

Aller plus loin -- Un [film sur les neurones](#)



**Neurone** coloré de façon à faire apparaître le réseau des dendrites (en orange). Chaque point vert signale l'emplacement d'une synapse. Ce neurone a été «cultivé» en dehors de l'organisme, avec un nombre limité d'autres neurones, mais possède déjà un nombre important de connexions, qui serait bien plus élevée dans le cerveau lui même. Photo au microscope x 500. [ASCB](#)/Dieter Brandner/Ginger Withers

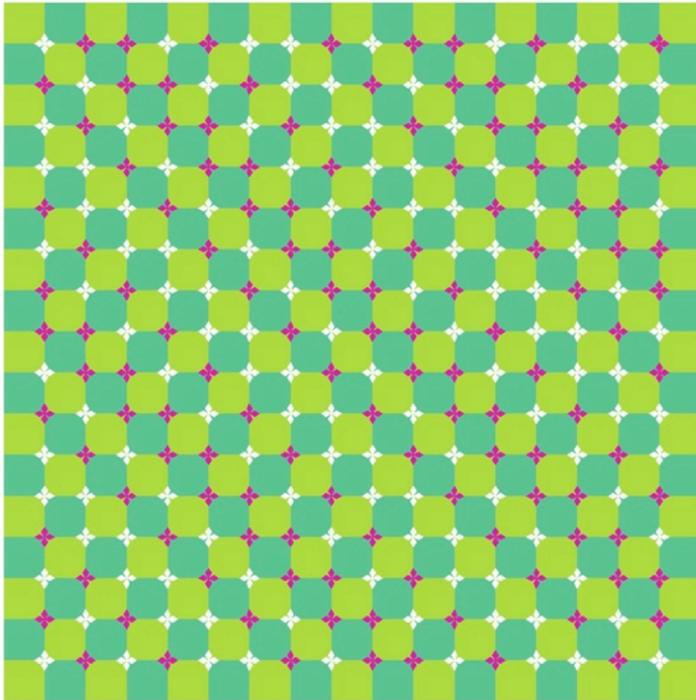


Neurone du cervelet d'un rat, colorés en rouge fluo. La «forêt» de dendrites apparaît clairement et donne une idée de la complexité du réseau constitué par les neurones, sachant qu'un cube d'un mm de côté de cortex cérébral contient 600 millions de synapses.

*Photo au microscope [ASCB](#)/Ludovic Colin.*

## LE FONCTIONNEMENT DES CENTRES NERVEUX PEUT ÊTRE PERTURBÉ

Des situations particulières et la consommation de certaines substances altèrent le fonctionnement des centres nerveux.



Plusieurs types de facteurs peuvent entraver le bon fonctionnement du système nerveux : la consommation ou l'abus de certaines substances, comme les drogues ou l'alcool, sont les plus fréquents. Ils agissent en perturbant la communication entre neurones, ce qui a pour conséquence d'altérer la sensibilité et de modifier les comportements. Toutefois, le mode de vie peut aussi avoir un effet néfaste sur le fonctionnement du système nerveux, de nombreuses situations pouvant le perturber, comme le montre l'illustration ci-contre, qui, si vous la regardez fixement, force votre cerveau à créer un mouvement d'ondulation qui n'existe pas !

(Illustration du Pr. Akiyoshi Kitaoka, maître en illusions d'optique, comme vous le démontrera [son site web](#) qui va affoler vos aires cérébrales visuelles!).

Ainsi, le **sommeil** est très important, car nécessaire pour la régénération des neurones (entretien de leurs membranes, et notamment de leurs synapses). C'est pourquoi il est fondamental pour faciliter l'apprentissage, la mémorisation reposant sur la création de nouvelles synapses entre les neurones. La durée de sommeil nécessaire varie selon les individus; pour un adolescent elle est en moyenne de 8 à 10h (oui, autant que ça!). Le manque de sommeil peut entraîner des somnolences durant la journée, dont les conséquences sont multiples : limitation des performances scolaires, augmentation des risques d'accident par manque d'attention par exemple.

### Questions d'élèves

*Les nerfs, ça repousse ?*

Il est effectivement possible pour les axones des nerfs périphériques de repousser après une section par exemple. Par contre, une réparation au niveau du système nerveux central (cerveau ou moelle épinière) n'a encore jamais été clairement observée.

*Les nerfs, c'est comme des fils électriques ?*

Un peu, bien que le transport du courant à l'intérieur ne se fasse pas du tout selon les mêmes mécanismes.

*On peut allumer une ampoule avec le courant dans les nerfs, comme dans la famille Adams ?*

Non, à moins d'avoir une toute petite ampoule! Le courant circulant dans les nerfs est d'une intensité trop faible, et de plus reste confiné dans les nerfs.

*Chez ma grand-mère on a coupé la tête d'un canard et il courait, elle a dit que c'était les nerfs qui le faisaient marcher.*

Pas exactement, ce qui le faisait marcher, c'est la moelle épinière, qui est un centre nerveux et contient les neurones nécessaires à certains «automatismes» comme les mouvements de la marche. Toutefois, cela ne dure pas très longtemps.

*On peut pas greffer un nerf pour refaire marcher un paralysé ?*

Les nerfs étant des «morceaux» de neurones, on ne peut pas les greffer, mais par contre des greffes de neurones «jeunes» ont été réalisées sur des animaux et ont donné de très bons résultats très encourageants.

*On perd beaucoup de neurones en vieillissant ?*

On en perd, effectivement, mais ce qui compte, c'est plus le nombre de connexions que celui de neurones. En tout état de cause, il en reste toujours bien assez, et les problèmes cérébraux liés à la vieillesse ne viennent pas d'une diminution «normale» du nombre de neurones.

Le fonctionnement du système nerveux peut également être altéré par le stress, qui va causer un «épuisement» nerveux, avec des confusions et une agressivité plus développée. Il est important d'adapter son mode de vie pour éviter ces situations.

De nombreuses substances agissent également de façon puissante sur le système nerveux. Beaucoup proviennent de plantes. Leur utilisation n'est pas récente : en Asie par exemple, les feuilles de cannabis sont utilisées à des fins thérapeutiques depuis des millénaires; et dans l'Antiquité, la médecine grecque utilisait l'opium et en signalait les avantages (il fait dormir et apaise les douleurs) mais aussi les dangers (il cause des troubles de la personnalité et provoque une accoutumance et une dépendance).

Autrefois, le mot «drogue» désignait un «médicament», une préparation des apothicaires (les pharmaciens d'autrefois) destinée à soulager un malade. Depuis, le sens de ce terme a évolué ; aujourd'hui, il désigne principalement les substances illicites, car trop dangereuses, comme l'héroïne, mais on peut encore parler de «drogue» pour le café ou le tabac... Ces «drogues» modifient l'état de conscience en agissant sur le système nerveux. Leur action se situe au niveau des synapses, dont la nicotine (principe actif du tabac), le cannabis, la caféine ou l'alcool perturbent le fonctionnement tout en générant une sensation de plaisir. Selon les substances, les perturbations seront légères, voire bénéfiques (caféine) ou catastrophiques (alcool, morphine, cocaïne...).

Les drogues illégales (et l'abus de certaines légales, comme l'alcool) ont de nombreuses conséquences néfastes. À court terme, elles provoquent une mauvaise appréciation des distances, l'augmentation du temps de réaction du cerveau, une altération de la coordination des mouvements, des troubles de la vision, une difficulté à prendre des décisions... Cela peut entraîner de graves accidents, notamment si celui ou celle qui les consomme conduit un véhicule.

À plus long terme, les drogues déclenchent un phénomène de **tolérance** (ou **accoutumance**), qui correspond à la nécessité pour l'individu d'augmenter la dose de produit (sous forme de prises plus importantes ou plus fréquentes) pour obtenir les mêmes effets, ou pour calmer le malaise lié à l'état de manque. L'**état de manque** se caractérise par des troubles physiques et physiologiques (tremblements, sueurs, nausées, soif, agitation...) ainsi que par des troubles psychiques et psychologiques (stress, tristesse, dépression, état suicidaire, angoisse). La **dépendance** est l'impossibilité de résister à la prise du produit. Elle s'installe brutalement ou progressivement, en fonction du produit consommé et des caractéristiques de l'individu. Même la consommation de substances à l'action réelle, mais modérée (cannabis par exemple) entraîne des troubles de l'attention en classe, des difficultés de mémorisation et le manque de toute motivation pour apprendre.



C'est à partir du latex (la sève) des fruits du pavot – *Papaver somniferum* – que l'on extrait l'opium. Doc Wikimedia/ [Louise Joly](#).



À la fin du 19ème siècle, la cocaïne était utilisée couramment en pharmacie, comme le montre cette publicité pour des pastilles destinées à lutter contre les douleurs dentaires des enfants. Ses dangers étaient alors inconnus. Doc. Wikimedia.

Pour en savoir plus --<http://www.drogues.gouv.fr/>

## Les récepteurs sensoriels peuvent être gravement altérés par des agressions de l'environnement

Les organes des sens, parce qu'ils sont sensibles justement, peuvent être irréversiblement endommagés par une intensité trop forte des signaux qu'ils détectent. Ainsi, les cellules réceptrices de la rétine peuvent être détruites par des rayonnements lumineux trop intenses ou prolongés : il ne faut jamais fixer un laser, ou le soleil, sans protections adaptées. Les cellules de la langue, du nez et de la peau peuvent être agressées par des substances, comme certains acides : la manipulation de ces produits doit donc s'accompagner de protections (lunette, blouse, gants...).

