

MANUELS VISUELS DE LICENCE

Cours

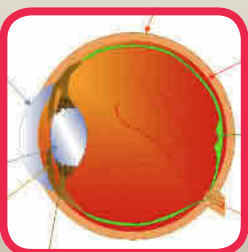
Exercices

Corrigés

250 schémas

300 photos

Sites web



Psychologie cognitive

Alain Lieury

DUNOD

LA VARIÉTÉ DES SENS

Comme un musée, notre corps est bardé de capteurs qui renseignent le cerveau sur ce qui se passe à l'extérieur comme à l'intérieur de notre organisme. Certains de ces dispositifs de détection sont « automatiques », inconscients (récepteurs de la pression sanguine, récepteurs du taux de sucre, récepteurs des muscles et tendons, etc.) mais d'autres éveillent des sensations conscientes, parfois « descriptibles » qui, pour cette raison, sont étudiées en psychologie. Ces sensations correspondent approximativement aux cinq sens traditionnels : toucher, goût, odorat, audition et vision. Mais chaque sens est compliqué. Grande comme une serviette de plage (2 m²), la peau contient cinq millions de récepteurs qui détectent la douceur ou le rugueux des textures, le chaud et le froid, etc. Le goût recherche le sucré, l'umami (goût pour les protéines) et le salé, mais rejette l'acide et l'amer ; tandis que l'odorat, pourtant faible par rapport à celui des animaux, permet de distinguer dix mille odeurs différentes, y compris, peut-être, le parfum qui rend amoureux ! Quant à l'audition, il suffit d'écouter un orchestre d'une centaine de musiciens, avec parfois autant de choristes, sans que l'on ressente de confusion ; l'oreille humaine parvient à analyser chaque onde pour entendre la flûte se dégager des violons... Seuls les chauves-souris et les dauphins entendent mieux que nous. Et pourtant il y a un sixième sens qui est bien oublié, car sans lui, nous ne tiendrions pas sur nos jambes, c'est l'équilibre. Grâce à lui, même dans un grand huit, nous connaissons notre position à chaque instant. En revanche, comme il n'y a pas de perception sans récepteurs, la perception extra-sensorielle et la parapsychologie sont du charlatanisme ; mais il faut bien souvent l'habileté de prestidigitateurs professionnels pour en déjouer les tours...

Définitions

Perception : prise d'informations dans le monde extérieur et à l'intérieur du corps avec parfois une interprétation (sensation consciente).
« Sensation » est synonyme de perception.

● *Perception* : la perception désigne l'ensemble des mécanismes physiologiques et psychologiques dont la fonction générale est la *prise d'information* (avec parfois son interprétation) dans l'environnement ou dans l'organisme lui-même.

● *Sensation et perception* : les philosophes et les premiers psychologues distinguaient perception et sensation en réservant ce dernier terme pour désigner des processus élémentaires. Mais on ne peut tracer objectivement de frontière entre des processus élémentaires et complexes, de sorte que ces deux termes sont *synonymes* ; on peut parler aussi bien de modalités perceptives que de modalités sensorielles.

● *Capteurs « automatiques » et sens traditionnels* : comme un musée ou une banque, notre corps est bardé de capteurs qui renseignent le cerveau sur ce qui se passe à l'extérieur et à l'intérieur du corps. Mais comme dans les dispositifs de détection des intrus, il en existe deux catégories. Les dispositifs « automatiques » qui se déclenchent quand quelque chose passe devant le capteur (cellule photoélectrique, capteur volumétrique), que ce soit un voleur ou un chat ; et les dispositifs permettant une interprétation, comme les caméras reliées à un poste de surveillance. Et bien, notre perception est ainsi faite. De nombreux capteurs sont inconscients (sauf pour des intensités telles que la douleur est déclenchée) : récepteurs de la pression sanguine, récepteurs du taux de sucre, récepteurs des muscles et tendons. Ces récepteurs « automatiques » ne donnent pas de sensations « conscientes » et sont étudiés en physiologie.

Une erreur fatale !

Les points vitaux sont connus depuis des millénaires dans les arts martiaux asiatiques (karaté, jiu-jitsu). Un point vital important est le sinus carotidien et un coup porté à cet endroit peut souvent provoquer une syncope. L'explication de son importance est qu'à cet endroit, la carotide (vaisseau qui, de chaque côté du cou, apporte le sang au cerveau) est remplie de récepteurs de pression sanguine. Si bien qu'un coup violent est interprété par le cerveau comme un excès de pression sanguine ; la commande en retour d'une chute de la pression provoque alors la syncope par manque d'irrigation du cerveau.

Mais d'autres sens éveillent des sensations conscientes, parfois « descriptibles » et pour cette raison sont étudiés en psychologie. Elles correspondent approximativement aux *cinq sens traditionnels*, toucher, goût, odorat, audition et vision. Mais, chaque sens est compliqué (voir les sensations tactiles, p. 31) et il faut en ajouter au minimum un sixième, le sens de l'équilibre. En fait, les « cinq » sens correspondent à une unité anatomique, la peau, la bouche, le nez, l'oreille et l'œil.

● *La psychophysique* : initiée par Gustav Fechner en 1860, la psychophysique est la partie de la psychologie qui étudie les relations entre les stimulations physiques et les sensations qu'elles déclenchent.

Psychophysique : initiée par Gustav Fechner en 1860, la psychophysique est la partie de la psychologie qui étudie les relations entre les stimulations physiques et les sensations qu'elles déclenchent.

I. LES SENS TACTILES

Les sensibilités tactiles illustrent bien les deux faces des sensations, le côté subjectif et le côté objectif. Le côté subjectif est lié aux descriptions variées mais souvent imprécises dont nous sommes capables : chacun se rappelle la fameuse distinction du docteur Knock de Jules Romains entre « chatouillement » et « gratouillement ».

1. Le toucher, la douleur, le chaud et le froid

La découverte des points sensitifs ou sensibles a été faite par Max von Frey (1852-1932) (Boring, 1957). Celui-ci voulait vérifier si, comme on le croyait à l'époque, la douleur naissait d'une stimulation trop intense dans une sensation donnée ; pour le constater, il entreprit d'explorer la peau avec de fines aiguilles et il découvrit l'existence de points sensibles spécifiques, inégalement répartis à la surface de la peau. Certains points stimulés provoquent une sensation de tact (toucher), d'autres de chaud, d'autres de froid et enfin certains points ne donnent naissance qu'à des sensations de douleur mais les stimulations doivent être fortes. Dans les recherches sur le tact et la douleur, les aiguilles sont lestées par un poids calibré de quelques grammes ou dizaines de grammes (10, 20, 30 g) et dans les recherches sur le chaud et le froid, des stimulateurs thermiques renferment un liquide chaud ou froid. Ces recherches mettent en évidence quatre catégories de sensations tactiles, le toucher ou contact, la douleur, le chaud et le froid.

?
Qu'est-ce que la perception ?



Jon Sullivan - Wikipédia



DKSTUDIO - Fotolia.com



Chitia Tatashar - Fotolia.com

Le toucher est un des sens les plus utiles, alertant sur les parties rugueuses (comme un cordage) ou pointues (comme un cactus) mais nous produisant aussi des sensations de douceur et de chaleur (comme une couverture) ou de froid.

Imaginez que vous vouliez protéger votre maison des voleurs. Vous allez mettre un capteur par fenêtre, par pièce, ce qui va faire une dizaine de capteurs si vous avez un appartement ou quelques centaines si vous habitez un château. Et bien nos 19 000 cm² de peau contiennent environ 5 millions de capteurs, mieux qu'un musée ! Mais comme dans un musée, les récepteurs sont très inégalement répartis sur la peau (**tabl. 2.1**) de sorte que le cerveau est bien informé sur ce qui se passe dans certaines régions et beaucoup moins dans d'autres, un peu comme un centre de surveillance qui placerait plus de caméras ou de capteurs dans des zones à haut risque. En caricatu-

rant, on peut dire que le front informe sur la douleur (protection du cerveau), le nez sur le froid, la main sur le toucher (**tabl.2.1**)...

Tableau 2.1
Densité des points sensitifs (par cm² de peau)
en fonction des régions du corps.

	Douleur	Toucher	Froid	Chaud
Front	184	50	8	0,6
Bout du nez	44	100	13	1
Dos de la main	188	14	7	0,5
Bout des doigts	60	180		

(d'après Skramlik, cit. Woodworth, 1949 et diverses sources).

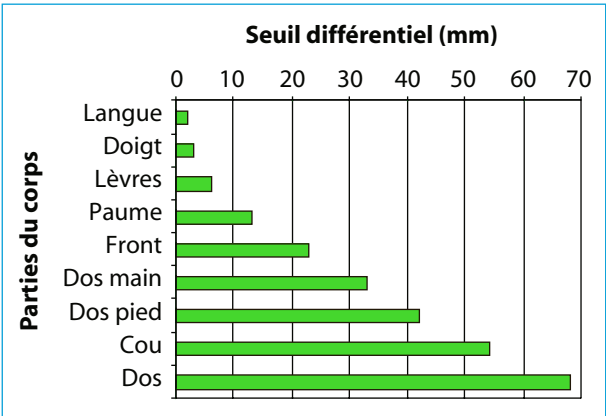


Figure 2.1 – Sensibilité différentielle (distance en mm) en fonction des régions du corps (d'après le site des neurobranchés : <http://neurobranchés-chez-alice.fr>).

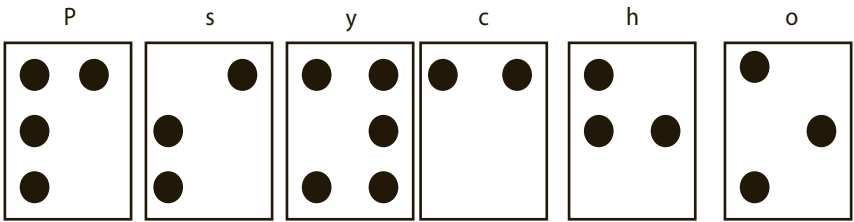
Naturellement, la sensibilité dépend de la densité de récepteurs du toucher. Elle varie de façon impressionnante selon les parties du corps. Le record est détenu par le bout de la langue et le bout des doigts qui peuvent détecter un écart de 2 à 3 millimètres entre les deux pointes d'un compas. Tandis que les lanternes rouges sont le cou et le dos qui ne détectent des écarts que de quelques centimètres (**Figure 2.1**).