Le bruit excessif, une agression très fréquente, peut, à dose trop intense ou trop persistante, entraîner une surdité par destruction progressive des cellules ciliées situées dans l'oreille interne, et qui sont les cellules qui transforment les sons en messages nerveux: ces cellules peuvent être endommagées ou détruites par des sons trop violents et ne se renouvellent pas.

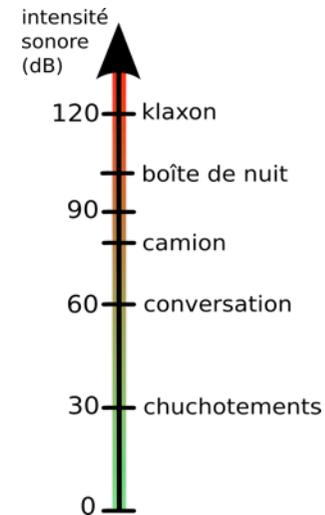
L'oreille interne peut percevoir des sons de 0 décibel (dB) à 120 dB (seuil de douleur). L'usage d'écouteurs est un facteur de risque important auprès des 15-24 ans. En effet, la plupart en utilisent, et 20 % d'entre eux plus de 5 heures par jour et à pleine puissance, qui équivaut à celle d'une boîte de nuit ou d'une salle de concert (des témoignages [ici](#)).

Il est simple de limiter ces risques en utilisant les écouteurs (les casques couvrant les oreilles étant les moins dangereux) à un volume raisonnable (pas plus d'une heure en continu à plus de 60% du volume maxi) et en ne se mettant pas devant les enceintes pendant un concert. Si des sifflements d'oreilles ou des bourdonnements persistent après avoir dormi ou si les sons faibles vous semblent très amplifiés, il faut consulter un ORL qui pourra parfois «réparer» partiellement les dégâts.

La destruction totale ou partielle des cellules réceptrices diminue ou stoppe leur activité; cela a pour conséquence de couper partiellement le système nerveux de l'environnement qu'il est censé détecter. Chaque individu doit prendre conscience de la fragilité de son système nerveux et de la nécessité de le préserver.

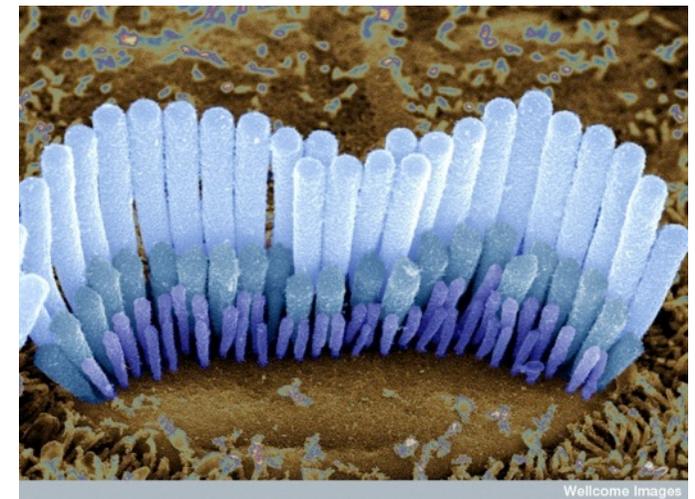
### À RETENIR

Le système nerveux est constitué des centres nerveux (cerveau et moelle épinière) et des nerfs qui relient les organes aux centres nerveux. Les nerfs sont des faisceaux de fibres nerveuses qui sont des prolongements du cytoplasme de cellules nerveuses, les neurones. Dans les nerfs circulent des messages nerveux, de nature électrique, élaborés par les organes sensoriels à partir de différents stimuli et envoyés au système nerveux, ou bien des messages fabriqués par lui à destination des autres organes.



La puissance d'un son se mesure en décibels. Au delà de 100 dB, il y a danger pour les cellules sensorielles qui transforment les sons en messages nerveux. Toutefois, au delà de 80 dB un son de longue durée va aussi endommager les cellules sensorielles de l'oreille, ce qui conduit à une lente diminution des capacités auditives.

*Doc MN.*



Ces **cils microscopiques** (x 10000 environ, en fausses couleurs) sont les «capteurs» des cellules sensorielles de l'oreille. Des sons trop puissants peuvent les endommager, voire les détruire. Ces cellules, une fois morte, ne sont pas remplacées, ce qui diminue graduellement les capacités auditives des individus. Photo [ASCB](#) / David Furness

## EXERCICES

### Questions de cours

#### Quiz (10 pts)

1/ Les neurones de l'homme véhiculent l'influx nerveux à une vitesse

- de :
- 0.1 km/h
  - 1 km/h
  - 4 à 400 km/h
  - 300 000 km/s

2/ Les neurones de l'homme peuvent atteindre une longueur de :

- 1m
- 10 cm
- 1cm
- 1mm

3/ Les neurones sont sensibles :

- à certains médicaments
- aux drogues
- au manque d'oxygène
- au manque de glucose.

4/ Les neurones ont leur noyau :

- dans les nerfs
- dans l'organe effecteur
- dans l'encéphale
- dans la moelle épinière

5/ Les neurones possèdent :

- des dendrites, des corps cellulaires et des axones
- un dendrite, un corps cellulaire et des axones
- un dendrite, des corps cellulaires et un axone
- des dendrites, un corps cellulaire et un axone.

**VRAI / FAUX.** Notez si les affirmations suivantes sont vrai ou fausses, et surtout expliquez pourquoi !

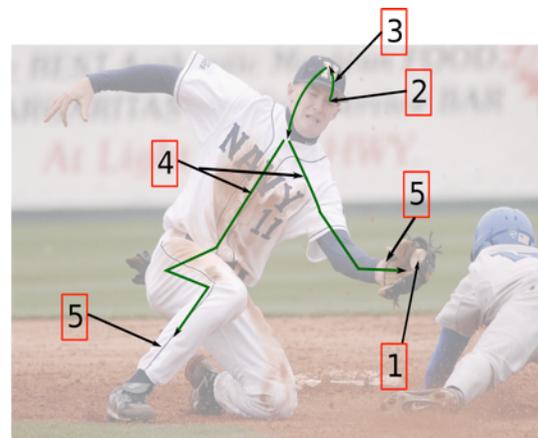
- A** - La moelle épinière et le cerveau sont des centres nerveux.
- B** - La destruction de la moelle épinière peut supprimer certains mouvements.
- C** - Un organe des sens est relié au cerveau par un nerf moteur.
- D** - L'alcool diminue le temps de réaction d'un automobiliste.

## Colles

### 1/ A l'oeil (4 pts)

En 1798, le chimiste Anglais J. Dalton publie un ouvrage nommé «Faits extraordinaires à propos de la vision des couleurs» ou il décrit la maladie dont il souffre et avance des hypothèses sur son origine. J. Dalton est en effet incapable de faire la différence entre le rouge et le vert. À partir de vos connaissances, quelles hypothèses pourriez-vous faire pour expliquer cette étonnante anomalie ?

### 2/ court-circuit (5 pts) - Doc Wikimedia / US navy / MN.



Ayant vu la balle (1) arriver, le receveur place son pied et sa main de façon à l'intercepter. Décrivez le circuit nerveux présenté ici, à partir du stimulus, jusqu'aux effecteurs. Pour quelle raison peut-on dire que le schéma présenté ici est très simplifié ?

### 3/ Acouphènes (3 pts)

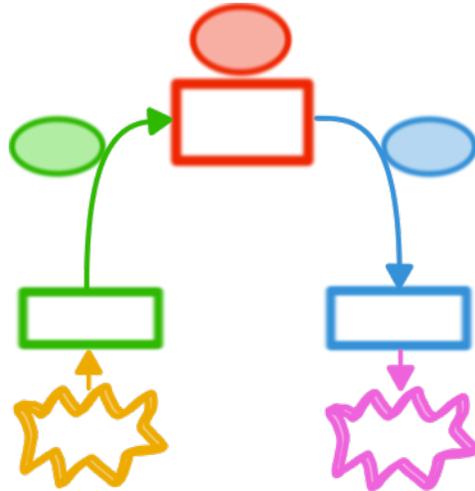
Il vous est sans doute déjà arrivé d'avoir «les oreilles qui sifflent». Ces sifflements portant le nom barbare «d'acouphènes». Mais comment se fait-il que vous puissiez entendre des sifflements que personne d'autre, autour de vous, n'entend ? Proposez une ou plusieurs hypothèses permettant d'éclaircir ce mystère.

### 3/ Généralisation (7 pts)

Complétez le schéma ci-contre de façon à faire apparaître, entre le stimulus (en bas à gauche) et la réponse, les différentes voies et étapes suivies par les messages nerveux.

(Doc MN)

Que représentent les différentes couleurs vertes, rouge et bleu, choisies ?



## EXERCICES

### 1/ Repérages (6 pts)

La photo ci-dessous représente une coupe d'un muscle et d'un nerf, (entouré d'un trait bleu épais). C'est une coupe transversale (comme une baguette de pain coupée en rondelles), colorée et grossie environ 400 fois (Doc. [Wikimedia / Jagiellonian University Medical College](#)).



Quelles sont les structures rondes visibles à l'intérieur du nerf ?

Quelles sont les structures rondes visibles à l'intérieur du muscle ?

La communication entre nerf et muscle est-elle visible ici ? (Expliquez votre réponse).

### 2/ Les raisons du coeur (7 pts)

Le philosophe grec Aristote soutenait que la personnalité, la conscience résidaient non pas dans le cerveau, mais dans le coeur. Il se basait sur des observations, par exemple le fait que le rythme du coeur change selon les émotions que l'on ressent, alors que le cerveau ne semble être le lieu d'aucun changement lié aux émotions.

21 - Citez deux observations ou expériences montrant qu'Aristote était dans l'erreur.

22 - Malgré ses erreurs, Aristote était un scientifique d'une telle envergure, aux observations si étendues et à la logique si développée que son autorité a été reconnue pendant plus de 10 siècles. Ses erreurs sont même passées dans le langage commun: trouvez trois expressions françaises communes qui laissent (à tort) penser que c'est bien dans le coeur que se situe l'origine des émotions ou de la pensée.

### 3 / La grenouille sans tête (4 pts)

En 1730, S. Hales réalise sur une grenouille décapitée quelques observations troublantes :

- si il pince l'extrémité d'un membre de la grenouille, ce dernier se replie, comme cela se passe sur une grenouille «intacte» et vivante!
- si il détruit la moelle épinière de sa grenouille décapitée, alors le pincement du membre ne produit plus aucune réaction.

Quelles conclusions pouvez-vous tirer de cette observation et de cette expérience ?

### 4 / De l'électricité dans l'air ( 12 pts)

Vers 1750, le génial Albrecht von Haller avait découvert que les nerfs étaient à la base de la sensibilité, et avait noté les différences apparentes entre message nerveux et courant électrique. Le biologiste L. Caldani, utilisant les premières sources d'électricité, avait montré en 1756 que des décharges électriques avaient des effets variés sur les muscles, en particulier chez les animaux chez qui ces effets étaient les plus nets (et le plus facile à se procurer): les grenouilles. Entre 1780 et 1790, Luigi Galvani réalise une série

d'expériences visant à éclaircir les liens entre électricité et système nerveux. Il utilise pour cela des «demi-grenouilles »: l'animal est tué, coupé en deux, et seuls ses membres inférieurs ainsi que la colonne vertébrale (et donc la moelle épinière) sont conservés. Les expériences sont réalisées immédiatement.

41 - Haller explique pourquoi il ne pense pas que le message nerveux soit de nature électrique: «La matière électrique suit d'autres lois (que celles du message nerveux): elle ne pourrait pas être retenue par des ligatures, elle ne resterait pas dans le nerf, elle se répandrait dans les espaces voisins.» Ses observations sont justes, mais pourquoi se trompe-t-il ?

42 - Dans une première série d'expériences, Galvani découvre qu'en présence de décharges électriques provoquées par un générateur ou par les éclairs d'un orage, les muscles des pattes se contractent si un fil métallique est relié à la moelle épinière. Comment expliquez-vous ce résultat ?

43 - Galvani observe ensuite que lorsque les crochets de cuivre enfoncés dans la moelle épinière entrent en contact avec les barreaux de fer de son balcon, les muscles se contractent. Que peut-il en déduire ?

44 - Galvani montre ensuite que des contractions se produisent si il relie moelle et muscle par un arc fait de métal (les contractions sont alors très faibles) ou de deux métaux différents (les contractions sont violentes). Si un isolant remplace ces métaux, il n'y a pas de contractions.

Que montrent ces expériences pour Galvani ?

Comment, avec vos connaissances modernes, pouvez-vous expliquer ce résultat ?

45 - Alors que Galvani, au début de ses expériences, partageait les conclusions de Haller, il les réfute après celles-ci. Quelles sont donc,

après ces expériences, les découvertes de Galvani sur le message nerveux ?

### 5 / Le Prométhée moderne (8 pts)

Au 18<sup>e</sup> siècle, de nombreuses expériences ont été réalisées avec les premières sources d'électricité (la machine électrique ou la bouteille de Leyde). Parmi ces expériences il y avait l'électrisation des vivants (180 gardes royaux de Louis XV se tenant par la main ont été ainsi «électrocutés» modérément pour l'amusement de la cour) mais aussi des morts: vers 1800, Giovanni Aldini, neveu de Galvani, parcourait France et Angleterre pour réaliser des expériences publiques spectaculaires et macabres alors à la mode. Aldini, pour démontrer que l'électricité était à la base de l'activité des êtres vivants, électrocutait des animaux morts ou des morceaux d'animaux, et les mouvements qu'il déclenchait semblaient faire revenir momentanément à la vie ces morceaux de corps. Ainsi, il réussit à faire ouvrir les yeux et la bouche à une tête de Taureau. Mais ces expériences «gothiques» culminèrent en janvier 1803. Le meurtrier George Forster, après avoir été pendu, a été amené au collège royal de chirurgie, où « lorsque Aldini appliqua son électrode, reliée à une grande batterie, sur le visage de Forster, sa mâchoire se mit à trembler, les muscles adjacents étaient horriblement déformés, et l'œil gauche nettement ouvert». Ne reculant devant rien, Aldini brancha son électrode dans le rectum (oui) du meurtrier, et soudain «le mort leva son poing fermé pour fendre l'air, comme s'il était furieux, donnant des coups avec ses pieds et son dos se cambrant violemment».

51 - Comment expliquez-vous les phénomènes provoqués par Aldini ?

52 - Bien qu'Aldini ait avoué n'avoir jamais réussi à refaire battre un cœur arrêté, d'autres expérimentateurs, comme l'Allemand Carl August Weinholt, affirment avoir «ressuscité» pendant quelques minutes des animaux décapités, obtenant des «zombis» capables de marcher quelques minutes lorsque leur moelle épinière était remplacée par un générateur électrique.

Comment expliquer ces résultats ? De nos jours, l'électricité peut-elle faire repartir un coeur arrêté ? Peut-on alors dire que l'on a «ressuscité» quelqu'un ?

53 - Ces expériences vont inspirer en 1816 Mary Shelley qui, lors d'un séjour de vacances, écrira un des premiers romans fantastiques, dont vous allez bien entendu trouver le titre et souligner les points communs avec les conceptions d'Aldini et Weinhold.

#### 6 / Les expériences discutables de R. Bartholow (10 pts)

Entre 1860 et 1870, le Dr E Hitzig, soignant des soldats souffrant de graves fractures du crâne exposant leur cerveau, découvre que de faibles courants électriques appliqués à la surface de cet organe provoquent des mouvements involontaires. Quelques années plus tard, avec l'aide de G Fristch, il montre qu'en stimulant électriquement certaines zones du cerveau d'un chien, il obtient toujours les mêmes mouvements de ce dernier. En 1873, le spécialiste du cerveau D. Ferrier, recherchant les causes d'une maladie, l'épilepsie, montra qu'une stimulation électrique directe de certaines zones du cerveau d'animaux différents aboutissait à la réalisation de mouvements, toujours les mêmes (mêmes mouvements du même membre).

61 - Que montrent les résultats obtenus par Hitzig et Fristch ?

62 - En 1874, le médecin Robert Bartholow reçoit une malade, Mary Rafferty, qui souffre d'une affection très rare: un cancer a détruit une partie des os de son crâne, créant un trou de 5 cm de diamètre montrant son cerveau. Bartholow, connaissant les expériences de Ferrier et Hitzig, applique alors sur le cerveau de sa patiente de faibles courants électriques. Celle-ci ne ressent aucune douleur, mais se met alors à réaliser des mouvements involontaires. La stimulation d'une même zone provoquant toujours les mêmes mouvements. Bartholow découvre aussi qu'il peut modifier, par ses stimulations, le rythme respiratoire et l'humeur de Mme Rafferty.

Quelles informations nouvelles apportent ces expériences ?

Comment pouvez-vous, avec les connaissances modernes, expliquer les phénomènes constatés ?

63 - Bartholow ne se contente pas d'utiliser de faibles courants électriques: il teste plusieurs intensités. Au cours de cette expérience, Mary Rafferty est prise de convulsion puis tombe dans le coma pendant 3 jours. Elle reprend conscience le quatrième jour, mais meurt le lendemain d'un accident vasculaire cérébral.

Pourquoi peut-on dire que les expériences de Bartholow étaient, même à l'époque, discutables ?

64 - Bartholow décrit ainsi une de ses expériences avec Mme Rafferty: «*When the needle entered the brain substance, she complained of acute pain in the neck. In order to develop more decided reactions, the strength of the current was increased ... her countenance exhibited great distress, and she began to cry. Very soon, the left hand was extended as if in the act of taking hold of some object in front of her; the arm presently was agitated with clonic spasm; her eyes became fixed, with pupils widely dilated; lips were blue, and she frothed at the mouth; (...); she lost consciousness and was violently convulsed on the left side. The convulsion lasted five minutes, and was succeeded by a coma. She returned to consciousness in twenty minutes from the beginning of the attack, and complained of some weakness and vertigo.*»

Vous allez bien entendu traduire ce texte en bon français.