L'alphabet braille



DKSTUDIO - Fotolia.com

En 1821, le capitaine Barbier de la Serre invente un système en relief, l'« écriture nocturne », destiné à l'armée afin de lire dans l'obscurité. Ce système est amélioré par Louis Braille qui invente le système alphabétique pour les aveugles. La capacité à lire le Braille n'est possible que par l'extrême finesse de la sensibilité du bout des doigts. La pulpe des doigts contient environ 200 points sensitifs au cm² contre 100 pour l'intérieur de la main, 25 pour le poignet et seulement 5 pour la jambe. Cette finesse est telle que le seuil différentiel

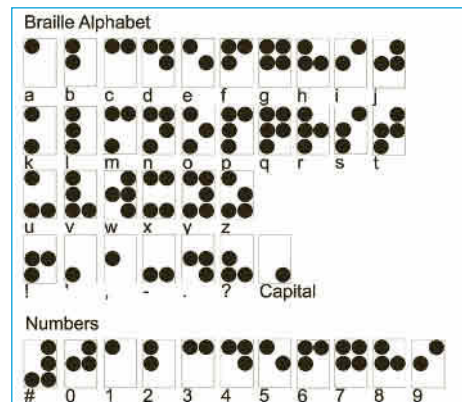




(familièrement « acuité » tactile par analogie avec la vision), c'est-à-dire l'écart le plus fin que l'on puisse détecter est de 3 à 8 millimètres tandis que sur la poitrine, cet écart n'est que de 45 millimètres (Lazorthes, 1986).



DKSTUDIO - Fotolia.com



Tootles - Fotolia.com

2. Les récepteurs cutanés

Les anatomistes et physiologistes ont décrit plusieurs récepteurs de la peau correspondant à ces quatre catégories (**Figure 2.2**). La connaissance de ces récepteurs n'est pas à apprendre avec précision dans un cours de psychologie, mais elle est donnée pour éviter une conception magique de la perception : nous percevons grâce à des capteurs et, sans capteurs, il n'y a pas de sensation. Ainsi la douleur est liée à l'excitation de terminaisons nerveuses libres (au nombre de 1,5 million), mais il y en aurait de trois sortes : des terminaisons sensibles aux piqûres, d'autres sensibles à une température supérieure à 45 degrés, d'autres sensibles à tous les types précédents (y compris chimique ; cf. [www.CHUPS.Histologie : organes...](http://www.CHUPS.Histologie.organes...)).

De même le chaud semble lié également à des terminaisons nerveuses libres. En revanche, le froid et les sensations de toucher sont dus à des petites capsules entourant une terminaison nerveuse et amplifiant le signal (**Figure 2.2**). Par exemple, le froid semble lié aux bulbes de Krause. Si les quatre sensations sont bien individualisées, c'est qu'elles transitent par quatre voies nerveuses distinctes (Rosenzweig *et al.*, 1998). Mais le toucher (six cent mille récepteurs) possède plusieurs types de récepteurs, d'où la variété des sensations (chatouillement, pression, toucher léger...) : les disques de Merkel, les corpuscules de Meissner et ceux de Golgi-Mazzoni sont responsables de la finesse du toucher et sont très présents au bout des doigts (jusqu'à deux mille terminaisons diverses au bout des doigts), dans les lèvres et les zones érogènes. Les corpuscules de Ruffini nous donneraient les sensations d'étirement tandis que les sensations de vibrations et de pression proviennent des corpuscules de Pacini dont la compression dilate les pores de la membrane axonique, faisant entrer des ions sodium (Na^+), démarrant ainsi le signal nerveux (Loewenstein, 1971 ; cit. Rosenzweig *et al.*, 1998).



Quels sont les cinq sens traditionnels ?

Www.

CHUPS.Histologie :
organes
<http://neurobranchés-chaz-alice.fr>

3. Notions de psychophysique

Plus les points sensitifs (ou récepteurs) sont nombreux et plus la sensibilité est grande. En psychophysique, depuis Weber et Fechner, on exprime la sensibilité par les seuils ; le seuil absolu et le seuil différentiel :

■ le seuil absolu est la grandeur de la stimulation qui est juste perçue ; en pratique, perçue dans 50 % des cas : le seuil de douleur est de 30 grammes par millimètre pour le bout du doigt et il n'est que de 0,2 g sur la cornée de l'œil ;

■ le seuil différentiel relatif : le physiologiste Ernst Weber (1795-1878) a établi le fait fondamental en perception, que nous sommes essentiellement sensibles aux différences relatives (Piéron, 1967). Ainsi, dans une expérience typique de sensation de poids, si l'on compare un poids étalon de 100 g, il faudra par exemple un poids de 110 g pour qu'un sujet, ayant les yeux bandés, se rende compte de la différence de poids. On pourrait supposer que pour ce sujet, l'écart sensible est de 10 g mais on s'aperçoit qu'avec un poids étalon de 200 g, il faudra placer cette fois dans l'autre main un poids de 220 g pour que le même sujet sente la différence ; et ainsi de suite, seul un écart de 30 g sera perceptible en référence à un poids étalon de 300 g, 40 g pour un poids de 400 g, etc. Weber montrait ainsi que nous ne sommes pas sensibles à l'écart absolu mais à l'écart différentiel par rapport à une quantité de référence, dans notre exemple, le rapport différentiel, appelé rapport de Weber est de 10 %.

Ce rapport, qui est plutôt en réalité de 2,5 % pour les poids, se retrouve dans la plupart des modalités perceptives, très diverses, allant de la vision à l'audition. Par exemple, il est de 5 % pour la sensibilité à la pression alors qu'il est aux alentours de 20 % dans les modalités gustatives. Si cette loi psychophysique est si générale c'est qu'elle correspond à un fonctionnement du cerveau. Les neurones sont souvent organisés de façon verticale et certains neurones d'association ne s'activent que si un neurone cible a une activité supérieure aux neurones de contexte. En somme, nous ne percevons pas dans l'absolu mais seulement les contrastes.

Seuil absolu : plus petite intensité physique déclenchant une sensation.

Seuil différentiel : plus petite différence perçue entre deux stimulations.

Rapport de Weber

$$\frac{110 - 100}{100} = 10 \%$$

$$\frac{220 - 200}{200} = 10 \%$$

$$\frac{330 - 300}{300} = 10 \%$$

L'équation du bonheur

Bien avant Weber et Fechner, le mathématicien Daniel Bernouilli, au XVIII^e siècle, avait déjà remarqué que l'avantage moral ne croît qu'avec l'accroissement relatif de la fortune physique ce qui dans le langage moderne représente le rapport de Weber : l'avantage subjectif que procure l'argent est relatif à la richesse de l'individu. Cette observation rend compte des sommes impressionnantes que des milliardaires peuvent perdre au jeu.

En effet, supposons que le rapport de Weber soit de 10 % pour l'argent. Un étudiant ayant un budget mensuel de 300 euros ne considérera pas comme catastrophique toute perte inférieure à 30 euros ; mais pour qu'un milliardaire éprouve des sensations fortes, il lui faudra jouer des sommes de l'ordre du million. À l'inverse (rappelez-vous qu'une division par zéro donne l'infini), un grand plaisir devrait être atteint par une augmentation légère si la référence est très faible. Par exemple, pour les générations

Figure 2.3 – Rapport de Weber.



d'après-guerre, une simple orange, ou un ours en peluche fabriqué avec du crin de cheval, était un merveilleux cadeau, de même comprend-on mieux le sourire de l'enfant des contrées déshéritées qui se fait un instrument de musique avec une boîte en fer trouvée dans une décharge alors que dans un pays riche, le besoin de consommation est toujours croissant. Le rapport de Weber nous fournit l'équation du bonheur, de l'explication de l'ascétisme à celle de la surconsommation...

Ce phénomène avait déjà été remarqué par les Grecs pour qui le rire se déclenchait d'autant plus qu'il apparaissait après un événement dramatique, c'est la tragi-comédie. C'est un procédé littéraire courant que de valoriser le héros en l'affublant d'un compère distrait ou stupide, comme les valets des *Trois Mousquetaires* ; la brusquerie du coup de théâtre relève encore l'effet de contraste. De même dans la perception de l'humeur : les lendemains de fête sont souvent déprimants.

II. LE GOÛT

1. Le système gustatif

Le goût, tel qu'on l'entend dans la vie quotidienne et chez les gastronomes, est en réalité un complexe de plusieurs modalités sensorielles :

■ **odorantes** : l'odeur des aliments et des liquides enrichissent considérablement le goût et font la saveur des fruits ou le bouquet d'un vin ; en particulier par le passage des molécules odorantes en arrière du pharynx, c'est la rétro-olfaction. À l'inverse lorsqu'on est enrhumé, il ne reste plus grand-chose du « goût » ;

■ **tactiles** : les récepteurs tactiles de la langue et de la paroi de la bouche déterminent des sensations de chaud, de froid, de toucher, que l'on retrouve dans le vocabulaire des gastronomes en particulier des goûteurs de vin : chambré (chaud), râpeux (astringent pour les œnologues), soyeux, velouté (tactile). La langue et les muqueuses de la bouche

contiennent même plus de récepteurs tactiles au centimètre carré que le bout des doigts. Par exemple, on ne sent pas l'électricité de la pile d'une lampe de poche (4,5 Volts) alors qu'on la sent du bout de la langue d'où les baisers passionnés.

Le goût, au sens strict, est capté par des bourgeons gustatifs répartis principalement sur la langue (mais aussi dans la bouche, pharynx, œsophage...). Quand on tire la langue, on voit des sortes de boutons, ce sont les papilles qui renferment les organes du goût, les bourgeons gustatifs. Les papilles ont différentes formes et grosseurs (Fitzpatrick, in Purves *et al.*,



Le goût de la vie quotidienne est un complexe de sens : le « vrai » goût mais aussi le sens du toucher de la langue et de la bouche, l'odorat de l'œnologue, le chaud et le froid des récepteurs thermiques de la langue.

Bourgeon gustatif :
groupe de cellules ciliées
sensibles à des molécules
(par exemple Na, « sodium »
contenu dans le sel)
contenues dans des
liquides.

2005 et diverses sources). Les papilles fongiformes (en forme de champignon) sont disposées, sur les deux tiers antérieurs de la langue (**Figure 2.4**) ; ce sont les plus nombreuses (30 par cm²) mais elles ne possèdent que trois bourgeons gustatifs à leur sommet. Sur les côtés en arrière, il n'existe que deux papilles foliées sur chaque flanc mais la vingtaine de feuilles superposées contient six cents bourgeons. Enfin, neuf grosses papilles caliciformes (en forme de calice) sont rangées en forme de V à l'envers, comme pour faire une barrière aux aliments dangereux, à l'entrée de l'œsophage ; les caliciformes ont un peu la forme de mûres, dont les parois renferment deux cent cinquante bourgeons, soit plus de deux mille. Il existe enfin au bout de la langue, des papilles filiformes qui sont uniquement tactiles.

Au total, la langue dispose de quatre mille bourgeons gustatifs, 25 % dans les papilles fongiformes et dans les foliées et 50 % dans les grosses caliciformes.

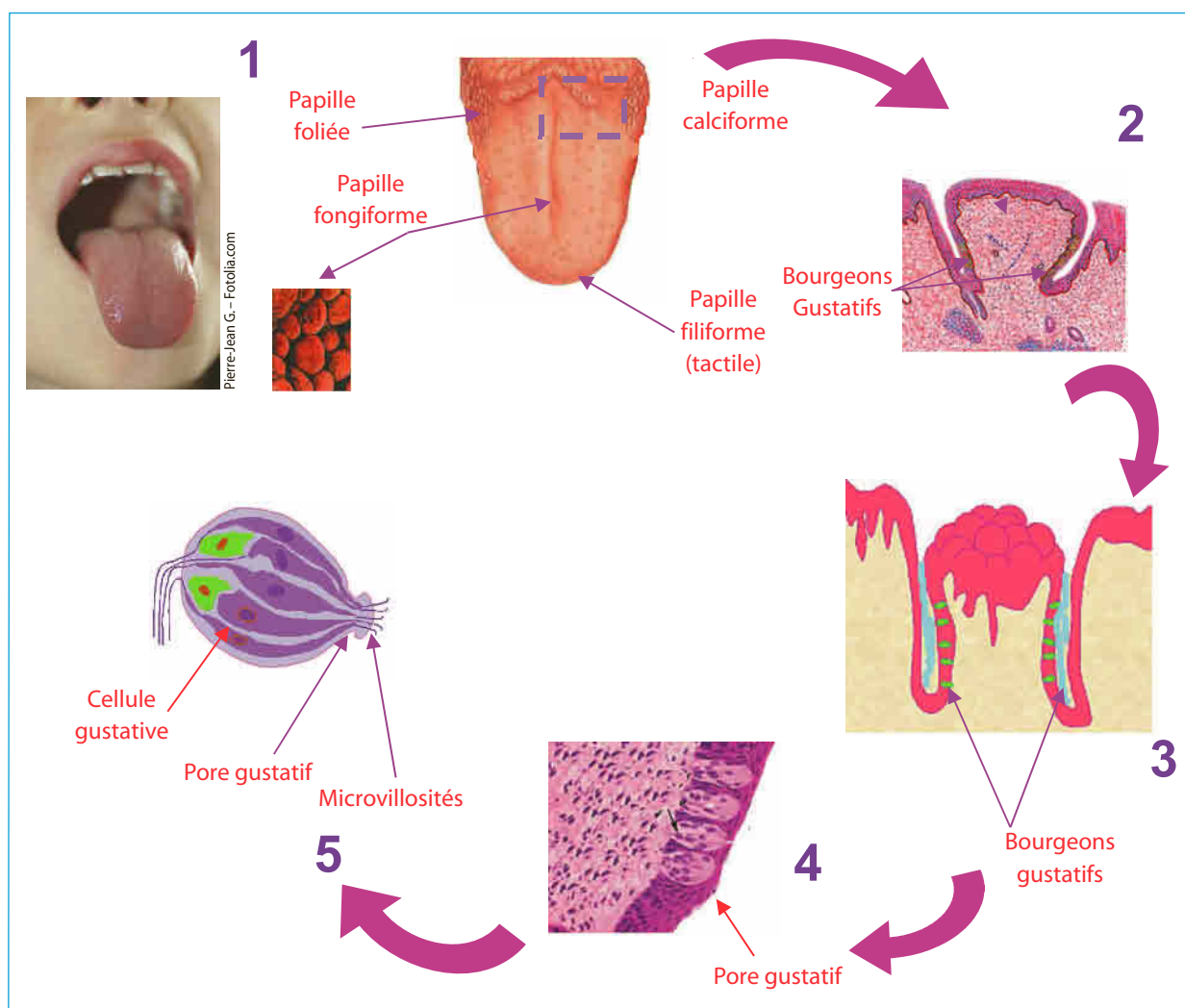


Figure 2.4 – Le fonctionnement du goût.

La langue contient des centaines de papilles (1), sorte de boutons ayant différentes formes et contenant des bourgeons gustatifs. Par exemple, la papille caliciforme contient 250 bourgeons gustatifs (3) sur ses flancs (3 et 4). Chaque bourgeon (4 000 au total dans la langue) contient des cellules gustatives (5) dont les poils (microvillosités) captent les molécules piégées dans la salive (cf. **Figure 2.5** ci-après).

2. Les cinq goûts : carte de la langue ou « ligne directe » ?

Un consensus international existe pour cinq catégories de goût :

- *le salé* dont le prototype est le sel de cuisine (NaCl), correspond à l'élément vital dès l'origine de la vie, l'eau salée de l'eau de mer ; même chez les animaux terrestres, les cellules et organes baignent dans une « mer » interne, le sang, la lymphe. Par exemple, l'influx nerveux fonctionne principalement comme une « pompe » à sodium (Na). Le besoin de sel est tellement vital qu'il était considéré dans les pays chauds comme un élément précieux (par exemple caravanes de sel) ;
- *le sucré* : le glucose est l'aliment apportant l'énergie aux muscles et au cerveau ; pour le goût, le prototype du sucré est le saccharose (sucre ordinaire) qui est composé de deux molécules de glucose ; l'amidon (farine, pomme de terre) est une chaîne de molécules de glucose ;
- *l'acide* dont le prototype est l'acide chlorhydrique, HCl. Les acides détruisent les tissus de sorte qu'il y a nécessité d'une grande sensibilité à la teneur en acide, afin de préserver les tissus ;

Un apéro plutôt « acide » !

Certains connaissent peut-être le cérémonial de la tequila ; il faut lécher du sel placé dans le creux entre l'index et le pouce, mordre dans du citron, et avaler le « petit » verre de tequila... Plutôt risqué comme pratique, car, pour ceux qui ont des souvenirs de chimie du lycée, l'acide « léger » du citron déloge les ions chlore (Cl^-) du sel (Na^+Cl^-), donnant ainsi de... l'acide chlorhydrique, un des acides les plus puissants et qui ronge le fer. L'estomac, lui aussi, doit faire la grimace !

- *l'amer* dont le prototype est la quinine : il semble que l'amer soit une sensation gustative produite par les alcaloïdes ; sachant que beaucoup de poisons, par exemple dans les champignons, sont des alcaloïdes, c'est probablement là que réside l'utilité adaptative d'une telle sensibilité ;
- *l'umami* (prononcer « ouh mamy ») : en 1908, le japonais Kiunae Ikeda avait détecté un goût non réductible aux quatre goûts classiques, il l'a baptisé « umami » de « umaï » et « mi », « délicieux » et « essence » en japonais. Il correspond à la perception des acides aminés (constituant des protéines végétales et animales) dont le glutamate en est la saveur prototype. En découvrant en 2000 un récepteur gustatif spécifique du glutamate (et autres acides aminés), des chercheurs de l'université de Miami ont ainsi confirmé l'existence de ce cinquième goût.

Www.

www.
tigersndstrawberries.
comm « do-you-know-
umami ».

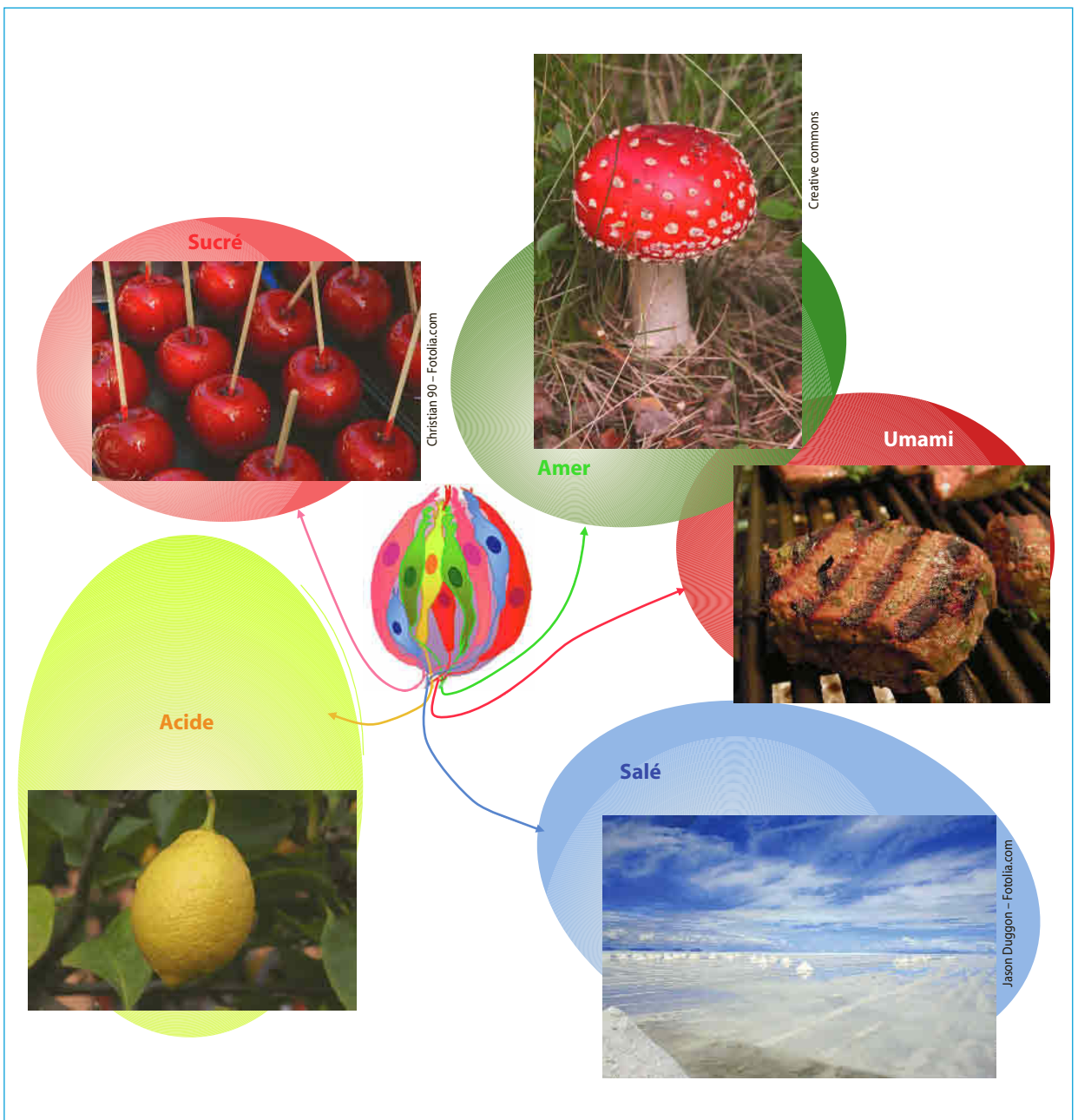


Figure 2.5 – Une « ligne directe » pour les cinq goûts.