#### 7 / L'étrange cas de Phineas Gage (6 pts)

En septembre 1848, Phineas Gage travaille à la construction d'une ligne de chemin de fer, dans le Vermont, aux USA. Le 13, il commet une grave erreur: ayant versé de la poudre dans un trou foré dans la roche afin de la faire sauter, il oublie de rajouter du sable sur la poudre avant de la tasser avec une barre à mine (ci-contre, photo de P. Gage tenant la barre qui l'a rendu célèbre. Doc

Wikimedia/ Jack & Beverly Wilgus). La barre métallique, frottant contre la roche, produit une étincelle qui enflamme la poudre. Le trou dans la roche agit comme un canon, et la barre à mine est violemment projetée vers la tête de Phinéas, qu'elle va traverser, pénétrant sous



l'oeil gauche pour ressortir, par le haut du crâne, au dessus du front (*ci-contre, reconstitution de la trajectoire de la barre à travers la tête*).

Le médecin de la compagnie raccompagne Phineas chez lui, le soigne comme il peut, puis commande un cercueil. Mais, contre toute attente, Phineas survit et, en apparence, guérit. Bien que son oeil gauche ne voit plus, il ne souffre d'aucune paralysie.

Toutefois, ses proches et son médecin constatent qu'après son accident, sa personnalité a été modifiée: ce n'est plus «le même homme»; auparavant fiable et joyeux, il est devenu instable et asocial.

71 - Comment expliquer l'absence de toute paralysie ?

72 - Quelle hypothèse pouvez-vous avancer pour expliquer les changements qui ont affecté la personnalité de Phinéas ?

### 8 / La bosse des math (4 pts)

À la fin du 18e siècle, le médecin Franz Joseph Gall, spécialiste du cerveau, suggère à partir d'observations diverses (par exemple la forme du crâne de ses meilleurs étudiants) que la forme du crâne donnerait une indication sur plusieurs caractères des individus. En effet, il pense que les différentes parties du cerveau, en se développant, appuient plus ou moins sur le crâne, en modifiant la forme et formant ainsi des «bosses». Il s'oppose en cela à beaucoup de ses contemporains pour qui le cerveau est un «tout» qui ne se divise pas en parties spécialisées.

81 - En vous basant sur vos connaissances, que peut-on penser des idées de Gall ?

82 - Les contemporains de Gall avaient-ils raison ? (Expliquer votre réponse).

### 9 / - Le conte d'Hoffman ( 7 pts)

Le seigle est une plante cultivée attaquée par un champignon, l'ergot. Ce dernier est connu depuis le moyen âge comme ayant des effets utilisables en médecine, par exemple pendant les accouchements. Toutefois, à forte dose, il est toxique. Pour étudier plus complètement les propriétés de ce champignon, le chimiste Albert Hoffman, en avril 1943, fabrique artificiellement une molécule contenue dans ce champignon, et nommée, d'après ses initiales, LSD. Au cours de ce travail, il se frotte les yeux, et une infime quantité de LSD entre dans son organisme par cette voie. Dès lors, il ressent des vertiges, rentre chez lui et, pendant deux heures, il voit, les yeux fermés, des couleurs qui bougent dans tous les sens.

91 - Pourquoi est-il possible de «voir» les yeux fermés ?

92 - Afin d'être certain que ses problèmes viennent du LSD, Hoffman en avale une quantité infime de 0,25 mg (un morceau de sucre ayant une masse de 5000 mg). Il note ce qui se passe:

*17:00 Début d'étourdissement, angoisse, troubles de la vue, paralysies, rires. Retour en vélo à la maison (...). Lors du trajet [...] mon état prit des proportions inquiétantes. Tout ce qui entrait dans mon champ de vision oscillait et était déformé (...). J'avais également le sentiment de ne pas avancer, alors que mon assistante me raconta plus tard que nous roulions en fait très vite.*

*Vers 18-20 heures: (...) Étourdissements et sensation de faiblesse étaient par moments si forts que je ne pouvais plus me tenir debout (...) Mon environnement se transforma alors de manière angoissante. [...] les objets familiers prirent des formes grotesques et le plus souvent menaçantes. Ils étaient empreints d'un mouvement constant, animés, comme mus par une agitation intérieure.*

*Vers 23 h: (...) jeu insolite de formes et de couleurs qui continuait derrière mes yeux fermés. Des formes fantasmagoriques et bariolées*

déferlaient sur moi en se transformant à la manière d'un kaléidoscope, s'ouvrant et se refermant en cercles et en spirales, jaillissant en fontaines de couleur, se réorganisant et se croisant. (...) Toutes les perceptions acoustiques (...) se transformaient en sensations optiques. Chaque son produisait une image animée de forme et de couleur correspondante.

Comment expliquez-vous l'effet du LSD ?

#### 10 / Translator (3 pts)

Traduire en français correct le paragraphe suivant, provenant de Wikipédia, qui est un excellent résumé sur le système nerveux :

«*The nervous system is an organ system containing a network of specialized cells called neurons that coordinate the actions of an animal and transmit signals between different parts of its body. The nervous system is susceptible to malfunction in a wide variety of ways, as a result of genetic defects, physical damage due to trauma or poison, infection, or simply aging.* »

#### 11 / Berkeley (4 pts)

Dans le film «Matrix», le héros, Néo, lorsque Morpheus lui apprend que tout ce qu'il prend pour la réalité n'existe pas, dit:

- (Neo) : Tout ça n'est pas réel ?
- (Morpheus) : Qu'est-ce que le réel ? »

A vous d'essayer d'y répondre, en vous basant sur ce que vous savez du système nerveux, bien évidemment...

#### 12 / Diversité (4 pts)

La communication nerveuse, tout comme la possibilité de mouvements rapides de tout l'organisme, est spécifique des animaux. A votre avis, les plantes possèdent-elles un moyen pour communiquer au sein de leur organisme ? De quel type pourrait-il être ?

#### 13 - The Unicorn code (3 pts)

La Dame à la licorne est un ensemble de six tapisseries célèbres datant de la fin du 15e siècle et conservé au musée de Cluny à Paris. Cinq des six tapisseries sont en fait des «allégories», c'est à dire des représentations codées, en rapport avec le système nerveux.

En utilisant les agrandissements suivants (*doc. Wikimedia*), trouvez donc à quoi font référence ces tapisseries.



## CORRECTIONS

### Questions de cours

#### Quizz (10 pts)

1/ 4 à 400 km/h selon les fibres nerveuses concernées, leur taille, l'existence ou non d'une gaine isolante. C'est rapide, mais ça n'atteint pas la vitesse de la lumière (300 000 km s) !

2/ 1m de long, pour les neurones qui relient moelle épinière et pied ! Ce sont les plus longues cellules du corps.

3/ Tout est exact. Les neurones sont fragiles, et sensibles à de nombreuses substances. Médicaments et drogues agissent au niveau des synapses. Oxygène et glucose sont nécessaires à leur respiration.

4/ Les neurones ont leur noyau dans l'encéphale pour la plupart, et certains dans la moelle épinière, qui est aussi un centre nerveux

5/ Les neurones possèdent des dendrites, un corps cellulaire et un axone (réponse 4).

#### VRAI / FAUX.

A - La moelle épinière et le cerveau sont des centres nerveux. V car ils contiennent des neurones recevant et émettant des messages nerveux

B - La destruction de la moelle épinière peut supprimer certains mouvements. V, car les nerfs ne sont alors plus raccordés au cerveau.

C - Un organe des sens est relié au cerveau par un nerf moteur. F, par un nerf sensitif

D - L'alcool diminue le temps de réaction d'un automobiliste. F, au contraire, il l'augmente.

### Colles

#### 1/ A l'oeil (4 pts)

J. Dalton est incapable de faire la différence entre le rouge et le vert. Il y a donc un problème au niveau du «circuit nerveux» de la vision. On peut donc en passant en revue tous les éléments nerveux impliqués, faire les hypothèses suivantes:

- le ou les récepteurs sensoriels sont défectueux. Peut être, tout simplement, qu'il existe dans l'oeil des récepteurs sensoriels pour la couleur rouge et d'autres pour la couleur verte, et qu'ils ne fonctionnent pas, ou mal, ou bien sont absents.

- le nerf optique est peut être défectueux, peut être que certaines fibres transportant les messages nerveux «rouge» et «vert» étant rompues ou absentes.

- les zones du cerveau détectant les couleurs sont défectueuses, et les messages nerveux de deux couleurs n'étant pas bien décodés, ces deux couleurs sont confondues en une seule.

*(Il s'est avéré que la première hypothèse était la bonne, bien que Dalton ne l'ai jamais su, car cette explication nécessitait la connaissance des mécanismes cellulaires de la vision, inaccessibles à son époque, et n'entrant pas dans le cadre de votre programme).*

#### 2/ court-circuit (5 pts)

L'oeil, récepteur sensoriel, transforme la lumière (l'image de la balle 1) en un message nerveux qui est envoyé par le nerf optique (2) jusqu'au cerveau (3). Le cerveau décode ce message, et la «décision» de l'intercepter est prise: il fabrique plusieurs messages nerveux moteurs transmis par la moelle épinière et les nerfs (4) jusqu'aux muscles de la jambe et de la main (5) dont les contractions permettront l'interception de la balle.

Le schéma présenté ici est très simplifié, car pour réaliser un mouvement, il y a bien plus de deux muscles et de deux nerfs qui sont sollicités. Tout un ensemble de messages moteurs est produit, qui passent par la moelle épinière et empruntent ensuite des nerfs divers vers tout un ensemble de muscles, le tout étant coordonné.

#### 3/ Acouphènes (3 pts)

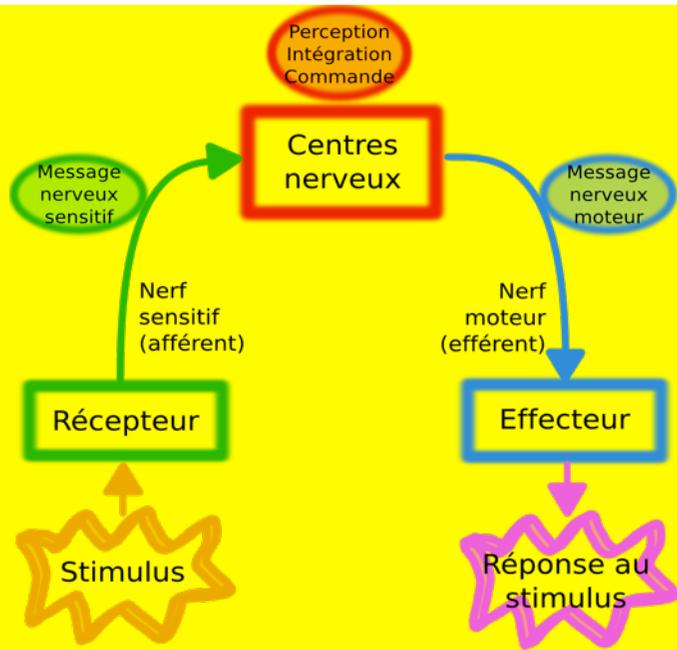
Comment peut-on entendre des sifflements que personne d'autre, autour de nous, n'entend ?

Plusieurs hypothèses peuvent l'expliquer:

Les récepteurs de l'oreille peuvent mal fonctionner, fabriquant des messages nerveux sans qu'un stimulus ne soit présent; ou bien la région du cerveau recevant les informations auditives peut «fabriquer» de «faux» bruits, que l'on «entend» comme des vrais, mais qui ne sont que le reflet de l'activité parasite du cerveau, et pas de l'environnement.

#### 4/ Généralisation (7 pts)

La couleur verte représente les messages nerveux sensitifs, la rouge les centres nerveux et la bleu les messages nerveux moteurs sur le schéma, que l'on peut compléter de la façon suivante:



## EXERCICES

### 1/ Repérages (6 pts)

Les structures rondes visibles à l'intérieur du nerf sont les fibres nerveuses dont il est constitué (ce sont les prolongements des axones de neurones)

Les structures rondes visibles à l'intérieur du muscle sont les fibres musculaires, c'est-à-dire les cellules qui composent le muscle (et vous savez depuis longtemps que tous les organes sont faits de cellules...).

La communication entre nerf et muscle n'est pas visible ici, car le nerf et les fibres qu'il contient apparaissent nettement séparées des cellules musculaires, dont il ne s'approche pas. De plus, on ne voit pas la «fin» des fibres nerveuses, qui sont simplement coupées transversalement.

### 2/ Les raisons du coeur (7 pts)

21 - Voici deux observations ou expériences montrant qu'Aristote était dans l'erreur:

- Alors que les individus qui ont survécu à un infarctus (une zone du coeur qui ne reçoit plus de sang) ne changent pas de personnalité, cela peut arriver pour celles qui subissent un AVC (mort d'une zone du cerveau ne recevant plus de sang - oui, c'était au programme de cinquième!)

- Il est possible, en faisant vite, de réanimer des personnes dont le coeur s'est arrêté (vous l'avez tous vu dans des séries), sans que leur personnalité ne soit changée alors que si c'est le fonctionnement du cerveau qui s'arrête, c'est la mort de l'individu.

22 - Voici quelques expressions françaises communes (elles sont nombreuses) qui laissent (à tort) penser que c'est bien dans le coeur que se situe l'origine des émotions ou de la pensée:

- en avoir le coeur net
- les affaires de coeur (pour les sentiments)
- apprendre par coeur
- à coeur perdu
- avoir le coeur gros
- briser le coeur

### 3/ La grenouille sans tête (4 pts)

*Si S. Hales pince l'extrémité d'un membre de grenouille décapitée, ce dernier se replie, comme cela se passe sur une grenouille «intacte» et vivante!*

On en déduit que le cerveau n'est pas indispensable à la réalisation de ce mouvement. Visiblement, la réalisation de ce mouvement, de la détection du pincement à la contraction du muscle, ne le met pas en jeu.

*Si la moelle épinière est détruite, alors le pincement du membre ne produit plus aucune réaction.*

On en déduit que comme la présence de la moelle est indispensable, elle doit participer à la réalisation de ce mouvement. Or, les nerfs sensitifs y arrivent et les nerfs moteurs en partent. Comme eux ne sont pas détruits, on en conclut que **la moelle épinière est le centre nerveux** ou se gère le mouvement constaté, sans avoir besoin de «remonter» jusqu'au cerveau.

Cela signifie que la moelle épinière est un centre nerveux qui peut être «autonome» du cerveau, qui ne participe donc pas à la réalisation 'inconsciente' de certains mouvements (*c'était en 1730 une découverte importante, qui sera popularisée en 1750 par R. Whytt dans un livre « sur le mouvement vital et d'autres mouvements involontaires chez les animaux» qui popularisera pour la première fois l'idée que certains mouvements sont des «réflexes» ne nécessitant pas l'intervention du cerveau, et encore moins de la conscience*).

### 4/ De l'électricité dans l'air (12 pts)

41 - Les observations sont justes, mais il se trompe en pensant que le message nerveux n'est pas de nature électrique, car il compare les nerfs à ce qui est connu à son époque: le courant circulant dans un «fil de fer». Vous avez appris en physique ce qu'est un conducteur et un isolant. Reprenons les objections de Haller:

- « elle ne pourrait pas être retenue par des ligatures » : il est certain que si vous faites un noeud autour d'un fil électrique le courant passe encore, alors que ce n'est pas le cas avec un nerf. Mais en serrant le noeud, un nerf, faisceau

de fibres, ne se comporte pas comme un fil: la pression «chasse» le cytoplasme des fibres nerveuses de par et d'autre du noeud, ce qui ne permet plus le passage du courant. La ligature du nerf s'apparente donc, en fait, à une coupure d'un fil électrique (et dans ce cas, le courant ne passe plus non plus).

- « elle se répandrait dans les espaces voisins » : non, car le nerf est «isolé» par son emballage», ainsi que les fibres nerveuses, comme un fil électrique peut l'être par une gaine de plastique (ce qui était inconnu à l'époque d'Haller).

42 - Si les muscles se contractent, c'est qu'ils ont reçu un message nerveux. Le seul centre nerveux présent, c'est la moelle, où est planté le fil. On peut donc supposer que le fil métallique produit un faible courant qui se propage dans la moelle épinière et est transporté par les nerfs des pattes. Lorsque ce message arrive aux muscles encore frais, ces derniers se contractent (bien entendu, cela n'est passible que sur des «demi-grenouilles» fraîches, avant que la décomposition n'ait trop progressé).

En fait, le fil métallique joue le rôle d'une antenne radio (inconnu à l'époque), ce qui explique cette remarque de Galvani: *«il nous apparut clairement que, pour que le phénomène se produise, il était nécessaire, non seulement qu'un corps conducteur fût en contact avec le nerf, mais aussi que celui-ci devait avoir une certaine grandeur et une certaine longueur.»*

43 - Lorsque les crochets de cuivre enfoncés dans la moelle épinière entrent en contact avec les barreaux de fer du balcon, les muscles se contractent. On peut donc en déduire que le contact de ces deux métaux génère un message nerveux transmis par la moelle et les nerfs.

Comme le comportement de la grenouille est le même que si on applique sur la moelle épinière un léger choc électrique, Galvani peut en déduire que de l'électricité est responsable des contractions des muscles, est conduite par les nerfs et se manifeste au contact de deux métaux différents. Mais d'où provient cette électricité ?

44 - Relier moelle et muscle par un arc de métal provoque des contractions. On peut dire alors que l'arc de métal «remplace» le nerf. Comme s'il est isolant, il n'y a pas de contractions, de l'électricité est bien mise en jeu.

On pourrait en déduire que c'est bien de l'électricité qui circule dans le nerf, et que le message nerveux est de nature électrique. Ou bien, avec les connaissances modernes, que les métaux employés, différents, ou reliant des parties différentes, produisent un faible courant qui, parcourant moelle épinière et nerfs, provoque les contractions.

Toutefois, ce ne sont pas là les conclusions de Galvani: pour lui, ce qu'il observe, c'est qu'il y a bien de l'électricité en cause dans les mouvements musculaires, et que cette électricité circule dans le système nerveux. Mais il s'intéresse à l'origine de ce courant électrique; qui ne peut venir, selon lui, que de l'animal lui-même.

45 - Après ses expériences, Galvani s'oppose à Haller, qui considérait que le message nerveux n'était pas de nature électrique.