Des découvertes récentes, alliant des techniques comportementales, génétiques, micro-électrophysiologiques, résolvent le mystère du codage des cinq goûts. En fait, les cellules gustatives de chaque bourgeon ne sont pas quelconques mais spécialisées pour chacun des cinq goûts. Ainsi chaque bourgeon gustatif contient cinq types de cellules gustatives spécifiques (symbolisées par des couleurs spécifiques sur la figure) dont les microvillosités captent les molécules d'un seul goût. Chaque cellule gustative est relayée par un neurone spécialisé qui envoie par « ligne directe » le message au cerveau, permettant ainsi de sentir cinq saveurs uniques.

Mais comment le cerveau distingue-t-il les cinq saveurs gustatives ? On a longtemps pensé que les bourgeons étaient spécialisés selon les papilles sur la base de seuils gustatifs différents découverts par Deiter Hanig en 1901 (cit. Fitzpatrick, in Purves *et al.*, 2005). L'avant de la langue est plus sensible au sucré, les bords à l'acide et l'arrière (les « soldats » caliciformes)

à l'amer. C'est ainsi, que l'on trouve dans beaucoup de livres, une carte de la langue mais il ne s'agit que de différences de seuils gustatifs car il est bien établi maintenant que tous les bourgeons « sentent » les cinq saveurs.

Comment font donc ces petits bourgeons ? Ils sont certes petits (50 μ de diamètre) mais contiennent 50 à 150 cellules olfactives. Des découvertes très récentes, alliant des techniques comportementales, génétiques, micro-électrophysiologiques, résolvent le mystère du codage des cinq sens. En simplifiant, le principe est d'utiliser le conditionnement opérant (mesure du nombre de réponses pour des liquides différents) sur des souris génétiquement sélectionnées, qui ont des récepteurs gustatifs absents (les chercheurs disent « KO » ; Huang, Shanker *et al.*, 1999). L'enregistrement micro-électrophysiologique montre les cellules du bourgeon qui réagissent ou non. Avec ce genre de technique sophistiquée, Jayaram Chandrashekar et ses collègues (2006) semblent avoir résolu le mystère. En fait, les cellules gustatives de chaque bourgeon ne sont pas quelconques mais spécialisées pour chacun des cinq goûts. Ainsi chaque bourgeon gustatif contient cinq types de cellules gustatives spécifiques (symbolisées par des couleurs spécifiques sur la **Figure 2.5**) dont les microvillosités captent les molécules d'un seul goût. Chaque cellule gustative est relayée par un neurone spécialisé qui envoie par « ligne directe » le message au cerveau, permettant ainsi de sentir cinq saveurs uniques.

3. Les différences de sensibilités



La sensibilité apparaît différentielle dans les goûts comme pour les autres perceptions et l'on trouve un rapport de Weber (*cf. supra* : sensations tactiles) de 20 % pour le sucre, de 25 % pour l'amer, de 15 % pour le salé et de 21 % pour l'acide. De telles études confirment que les enfants (11-15 ans) préfèrent des concentrations plus fortes (huit fois) en sucre que les adultes (Desor et Beauchamp, 1987).

Il existe d'énormes différences de sensibilités à la fois dans le règne animal et chez l'homme.

Ainsi le papillon Monarque a une sensibilité au sucré estimée comme étant mille fois supérieure à celle de l'homme.

Et chez l'homme, certains sels paraissent plus salés que d'autres dans des proportions parfois énormes (jusqu'à quatre cent mille fois). Un tiers des gens ne sentent même pas certaines substances dans une catégorie, par exemple détecte l'amer du café et de la quinine mais pas d'une autre substance (phénylthiocarbamide). Ces différences ont sans doute une origine génétique car les recherches récentes montrent par exemple que l'amer dépend de trente gènes différents, d'où les goûts et les dégoûts.

Les papillons ont une grande sensibilité au sucré qui est leur aliment de base.

III. L'ODORAT

1. La diversité des odeurs

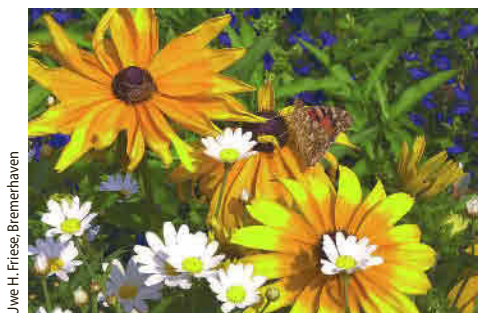
À l'inverse du goût qui se réduit à cinq catégories sensibles, l'odorat produit des sensations spécifiques, individualisées pour des milliers de substances chimiques en suspension dans l'air (homme et animaux terrestres) ou dans l'eau (animaux aquatiques).



Mark Sweep



Jaimie Duplass - Fotolia.com



Uwe H. Friese, Bremerhaven



party - Fotolia.com

Nous sommes capables de discriminer quelques dix mille odeurs d'une très grande variété, des odeurs fruitées, florales, balsamiques jusqu'aux odeurs épicées ou de brûlé.

Chez l'homme, quelque dix mille odeurs sont discriminables de sorte que, pour certains, l'habileté du parfumeur à distinguer et à combiner différentes odeurs relève plus de l'art que de la science (Labows et Wysocki, 1984). Plusieurs ont essayé de les classer, en vue d'applications industrielles (industries alimentaires, cosmétiques) mais aucune classification n'apparaît satisfaisante tant les odeurs sont variées. Voici une classification assez complète en dix types d'arômes proposée dans un guide des vins (**tabl. 2.2**).

Tableau 2.2
Exemples d'odeurs (d'après *L'Art du vin*, Gilbert et Gaillard, 1999).

Type d'arôme	Exemples
Odeurs fruitées	Pomme, poire, raisin, framboise, citron, pamplemousse...
Odeurs florales	Violette, œillet, rose, tilleul, verveine, aubépine, jasmin...
Odeurs balsamiques	Balsamier (arbre à la résine très parfumée), pin, cire, encens...
Odeurs brûlées	Pain grillé, tabac, café, cacao...
Odeurs épicées	Poivre, cannelle, girofle, vanille, laurier, muscade...
Odeurs animales	Cuir, venaison, fourrure, musc...
Odeurs végétales	Herbe, foin coupé, chicorée, artichaut, mousse, feuille morte...
Odeurs boisées	Bois, vieux bois, cèdre, santal...
Odeurs minérales	Argile, schiste, silex, craie...
Odeurs éthérées et chimiques	Acétone, savon, levure, alcool, pétrole, métal, soufre, œuf pourri

Une catégorie est faite par exemple pour les odeurs fruitées et pourtant nous distinguons aisément la framboise de la pomme et du pamplemousse ; donc ces odeurs font-elles partie de la même catégorie ? Et ainsi de suite pour les autres catégories qui apparaissent plus pratiques que scientifiques. Pour mieux rendre compte de cette diversité, un ouvrage de référence sur les parfums et odeurs chimiques (Arctander) présente près de deux mille cinq cents substances pures décrites à l'aide de deux cent cinquante mots (Chastrette, Elmouaffek, Zakarya, 1986).

2. La neuroréception des odeurs

L'odorat commence lorsque les molécules odorantes, inhalées par l'air de la respiration, se fixent sur l'épithélium (= peau) olfactif situé sur le plafond des fosses nasales et séparé du cerveau par une simple couche osseuse percée par des petits canaux (**Figure 2.6**).

L'épithélium olfactif contient des neurorécepteurs ; les neurorécepteurs contiennent des cils qui retiennent les molécules odorantes par des capteurs. Ces capteurs (sortes de serrures) retiennent seulement leurs molécules odorantes spécifiques, de même que des serrures ne fonctionnent que pour certaines clés (comme les neurotransmetteurs pour certains sites sur les neurones). La liaison d'une molécule odorante sur un capteur déclenche alors un signal bioélectrique qui est communiqué par l'axone du neurone vers le bulbe olfactif puis le cortex olfactif pour la reconnaissance des odeurs comme des « formes » d'objets.

Épithélium : peau
(en biologie) : paroi,
par exemple de l'intérieur
de la bouche ou du nez.

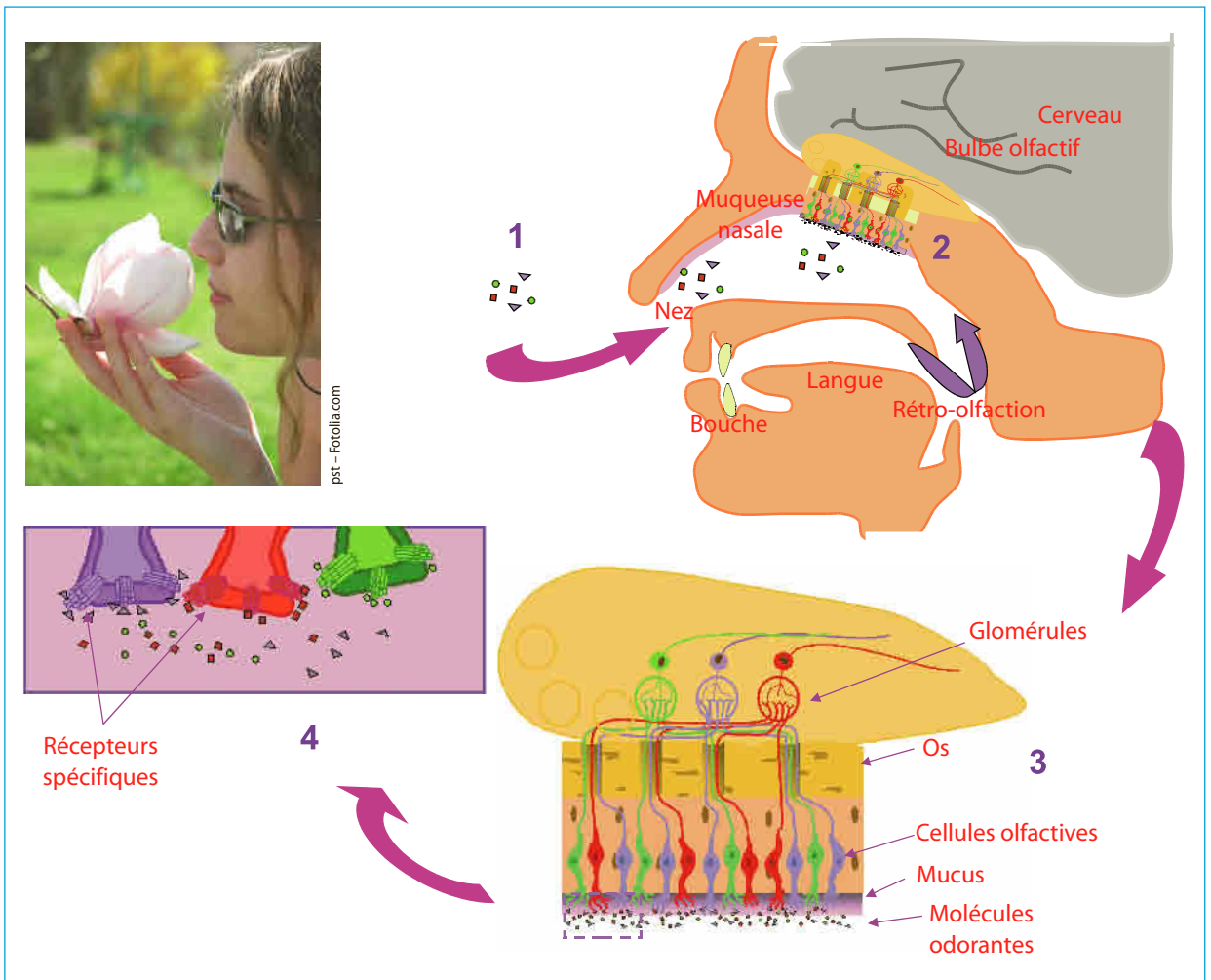


Figure 2.6 – Le fonctionnement de l'odorat.