Les découvertes de Galvani sur le message nerveux sont donc:

- sa nature électrique

- le caractère «isolant» de l'extérieur des nerfs (voir 41): *«c'est la substance interne du nerf qui conduit l'électricité, tandis que la couche grasse externe constitue un isolant qui empêche sa dispersion.»* Notera t'il.

- Par contre, l'effet de la ligature des nerfs n'est pas expliqué (les connaissances de l'époque ne le peuvent pas), montrant une différence entre nerf et fil, mais pas pour autant une différence entre message nerveux et électricité...

## 5/ Le Prométhée moderne (8 pts)

51 - Comment expliquez-vous les phénomènes provoqués par Aldini ?

Aldini impose un fort courant électrique à la surface de la peau du visage du cadavre de Forster. Se courant se répand dans le visage, et, soit provoque directement la contraction des muscles qui le reçoivent, soit emprunte le parcours des nerfs du visage pour créer de «faux» messages nerveux qui aboutissent à des mouvements.

Le même phénomène se produit lorsque le courant est appliqué au rectum, mais dans ce cas la proximité de la moelle épinière, ainsi que des muscles des membres inférieurs, explique les effets spectaculaires obtenus, terrifiants pour l'époque: avec de l'électricité, un mort pouvait bouger de nouveau...

52 - On envoyant des décharges électriques dans ce qui reste de moelle épinière, Weinhold génère des messages nerveux qui, empruntant les nerfs responsables de la marche, permettent à ses «zombis» décapités de se remettre à marcher indistinctement quelques instants.

De nos jours, l'électricité peut faire repartir un coeur arrêté, mais la quantité d'électricité appliquée doit être précise, et le choc électrique survenir très peu de temps après l'arrêt cardiaque. Encore le redémarrage n'est-il possible que si la cause de l'arrêt cardiaque peut être contrée par le choc provoquant une contraction de tous les muscles du thorax, donc du coeur...

On ne peut toutefois pas dire que l'on a «ressuscité» quelqu'un, car la personne n'était pas morte, mais inconsciente, du fait que son cerveau n'était plus alimenté en sang. Si cette situation dure plus de quelques minutes, le cerveau, dont les besoins en dioxygène sont énormes, commence à mourir, et la «réanimation» devient bien plus difficile, avec le risque de refaire fonctionner «en automatique» un organisme dont le cerveau conscient, donc l'individu, la personnalité, sera bel et bien mort alors que reste de l'organisme pourra rester en fonction (ce que l'on appelle la «mort cérébrale»).

53 - Ces expériences d'électrocutions de cadavres, entiers ou en morceaux, semblant revenir à la vie vont inspirer Mary Shelley pour son Roman, des plus célèbre, dont vous avez trouvé le titre: il s'agit bien entendu de Frankenstein.

Les points communs avec les conceptions d'Aldini et Weinholt y sont nombreux, de la fabrication d'une créature à partir de morceaux de cadavres assemblés à son «animation» au moyen des décharges électriques recueillies pendant un orage (un point qui d'ailleurs provient davantage des films réalisés depuis que du livre, Mary Shelly parlant plus de «souffle vital» que de courant, bien que ce dernier joue bien un rôle dans le livre).

On peut aussi noter que, bien longtemps après les expériences de Galvani, Aldini et autres, notre langue porte encore la marque de l'influence exceptionnelle qu'elles ont eue sur l'opinion: on utilise- toujours le verbe «galvaniser» dans le sens de «donner de l'énergie à un individu ou un groupe» et on parle toujours, à propos de la vie, d'«étincelle vitale», comme celles qui environnaient les premières machines électriques de Galvani et le laboratoire du Viktor von Frankenstein de M. Shelley!

## 6 / Les expériences discutables de R. Bartholow (10 pts)

61 - Les résultats obtenus par Hitzig et Frisch montrent:

- que c'est bien le cerveau qui est à l'origine des messages nerveux moteurs
- que ces messages ne sont pas fabriqués n'importe où dans le cerveau, mais dans une zone bien précise (une bande de quelques cm<sup>2</sup> que l'on appellera le cortex moteur)
- qu'à l'intérieur de cette zone, il existe des «correspondances» avec les mouvements de certains membres (puisque la stimulation de certaines zones aboutit toujours au même mouvement du même membre).

62 - Les expériences de Bartholow confirment que l'organisation du cerveau humain est identique à celle des autres animaux. Elles montrent aussi qu'il existe dans le cerveau des zones correspondant non seulement aux mouvements, mais aussi à certains comportements et à l'humeur des

individus. Accessoirement, Bartholow démontre aussi qu'en tant qu'organe, le cerveau est insensible à la douleur.

Les phénomènes constatés s'expliquent de la façon suivante:

- les zones motrices stimulées par le courant produisent automatiquement des messages nerveux qui descendent la moelle épinière puis empruntent différents nerfs avant de provoquer la contraction des muscles effecteurs des mouvements constatés

- La stimulation de certaines zones du cerveau crée à l'intérieur de celui-ci des messages nerveux «parasite» qui sont «ressentis» par Mme Rafferty comme des changements d'humeur.

63 - Les expériences de Bartholow étaient plus que discutables: voilà un médecin qui, au lieu d'essayer de soigner du mieux possible sa patiente, l'utilise pour pratiquer des expériences dangereuses, allant même jusqu'à jouer un rôle indéfini dans la mort de celle-ci. Ces expériences ont d'ailleurs été critiquées à l'époque par l'association médicale américaine, mais Bartholow n'a jamais été inquiété à leur sujet.

*De plus, il s'est avéré que Bartholow avait été devancé par Hitzig: le 10 décembre 1870, le soldat français Joseph Masseur, âgé de 20 ans, fut blessé sur le côté droit de la tête par une balle qui, emportant une partie des os du crâne, exposa son cerveau. Hitzig, qui savait que Galvani avait observé chez les grenouilles des mouvements en stimulant électriquement son cerveau, réalisé sur ce jeune homme le même type d'expériences, observant lui aussi des mouvements involontaires en réponse à de faibles stimulations électriques de la surface du cerveau.*

64 - «Lorsque l'aiguille pénétra la substance du cerveau, elle se plaignit d'une forte douleur dans le cou. Afin de développer des réactions plus nettes, la force du courant a été augmentée... son visage reflétait une grande détresse, et elle se mit à pleurer. Très vite, la main gauche se projeta, comme pour prendre un objet devant elle, le bras étant agité à ce moment de spasmes cloniques, ses yeux devinrent fixes, avec les pupilles largement dilatées, les lèvres étaient bleues, et elle bavait (...), elle a perdu connaissance et s'est violemment convulsé sur le côté gauche. La convulsion a duré cinq minutes, et a été suivie d'un coma. Elle est revenue à la conscience une vingtaine de minutes après le début de l'attaque, et se plaignait de faiblesse et de vertiges.»

## 7/ L'étrange cas de Phineas Cage (6 pts)



71 - La barre de fer a traversé (et donc détruite) des zones précises du cerveau de Phineas. L'absence de toute paralysie montre qu'aucune des zones détruites n'était impliquée dans la réalisation de mouvements. Vu l'illustration, ces zones ne se trouvent donc pas à l'avant droit du cerveau ...

72 - Les changements qui ont affecté la personnalité de Phinéas peuvent s'expliquer si l'on fait l'hypothèse que la zone détruite de son cerveau est impliquée dans la définition du caractère et de la personnalité d'un individu.

Toutefois, on peut aussi supposer que la violence de l'accident et la perte d'un oeil ont aussi pu jouer un rôle dans les changements de caractère qui ont affecté Phinéas.

### *Phinéas II le retour ?*

*Le mercredi 15 août 2012, à Rio, l'ouvrier E. Leite, âgé de 24 ans, travaillant sur un chantier de construction, s'agenouille pour ramasser ses outils. A ce moment, une barre de fer d'1,8 m qui a chuté du cinquième étage lui traverse la tête, pénétrant en arrière du crâne, côté droit, pour ressortir entre les deux yeux. M. Leite, pleinement conscient et ne ressentant aucune douleur, se rend à l'hôpital où il est opéré. Certaines parties du cerveau détruites sont voisines de celles qui ont été touchées chez Phinéas. Les conséquences de l'accident pourraient donc être les mêmes, ce qui sera à vérifier à l'avenir. Dans les deux cas, toutefois, on doit remarquer qu'avec beaucoup de «chance», aucune artère ou veine majeure irriguant le cerveau n'a été touchée.*

## 8/ La bosse des math (4 pts)

81 - Gall ne se trompe pas en affirmant que le cerveau comprend différentes parties, mais par contre il se trompe en pensant que ces parties, selon leur activité, «gonflent» et appuient sur le crâne. En effet:

- le cerveau n'est pas un muscle, son volume et sa forme ne change pas quant il fonctionne plus ou moins.
- pour déformer le crâne, il faudrait que les capacités des individus se manifestent lorsque le crâne se forme encore, donc très tôt..

82 - Les contemporains de Gall pensaient que le cerveau est un «tout» qui ne se divise pas en parties spécialisées. En cela, ils se trompaient aussi, puisque le cerveau est organisé en «territoires» spécialisés chacun dans une fonction bien déterminée. Par contre, ces différents territoires fonctionnent comme un

«tout» en apparence, car ils communiquent entre eux afin d'assurer le fonctionnement correct de l'organisme.