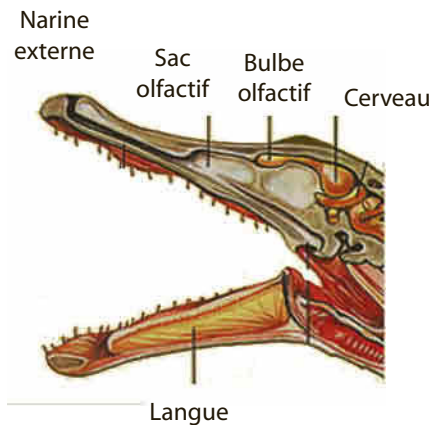
Les molécules odorantes entrent dans le nez (1). Chimiquement différentes (symbolisées par des formes et couleurs différentes), les molécules odorantes sont captées par des récepteurs spécifiques (4) placés sur les cils des cellules olfactives (2 et 3). Celles-ci envoient leur axone par des petits tunnels qui traversent l'os (3) ; les axones convergent par paquets dans les glomérules du bulbe olfactif (3). Chaque cellule olfactive et chaque glomérule est spécialisée (symbolisé par une couleur) pour une des mille odeurs programmées génétiquement. Le cerveau en faisant la carte des glomérules activés dans le bulbe, reconnaît le profil des odeurs.

Richard Axel et Linda Buck (Axel, 1995) ont fait des découvertes importantes en identifiant les gènes des chimiorécepteurs (les protéines « serrures » des odeurs) ce qui leur valut un prix Nobel. Ils ont découvert que sur les 30 000 gènes humains, il y en avait 1 000 qui codaient les chimiorécepteurs ; c'est énorme mais cela se comprend si l'on se rappelle que chez les animaux (des insectes aux mammifères), les odeurs servent aux fonctions vitales, de la nourriture à la reproduction. Par comparaison, nous verrons que toutes les couleurs sont décryptées à partir de seulement trois récepteurs. Les dix millions de neurorécepteurs envoient leur axone simple par les petits tunnels qui traversent l'os et convergent par paquets de 10 000 dans des petits centres du bulbe olfactif, appelés glomérules. Les travaux de Richard Axel et ses collègues ont montré que tous les neurorécepteurs (2 000 glomérules) détectent la même odeur. Le cerveau, en fai-

sant la carte des glomérules activées dans le bulbe, dessinerait en quelque sorte le profil d'une odeur.

3. Les différences de sensibilités

De même que pour le goût, les sensibilités varient énormément entre les individus et surtout entre certaines espèces. Les systèmes récepteurs de la muqueuse olfactive disposent déjà d'un nombre très variable de cellules réceptrices (Le Magnen, 1969), dix millions pour l'homme et deux cents millions chez le chien berger allemand. Ces différences, peut-être même démultipliées au niveau du cerveau (bulbe olfactif), expliquent les extraordinaires performances de certaines espèces. Le chien berger a une sensibilité un million de fois supérieure à l'homme. Le record cependant est détenu par certains poissons : les anguilles et les saumons dont l'odorat extraordinaire permet aux rescapés des longues migrations de reconnaître « chimiquement » la rivière de leur enfance.



Certains animaux ont un odorat extraordinaire, le chien berger, les poissons migrateurs (saumons et anguilles) mais aussi les prédateurs, comme les fauves et le crocodile dont le cerveau est tout petit à côté de son bulbe olfactif.

Phéromones : odeurs qui déclenchent chez les animaux (et nous-mêmes) des réactions particulières, par exemple les phéromones de peur ou sexuelles.

Sur un plan adaptatif, le rôle biologique de l'odorat s'explique par son importance dans de nombreux comportements : recherche de la nourriture, comportement sexuel, etc. Ainsi, le bombyx, dans la célèbre étude de Fabre (*Souvenirs entomologistes*), repère une femelle à plusieurs kilomètres.

Le parfum qui rend amoureux !

Chez les animaux, certaines odeurs ont un pouvoir d'attraction ou de répulsion (peur) ; elles sont appelées « phéromones » et naturellement, les phéromones sexuelles jouent un rôle primordial dans la parade et l'accouplement. Chez les mammifères, les phéromones sont détectées par un système spécial, l'organe voméronasal, sur le plancher des fosses nasales ; lorsque cet organe est détruit chez les souris, elles ne s'accouplent plus. Chez les vertébrés, cette phéromone correspondrait à une famille de composés chimiques (Amoore et coll., 1977), principalement le musc (chez l'animal) et chez l'homme, l'androsténol et androsténone (de *andros* qui signifie « homme » en grec) ; ainsi, la truie refuse de s'accoupler si cette odeur n'est pas présente. Certains animaux (rat musqué, baleine) fabriquent, grâce à une glande spéciale, une grande quantité d'une substance réputée aphrodisiaque, le musc ou ambre gris, utilisée pour cette raison dans les parfums ; le musc n'existe pas chez l'homme mais des odeurs apparentées existent peut-être dans le sébum. Les odeurs « sexuelles » sont sécrétées par une glande liée aux poils de la peau, les glandes apocrines, plus volumineuses chez l'homme, notamment sous les aisselles, raison pour laquelle les femmes de nos cultures se rasent (Doty, 1981). L'effet sexuel de cette odeur est controversé, certains pensant qu'elle est active en montrant que cette odeur stimule des fantasmes sexuels ; d'autres auteurs ne retrouvent pas ces résultats. Les différences de sensibilités pourraient en être la cause ; ainsi certains individus ont une sensibilité telle qu'ils détectent des concentrations de l'ordre de dix parts pour un trillion de volume d'air (10^{-18} un millionième de millionième de millionième) de sorte qu'une concentration supérieure leur apparaît comme une odeur repoussante d'urine ; les femmes ont des seuils trois fois plus bas que les hommes. Pour ceux qui sont sensibles à cette odeur, ce ne serait donc chez l'homme que des doses infinitésimales qui seraient excitantes : pour plaire donc, nul besoin de forcer sur le parfum mais évitez le souper aux chandelles juste après le jogging...



Qu'est-ce que les phéromones ?

IV. L'AUDITION

L'audition est le sens qui permet d'analyser les ondes sonores. Celles-ci sont des vibrations dans l'air (ou dans l'eau, etc.), comme des vagues, produites par des chocs (tambour), frottements (violon), ou poussée de l'air, comme dans les instruments à vent (trompette) et la voix humaine.



Djibi - Fotolia.com



Creative Commons



MAXEX - Fotolia.com

Le son est composé d'ondes qui sont des vibrations des molécules de l'air tout comme les vaguelettes dans l'eau. Les ondes sonores sont produites par des chocs (tambour), frottements (violon, train), ou poussée de l'air, comme les avions à réaction, les instruments à vent (trompette) mais aussi la voix humaine.

1. Les mécanismes récepteurs

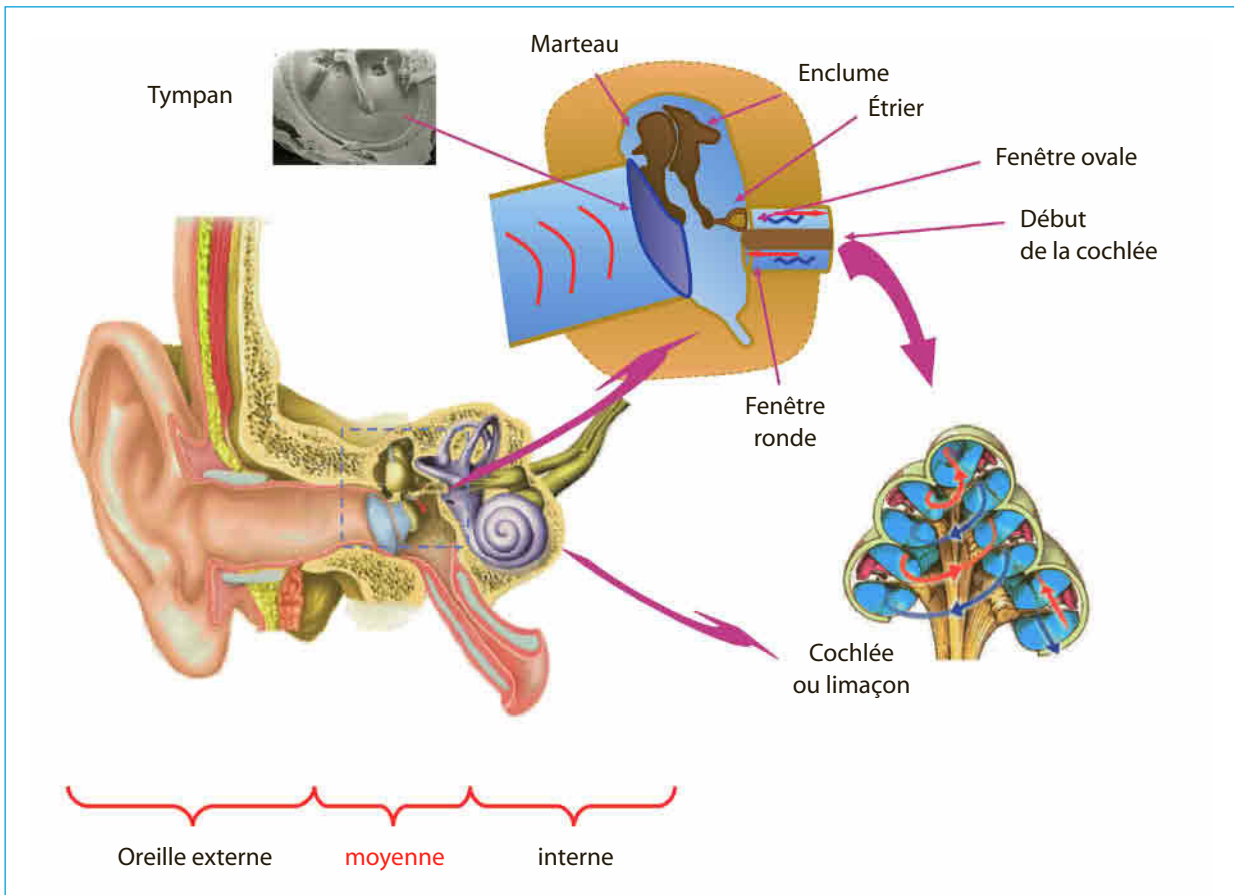


Figure 2.7 – Les trois parties de l'oreille.

L'oreille est composée de trois parties, l'oreille externe (pavillon) canalise les ondes sonores qui font vibrer le tympan ; l'oreille moyenne est composée de trois petits osselets, qui amplifient les vibrations et les communiquent à une membrane (fenêtre ovale) au départ de la cochlée (ou limaçon). C'est dans la cochlée que les vibrations sont analysées (fig. 2.8).

Pavillon : c'est l'oreille au sens commun du terme.

Limaçon ou cochlée (de cochlée : « escargot » en latin) : petite coquille en forme d'escargot (de mer) qui constitue l'oreille interne et renferme l'organe nerveux de l'audition.

L'organe de l'audition est connu de tous : c'est l'oreille. Mais celle-ci est composée de trois parties et la partie la plus visible n'est pas la plus utile :

- *L'oreille externe* (le pavillon, **Figure 2.7**) qui fait converger les ondes sonores au niveau du tympan, membrane qui vibre en fonction de la pression des molécules de l'air (= son).
- *L'oreille moyenne* est formée de trois petits os, marteau, enclume et étrier, qui s'emboîtent de manière à amplifier les résonances du tympan.
- *L'oreille interne* est composée d'un os creux appelé « limaçon » ou « cochlée » (prononcer « coclé » ; de *cochlée* = « limaçon, escargot » en latin ; **Figure 2.8**) en raison de sa forme de coquille d'escargot et qui renferme l'organe nerveux responsable des sensations auditives.

2. À l'intérieur de la cochlée : l'organe de Corti

L'intérieur de la cochlée (Gribenski, 1964), ou limaçon, est constitué d'une paroi membraneuse tapissant l'intérieur et d'une membrane qui flotte dans le liquide interstitiel comme une algue au gré des vagues. En ondulant, la membrane (dite « tectoriale ») stimule les cils de cellules ciliées de la base de la paroi (**Figure 2.8**). Tout au long des 3,5 centimètres de la cochlée qui fait deux spires et demi, sont placées 3 500 rangées de quatre cellules ciliées (soit 14 000). Ces cellules ciliées sont les neurones récepteurs dont les potentiels bio-électriques représentent le début du signal auditif ; elles sont entourées de cellules bipolaires dont les axones forment le nerf auditif. On estime à 35 000 le nombre d'axones qui se rassemblent pour former le nerf auditif (Bonnet, 1969 ; Futura-Sciences.com).

Organe de Corti :

à l'intérieur de la cochlée ; rampe spiralée de cellules ciliées qui vibrent lorsque le liquide bouge. Les signaux nerveux déclenchés par ces vibrations sont interprétés comme des sons par le cerveau.

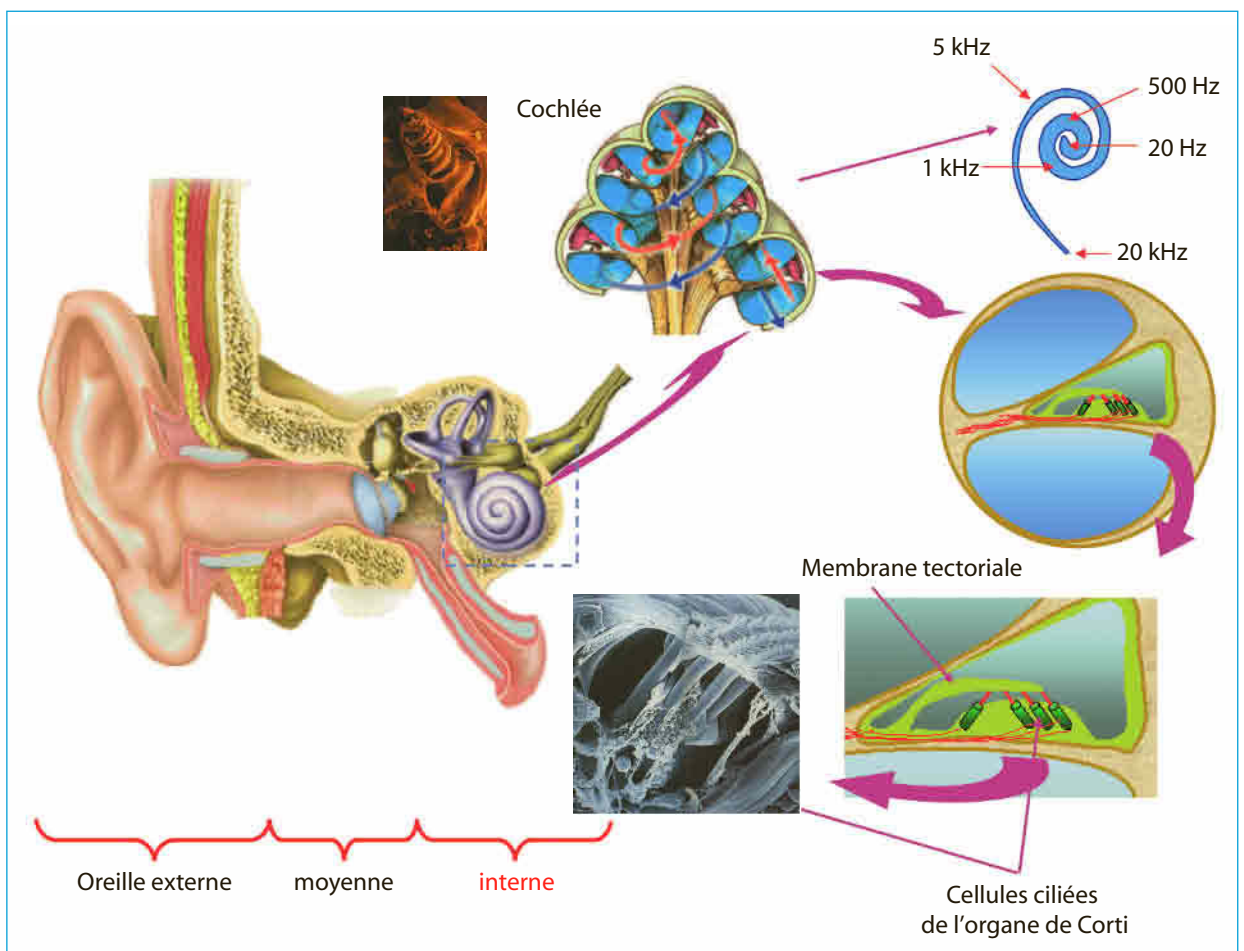


Figure 2.8 – La cochlée et l'organe de Corti.

Les vibrations communiquées (fenêtre ovale) au départ de la cochlée font bouger le liquide contenu dans le tube de la cochlée par deux « aqueducs » ; au milieu, l'organe de Corti contient des cellules ciliées (ou stéréocils) qui frottent la membrane tectoriale au gré des vagues du liquide ; l'excitation des cellules ciliées en fonction de leur position dans le limaçon, produit les sensations auditives, aiguës au départ de la cochlée, graves au plus haut (apex) (photo Inserm, Futura-Sciences.com)

Le physiologiste hongrois Georg von Békésy (prix Nobel de médecine en 1961) observa les ondulations de la membrane sur de véritables limaçons percés de petites fenêtres. Il montra que le sommet des ondulations est près de l'étrier pour les fréquences hautes (sons aigus) et de plus en plus loin vers le sommet du limaçon pour les sons de basse fréquence (sons graves) (von Békésy, 1957).

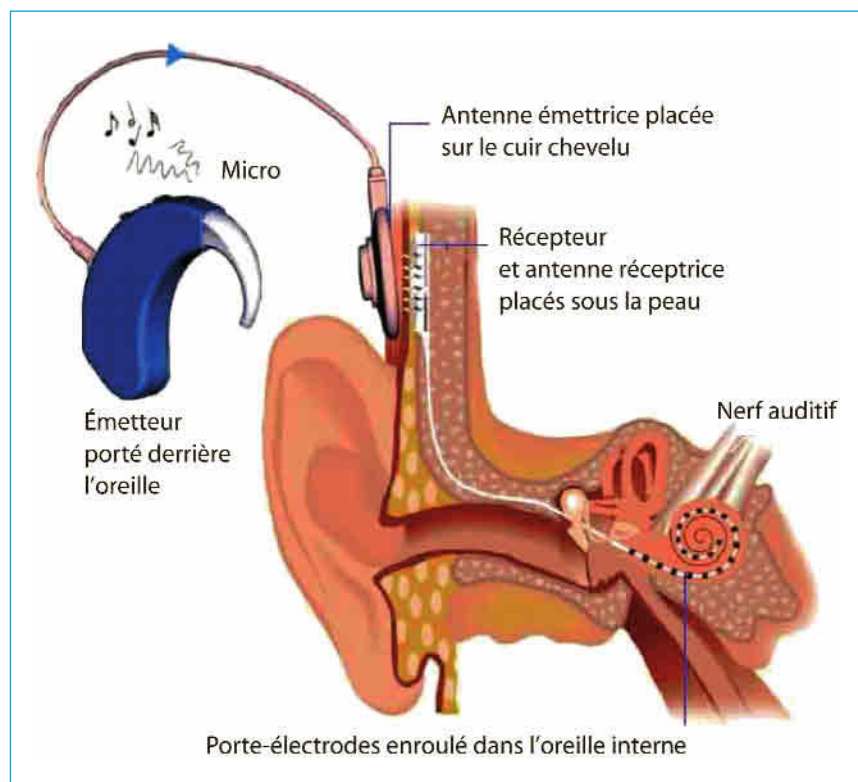
De L'Homme qui valait 3 milliards à l'implant cochléaire

À la suite de la vogue de la cybernétique (chap. 1), des séries télévisées mettaient en scène des héros dont les organes étaient remplacés par des prothèses électroniques les rendant surpuissants, c'était *L'Homme qui valait 3 milliards* ou *Super Jaimie*.