## 9 / - Le conte d'Hoffman ( 7 pts)

91 - Il est possible de «voir» les yeux fermés, car ce ne sont pas les yeux qui voient, mais le cerveau. Les yeux ne font que fabriquer des messages nerveux à partir de la lumière qu'ils reçoivent. Si le cerveau fabrique ces messages nerveux lui-même dans l'aire de la vision, alors l'individu «voit» des éléments qui n'ont pas d'existence réelle (cette capacité d'abstraction est même à la base de la pensée, de l'imagination, de la conscience).

92 - D'après ses effets, le LSD est une drogue. Il agit donc au niveau de la communication entre les neurones, en générant des messages nerveux parasites qui gênent la communication des neurones.

Ainsi, si l'on reprend dans l'ordre chronologique:

- les aires de la vision, donc les neurones de la vision, sont perturbées (troubles de la vue, oscillations, mouvements inexistantes) puis les zones voisines, le lien entre les différents objets vus ne se faisant plus (sentiment de ne pas avancer)
- les zones responsables de l'équilibre sont aussi parasitées.
- la perception des formes des objets et du mouvement est ensuite perturbée (objets déformés et mobiles)
- le LSD crée ensuite des messages nerveux dans les aires visuelles, qui aboutissent à voir des formes et des couleurs inexistantes, régulières et animées (kaléidoscope...).
- le LSD provoque ensuite des correspondances, des liaisons entre des parties du cerveau qui normalement ne communiquent pas. Ainsi, les messages nerveux venant du nerf auditif, au lieu de se limiter aux aires de l'audition, sont transmis aux aires de la vision, où ils provoquent la formation de messages interprétés comme des couleurs et des formes: le son est alors transformé en images (*toutes les perceptions acoustiques (...) se transformaient en sensations optiques. Chaque son produisait une image animée de forme et de couleur correspondante*).

Après plusieurs heures, le LSD est évacué du cerveau et de l'organisme par la circulation sanguine.

## 10 / Translator (3 pts)

Le système nerveux est un ensemble d'organes contenant un réseau de cellules spécialisées appelées neurones qui coordonnent les actes des animaux et transmettent des signaux entre les différentes parties de leur

corps. Le système nerveux est susceptible d'être perturbé par une large variété de facteurs, que ce soit le résultat de maladies héréditaires, des dommages physiques causés par des accidents ou des substances toxiques, des infections ou simplement par la vieillesse.

### 11 - Berkeley (4 pts)

La réalité, pour chaque individu, c'est la somme des informations envoyées par les organes sensoriels au système nerveux, et ce qu'en fait ce système nerveux.

Vous n'avez donc pas la même perception du monde qu'une fourmi, une abeille ou un chien.

*Ce qui pose donc une question (à laquelle nous ne répondrons pas): existe-t'il une réalité en dehors de l'activité du système nerveux, ou celle-ci n'en est-elle que le résultat ?*

*Car, si vous réfléchissez à ce que vous venez d'apprendre, tout ce que vous êtes, tout ce que vous savez, percevez ou croyez savoir n'est jamais que le résultat de l'activité électrique d'une zone de votre cerveau du volume de votre pouce ...*

### 12 - Diversité (4 pts)

Comme tous les êtres vivants, les plantes sont constituées de cellules (vous le savez depuis la sixième!). Ces cellules forment des organes spécialisés (racines, tiges, feuilles) qui doivent bien communiquer entre eux: il est donc logique qu'un système de communication relie, par exemple, les racines aux feuilles.

Par contre, les végétaux n'ont pas de système nerveux. Mais vous devez avoir entendu parler de la sève, qui circule dans les végétaux. Le moyen de communication entre les différentes parties des végétaux doit donc être un moyen qui puisse, pour voyager, se faire transporter par la sève. Cela devrait vous faire penser aux hormones des animaux, qui ont, en effet, leurs équivalents chez les plantes. Le système de communication des végétaux est donc de type hormonal.

### 13 - The Unicorn code (3 pts)

Cette série, la «Dame à la licorne» est en rapport avec le système nerveux. Que voit-on sur les agrandissements? Un miroir où se reflète l'image de la licorne, une lyre, un singe qui sent une fleur, une main qui touche la corne et une autre main qui puise dans une corbeille de graines ou de fruits.

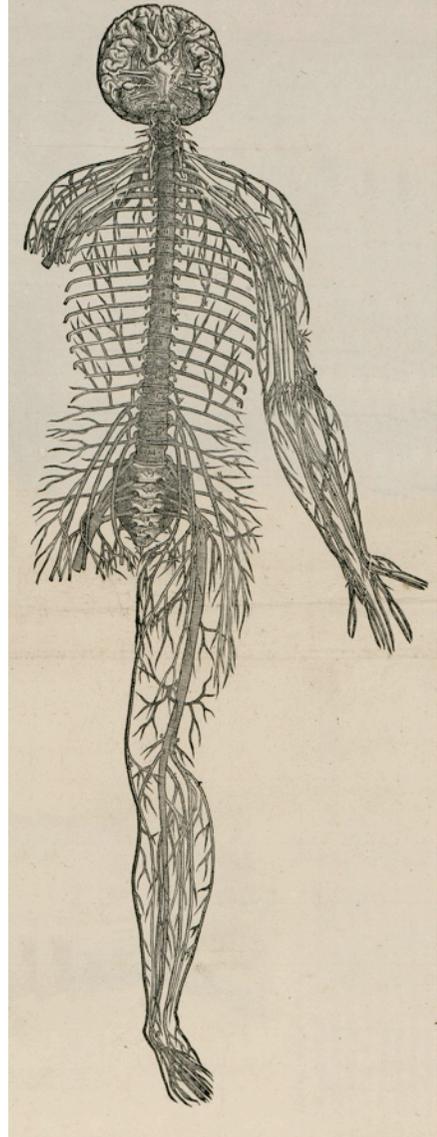
Il n'est pas très difficile de voir ici une représentation codée des cinq sens principaux: la vue (miroir), l'ouïe (lyre), l'odorat (fleur), le toucher (corne) et enfin le goût (graines).

**Le début de cette fable («un animal dans la Lune») décrit fort bien le rôle du système nerveux central.**

Pendant qu'un Philosophe assure,  
Que toujours par leurs sens les hommes sont dupés,  
Un autre Philosophe jure,  
Qu'ils ne nous ont jamais trompés.  
Tous les deux ont raison ; et la Philosophie  
Dit vrai, quand elle dit que les sens tromperont  
Tant que sur leur rapport les hommes jugeront ;  
Mais aussi si l'on rectifie  
L'image de l'objet sur son éloignement,  
Sur le milieu qui l'environne,  
Sur l'organe, et sur l'instrument,  
Les sens ne tromperont personne.  
La nature ordonna ces choses sagement :  
J'en dirai quelque jour les raisons amplement.  
J'aperçois le Soleil; quelle en est la figure ?  
Ici-bas ce grand corps n'a que trois pieds de tour :  
Mais si je le voyais là-haut dans son séjour,  
Que serait-ce à mes yeux que l'oeil de la nature ?  
Sa distance me fait juger de sa grandeur ;  
Sur l'angle et les côtés, ma main la détermine ;  
L'ignorant le croit plat, j'épaissis sa rondeur ;  
Je le rends immobile, et la terre chemine.  
Bref, je démens mes yeux en toute sa machine.  
Ce sens ne me nuit point par son illusion.  
Mon âme en toute occasion  
Développe le vrai caché sous l'apparence.  
Je ne suis point d'intelligence  
Avec mes regards peut-être un peu trop prompts,  
Ni mon oreille lente à m'apporter les sons.  
Quand l'eau courbe un bâton, ma raison le redresse,  
La raison décide en maîtresse.  
Mes yeux, moyennant ce secours,  
Ne me trompent jamais, en me mentant toujours.

*Jean de la Fontaine, livre VII, fable 17, 1678*

Le système nerveux représenté par Vésale dans son livre *de humanis corporis fabrica*, paru en 1543.



Les définitions des termes scientifiques à connaître (en gras), mais aussi des mots d'un emploi peu commun en quatrième, et utilisés dans ce chapitre. Ne sont donné ici que le sens dans lequel ils sont employés dans le manuel.

**Acouphène:** sensation auditive qui n'est pas provoquée par un stimulus externe, mais par l'activité du système nerveux. Ils prennent souvent la forme de sifflements.

**Aire cérébrale:** Région du cerveau spécialisée dans une fonction particulière.

**Alcaloïde :** famille de substances employées en médecine et ayant une composition voisine.

**Alcoolémie:** Quantité d'alcool pur contenue dans un litre de sang.

**Altérer:** abimer, endommager.

**AVC:** accident vasculaire cérébral, arrêt de la circulation sanguine limitée à une zone du cerveau, qui est alors incapable de jouer son rôle.

**Axone:** Prolongement du neurone qui conduit l'information depuis le corps cellulaire vers d'autres cellules.

**Bénédictin.** Ordre religieux catholique.

**Cerveau:** Organe du système nerveux, logé dans la tête. Egalement appelé « encéphale ».

**Corps cellulaire:** Partie globuleuse du neurone, contenant le noyau. Les corps cellulaires des neurones sont situés dans les centres nerveux.