Certains pensent que prendre l'informatique ou l'électronique pour expliquer les mécanismes humains, n'est qu'une métaphore, une analogie. D'autres chercheurs et ingénieurs pensent qu'il y a de grandes similitudes de fonctionnement qui permettent de réelles interactions hommes-machines. Cette idée fondatrice de la cybernétique a fait ses preuves en de multiples occasions, l'implant cochléaire en est un exemple spectaculaire.

Dans certaines surdités totales, liées par exemple à l'absence de nerfs auditifs, on peut planter une « guirlande » d'électrodes miniatures à l'intérieur du limaçon, stimulées par une antenne placée sous la peau et en liaison avec un microphone placé derrière l'oreille. « Théoriquement, si le nerf n'était pas endommagé, il suffirait, pour obtenir une audition normale, de découper l'information sonore préalablement transformée en signaux électriques en autant de bandes de fréquences qu'il y a de fibres nerveuses, qu'on injecterait ensuite sur chacune des zones du clavier cochléaire. Mais ceci est impossible, ne serait-ce que parce que le nerf normal contient plus de quarante mille fibres. L'expérience acquise par les télécommunications montre cependant que la parole peut être correctement transmise en découpant l'information en seulement douze bandes de fréquences, pourvu que celles-ci soient bien individualisées. Le nombre d'électrodes mis en place est donc important, mais il est aussi important que chacune d'entre elles donne au patient une sensation fréquentielle différente. »

Après l'opération, les terminaisons nerveuses poussent autour des électrodes et recueillent des potentiels électriques distincts selon leur emplacement dans le limaçon, et que le cerveau apprend à décoder comme des sons de hauteurs variés ; après des apprentissages plus ou moins longs, les sujets mêmes sourds de naissance peuvent entendre la musique et les paroles...

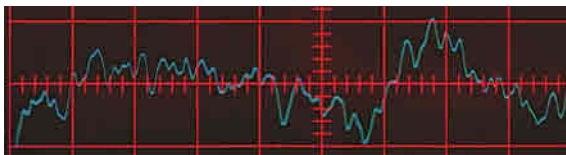
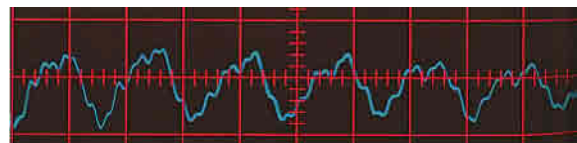
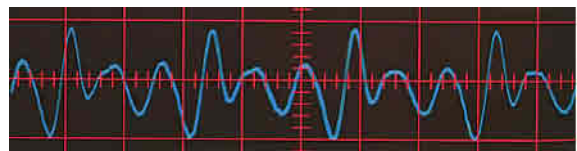


3. Psychophysique de l'audition et de la musique

Sur le plan physique, l'onde sonore est la pression des molécules d'un milieu élastique, l'air (l'eau pour les poissons) et dans ce cas se déplace à la vitesse de 340 mètres par seconde, soit 1 200 kilomètres/heure le fameux mur du son. Certains phénomènes sont liés à cette pression (rupture du tympan) mais les neurorécepteurs de l'audition (les cellules ciliées de la cochlée) ne sont pas stimulés par des pressions mais par des ondulations et c'est probablement là l'origine de la danse, c'est-à-dire notre tendance irrésistible à associer des mouvements ondulatoires aux sons.



Quelles sont les trois principales parties de l'oreille ?



Marco Van den Hout

Figure 2.9 – Un son musical est une vibration qui se reproduit de cycle en cycle. Certains instruments, comme la trompette, produisent des vibrations simples tandis que d'autres, violon et piano, produisent des vibrations complexes, riches. À l'inverse, un bruit est une vibration qui n'est pas régulière, comme les tambours ; ils sont donc utilisés en sons rythmiques et non comme sons continus (adapté de Stevens et Warshofsky, 1973).

Physiquement, le son s'analyse comme une onde complexe périodique (qui se reproduit avec la même forme, fig. 2.9) ; lorsque l'onde n'est pas régulière, périodique, elle est perçue comme un bruit. Cette onde complexe s'analyse selon trois paramètres physiques qui correspondent à trois catégories de sensations auditives :

■ *intensité* : la force du son (pression) ;

■ *fréquence* : la fréquence est le nombre de vibrations par seconde ; elle est perçue comme la hauteur, tonalité ou fréquence (influence de la Hi-fi). Les hautes fréquences (beaucoup de vibrations ou de « vagues ») sont perçues comme des sons aigus tandis que les basses fréquences sont entendues comme des graves ;

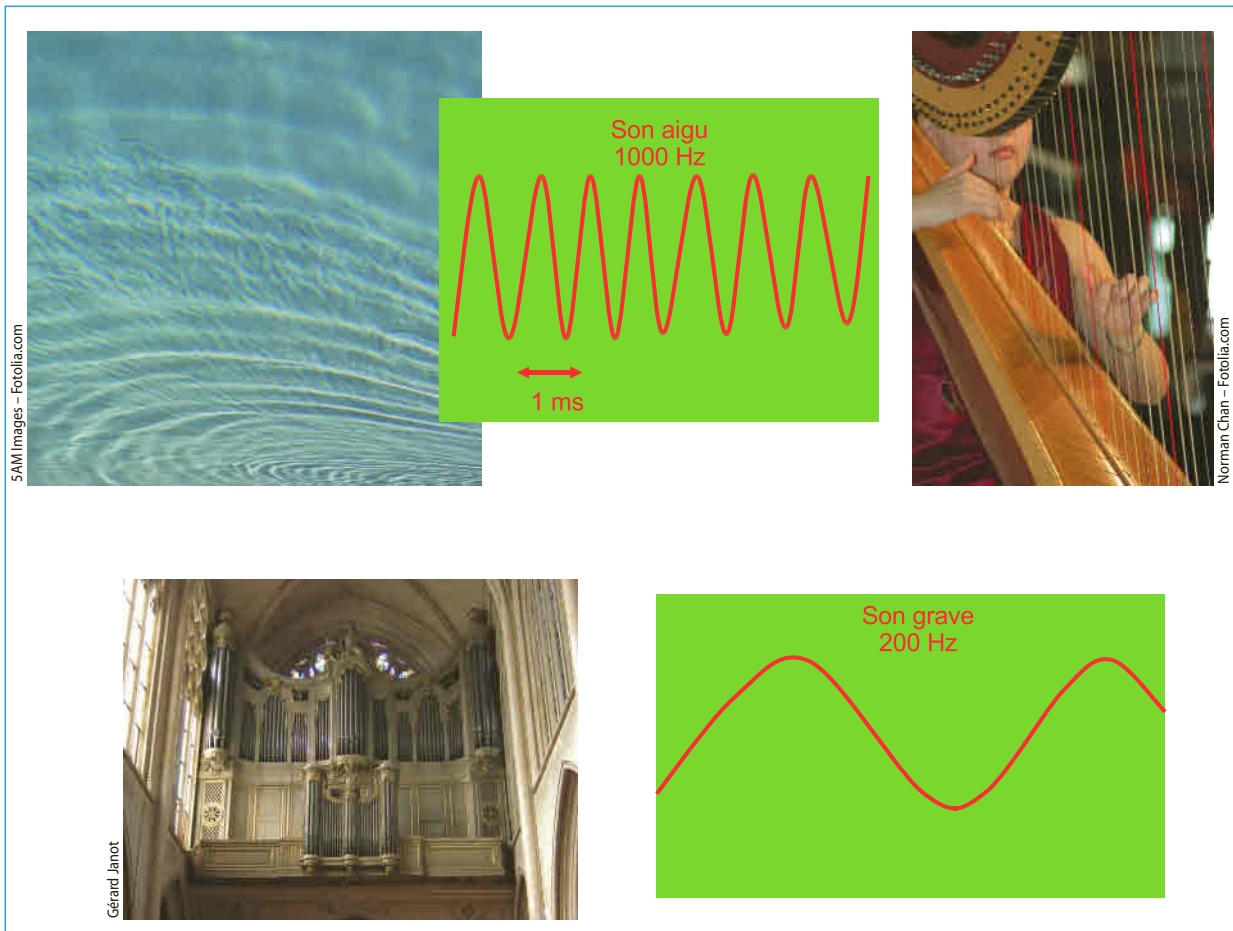


Figure 2.10 – Les hautes fréquences (beaucoup de vibrations ou de « vagues ») sont perçues comme des sons aigus, comme la harpe, tandis que les basses fréquences sont entendues comme des graves, comme l'orgue.

■ *timbre* : c'est la perception de la complexité de l'onde ; en effet, une onde sonore (par exemple visualisée sur un écran vidéo) est le produit de plusieurs ondes sinusoïdales simples qu'on appelle en musique les harmoniques ; la spécificité des harmoniques fait la « personnalité » d'un instrument de musique et nous fait percevoir différemment une note identique jouée sur un violon ou par une trompette.

En psychophysique, physiologistes, psychologues expérimentalistes et acousticiens essaient de mesurer les propriétés des sensations auditives.

La fréquence

Les limites moyennes perceptibles vont approximativement de 20 Hz (hertz = nombre de vibrations par seconde) pour les sons très graves de l'orgue, à 20 000 Hz, pour les sons les plus aigus. Voici quelques exemples :

- *voix humaine* : voix d'homme : 100 Hz à 200 Hz ; de femme 150 Hz à 300 Hz ; d'enfant : 200 Hz à 400 Hz ; cependant tout dépend des voyelles, le *o* est environ à 150 Hz tandis que le *i* monte jusqu'à 2 500 Hz ; une chanteuse d'opéra à 80 Hz à 1 150 Hz ;
- *piano* : 27 Hz à 4 150 Hz ;
- *flûte très aiguë* : 4 550 Hz ;
- *orgue* : 16 Hz à 16 700 Hz.

Dans le règne animal, nos performances sont très bonnes et nous ne sommes dépassés que par quelques animaux ; par exemple les chauves-souris entendent, selon leur espèce, jusqu'à 50 kHz et 100 kHz (100 000 Hz). Quant au dauphin, il perçoit des sons jusqu'à 150 kHz (= 150 000 Hz) : s'il appréciait l'opéra, il trouverait que les sopranos ont la voix très grave...

L'intensité

Comme il est compliqué de mesurer le son par la pression sur le tympan, les ingénieurs du son ont imaginé une échelle basée sur la théorie de Fechner, le fondateur de la psychophysique. Fechner pensait que la sensation augmente de moins en moins vite au fur et à mesure que la stimulation physique augmente (loi du logarithme). De fait, les pressions sonores augmentent infiniment plus que notre capacité de perception. Ainsi, le seuil auditif correspond à une pression sonore de 10^{-16} Watt par cm^2 (1 divisé par 1 suivi de 16 zéros soit 1 dix millionième de milliardième) alors que le maximum supportable, ou seuil de douleur, correspond à 10^{-6} W/ cm^2 (1 millionième). Au total, entre le seuil et la douleur, il y a multiplication par 10 zéros (dix milliards).