**Dendrites:** Prolongements du neurone qui amènent l'information vers le corps cellulaire.

**Drogue:** Substance pouvant modifier l'état de conscience d'un individu.

**Effecteur:** organe qui produit un effet en réponse à un message nerveux.

**Encéphale:** Autre nom du cerveau.

**Fibre nerveuse:** Prolongement fin de la cellule nerveuse, de longueur variable, et pouvant être très long (axone). Ce sont les fibres nerveuses des neurones qui constituent les nerfs.

**Ligature:** pose d'un noeud serré autour d'un organe (souvent vaisseau sanguin ou nerf).

**Message nerveux:** Information transmise par les nerfs à partir des centres nerveux ou des organes sensoriels. On distingue les messages nerveux sensitifs (qui circule d'un organe sensoriel vers un centre nerveux) et les messages nerveux moteurs circulant d'un centre nerveux (cerveau, moelle épinière) vers un organe effecteur (muscle).

**Moelle épinière:** centre nerveux situé à l'intérieur des vertèbres, reliée à l'encéphale et d'où part l'ensemble des nerfs du corps (sauf ceux de la tête). **Ne pas confondre** avec la moelle osseuse, organe situé dans les os longs, et qui ne fait pas partie du système nerveux!

**Néfaste:** dangereux, mauvais, perturbant.

**Nerf:** Élément du système nerveux reliant les centres nerveux (cerveau + moelle épinière) aux autres organes (un muscle par exemple, ou un organe sensoriel)

**Neurone:** Cellule spécialisée dans la réception, la genèse et la transmission de messages nerveux.

**Olfaction:** sens de l'odorat, capacité à percevoir les odeurs.

**Organe effecteur:** Organe qui effectue une commande (par exemple un mouvement), en réponse à un message nerveux.

**Organe récepteur = organe sensoriel:** Organe sensible à une stimulation de l'environnement ; il regroupe les cellules sensorielles sensibles à un stimulus déterminé.

**Perception:** Identification des sensations.

**Récepteur sensoriel:** Structure cellulaire sensible à un stimulus externe.

**Rétine:** partie de l'oeil convertissant la lumière en messages nerveux.

**Stimulation:** Excitation perçue par un organe sensoriel (œil, peau, oreille...) et qui est à l'origine de certains mouvements.

**Stimulus:** (au pluriel stimuli) Modification de l'un des facteurs du milieu, qui peut être détectée par l'un de nos organes sensoriels.

**Synapse:** Zone spécialisée permettant la continuité de la transmission du message nerveux d'un neurone à l'autre, par l'intermédiaire de messagers chimiques.

**Système nerveux:** Ensemble formé par les centres nerveux et les nerfs.

**Thérapeutique:** qui soigne.

**Transmission:** Déplacement des messages nerveux le long des nerfs.

**Voie motrice:** Voie qui relie un centre nerveux à un organe effecteur.

**Voie sensitive:** Voie qui relie un organe récepteur à un centre nerveux.

## Texte

Au début du 20e siècle, l'écrivain Marcel Proust a écrit une oeuvre qui comporte 7 volumes, dédiés aux pouvoirs de la mémoire et des sensations, et intitulée «À la recherche du temps perdu». En voici un extrait, tiré du volume «Du côté de chez Swann», paru en 1913:

«un jour d'hiver, comme je rentrais à la maison, ma mère, voyant que j'avais froid, me proposa de me faire prendre, contre mon habitude, un peu de thé. Je refusai d'abord et, je ne sais pourquoi, me ravisai. Elle envoya chercher un de ces gâteaux courts et dodus appelés Petites Madeleines qui semblent avoir été moulés dans la valve rainurée d'une coquille de Saint-Jacques. Et bientôt, machinalement, accablé par la morne journée et la perspective d'un triste lendemain, je portai à mes lèvres une cuillerée du thé où j'avais laissé s'amollir un morceau de madeleine. Mais à l'instant même où la gorgée mêlée des miettes du gâteau toucha mon palais, je tressaillis, attentif à ce qui se passait d'extraordinaire en moi. Un plaisir délicieux m'avait envahi, isolé, sans la notion de sa cause. Il m'avait aussitôt rendu les vicissitudes de la vie indifférentes, ses désastres inoffensifs, sa brièveté illusoire, de la même façon qu'opère l'amour, en me remplissant d'une essence précieuse : ou plutôt cette essence n'était pas en moi, elle était moi. J'avais cessé de me sentir médiocre, contingent, mortel. D'où avait pu me venir cette puissante joie ? Je sentais qu'elle était liée au goût du thé et du gâteau, mais qu'elle le dépassait infiniment, ne devait pas être de même nature. D'où venait-elle ? Que signifiait-elle ? Où l'appréhender ? Je bois une seconde gorgée où je ne trouve rien de plus que dans la première, une troisième qui m'apporte un peu moins que la seconde. Il est temps que je m'arrête, la vertu du breuvage semble diminuer. Il est clair que la vérité que je cherche n'est pas en lui, mais en moi. »

M. Proust, 1923

## Idées de lecture

**Des fleurs pour Algernon**, de Daniel Keyes, 1966.

Dans ce roman, un simple d'esprit subit une opération visant à améliorer son intelligence.

**Le scaphandre et le papillon**, JD Bauby, 1997

L'auteur raconte sa vie à l'hôpital; brutalement, à la suite d'un AVC, toutes les voies motrices passant par le dessous du cerveau sont coupées. Il se retrouve totalement paralysé, muet, et ne communique qu'un clignant de l'oeil.

**Le cerveau pour les nuls**, de D. Sedel et O. Lyon-Caen

Pour prolonger le cours.

## Idées de films

L'organe mystérieux et fascinant qu'est le cerveau a inspiré, bien ou mal, nombre de scénaristes. Quelques films de science-fiction y faisant référence:

**La guerre des cerveaux**, de B. Haskin, 1968

**Le cobaye**, de B. Leonard, 1992

**Phénomène**, de J. Turteltaub, 1996

**Matrix**, des frères A. et L. Wachowski, 1999

Manuel libre & gratuit.

Copiez-le !

Téléchargez-le !

Donnez-le !

Remarque sur les programmes

Dans ce manuel, nous considérons les programmes officiels de la classe de quatrième non comme le maximum de ce que doivent savoir les élèves, mais comme le minimum permettant de leur ouvrir l'esprit.

Les programmes sont donc parfois complétés, dès que la compréhension globale d'un phénomène l'exige, sans toutefois dépasser le niveau que l'on peut attendre d'un élève motivé.



**LICENCE D'UTILISATION**

Ce manuel vous est fourni gratuitement sous licence creative commons "paternité - pas d'utilisation commerciale".

Vous êtes donc libres (à condition de citer le nom de l'auteur original) de reproduire, distribuer et communiquer ce manuel au public, par tous les moyens. Vous pouvez aussi modifier ce manuel. Vous n'avez pas le droit d'utiliser ce manuel à des fins commerciales.

## Illustrations

Les illustrations de ce manuel ont des origines diverses. Toutes ont été mentionnées. Certains auteurs ont réalisé des schémas ou des photographies, et leurs contributions sont signalées par leurs initiales: CB, Céline Bon; VG, Valérie Goubard; GK, Gwenael Kervadec; JPM, Jean Pierre Moussus; MN, Magali Naville; RR, Roger Raynal; DS, Denis Seguette.

D'autres illustrations proviennent :

- de Wikimedia et ses contributeurs qui mettent à disposition d'excellents documents sous licence wikimedia commons, et qui doivent donc être remercié (les schémas originaux de ce manuel seront également rendus disponibles sur wikimedia). Les auteurs des documents choisis ont été mentionnés, sauf dans le cas où ces derniers sont dans le domaine public.
- de l'American Society for Cell Biology, qui met en ligne une banque de photographies sous licence CC (ce que notre CNRS est incapable de faire...)

## Remerciements

Le directeur de cet ouvrage tient à remercier particulièrement

- Le congrès des USA pour le Federal Research Public Access Act exigeant de toute agence fédérale l'accès permanent, libre et gratuit pour tous aux publications scientifiques.
- les concepteurs des licences creative commons et GNU qui ont permis de trouver (et de créer) facilement des documents pour cet ouvrage.
- Le Nouvel Observateur, pour m'avoir autorisé à reproduire certains textes.
- et bien évidemment les auteurs du manuel pour leur travail et leur implication malgré les vicissitudes qui ont marqué une année de travail.

R. Raynal

Dr de l'université de Toulouse.

## Support en ligne



Le site [www.exobiologie.info](http://www.exobiologie.info) sera votre lien vers les mises à jour du manuel. Vous pourrez également [joindre directement le directeur d'ouvrage](#).

## Évitez d'imprimer



Un document sous forme électronique doit le rester le plus possible: c'est ainsi que vous aurez accès à toute sa richesse, à ses liens, ses vidéos et ses possibilités de navigation. Imprimer est le plus souvent inutile, et représente une dépense (en encre surtout, en papier ensuite) qui n'est pas négligeable. Si vous le pouvez, conservez et utilisez ce manuel sous sa forme électronique.

*lamque opus exegi, quod nec lovis ira nec ignis nec poterit ferrum nec edax abolere vetustas. Cum volet, illa dies, quae nil nisi corporis huius ius habet, incert spatium mihi finiat aevi: parte tamen meliore mei super alta perennis astra ferar, nomenque erit indelebile nostrum.*

Ovide, Métamorphoses, livre XV, 871-876