Or entre le silence de la campagne et un concert de Johnny Halliday, nous n'avons pas l'impression que le son a été multiplié dix milliards de fois ; l'idée des acousticiens (Fletcher) est donc d'ajouter 10 déciBels (en l'honneur d'un des inventeurs du téléphone, Graham Bell) chaque fois que la pression est multipliée par 10 (**Figure 2.10**). L'échelle de l'intensité sonore varie donc de 0 décibel (ou dB) pour la pression sonore la plus basse (10^{-16} watt/ cm^2) jusqu'à 100 décibels pour la pression sonore la plus forte (10^{-6} watt/ cm^2). Attention, le son peut être encore plus fort et dépasser les 100 décibels, le seuil de douleur étant en moyenne de 120 dB.

Fréquence : nombre de vibrations par seconde (mesurée en hertz ou Hz). Les hautes fréquences (beaucoup de vibrations par seconde) sont ressenties comme aiguës et les basses fréquences sont perçues comme des graves.

Intensité : force du son ; physiquement, c'est une pression, d'où les dégâts provoqués par des sons trop forts. L'intensité est mesurée en décibels (ou dB).

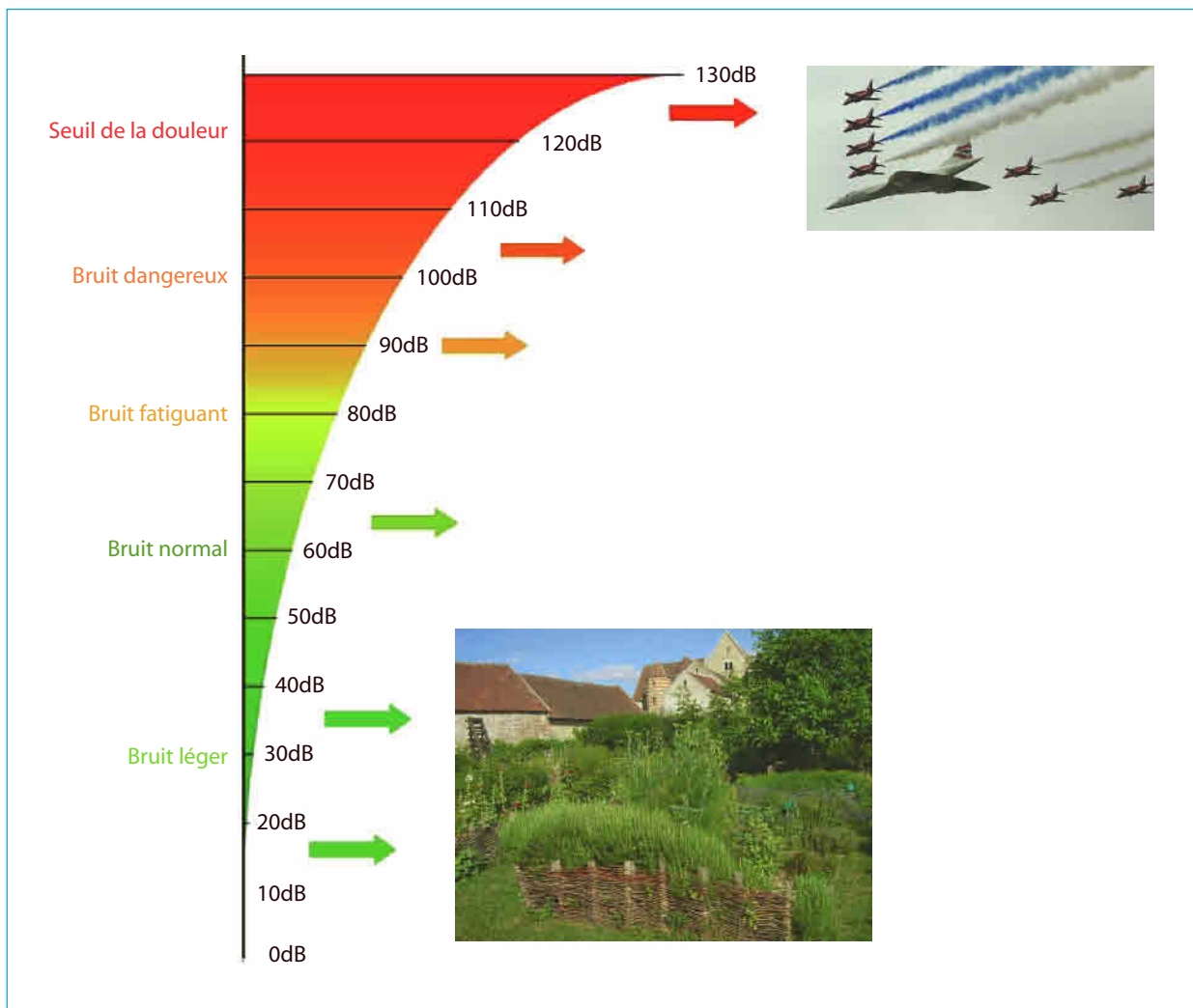


Figure 2.11 – L'échelle des décibels.

Les sons jusqu'à 50 dB (un lave-linge silencieux) sont peu élevés mais à partir de 80 dB deviennent fatigants ou gênants (rue ou restaurant bruyants). C'est le signe d'une pression trop forte sur les organes auditifs qui risquent d'être endommagés au-dessus de 100 dB (encart « Les concerts qui rendent sourds », p. 54) (d'après <http://codafi/free.fr>, www.finistere.equipement.gouv.fr et autres sources).

Une application très intéressante est l'audiogramme (**Figure 2.12**). La mesure de l'intensité sonore moyenne montre que le seuil auditif (la plus petite intensité perceptible) n'est que de quelques décibels pour les fréquences médium, comme la voix humaine, alors qu'il faut mettre le son très fort, proche de 100 décibels, pour entendre les fréquences extrêmes. C'est à cause de cette caractéristique de notre audition, que nous écoutons la musique très fort, afin de bien entendre les aigus et les graves, mais c'est une pratique dangereuse (cf. encadré p. 54).

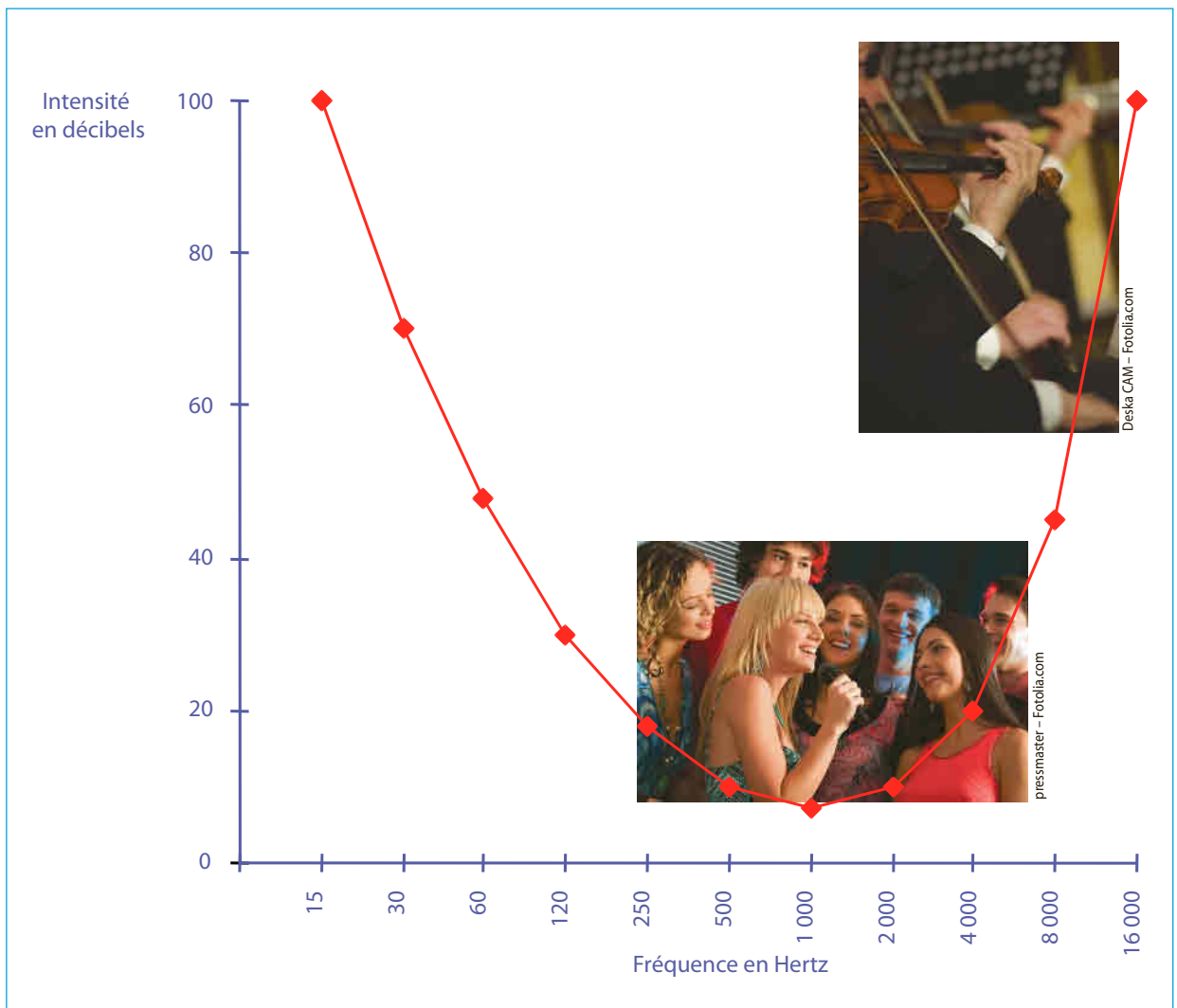


Figure 2.12 – Audiogramme.

La flûte donne un son aigu, le basson un son grave tandis que la voix se situe dans les 100 à 400 Hz. L'audiogramme révèle que la sensibilité auditive est plus grande (seuil plus bas) pour les fréquences médium de la voix (Matras, 1961 et autres sources) ; à l'inverse, il faut mettre plus fort pour entendre les sons extrêmes, graves (15 Hz à 100 Hz) ou aigus (8 000 ou 16 000 Hz).

Le timbre

Le timbre est la perception de la complexité d'une onde sonore. Depuis le mathématicien Joseph Fourier, on sait que l'on peut décomposer toute onde périodique complexe en une série d'ondes simples (= sinusoïde). La plus forte est la fondamentale et les autres sont les harmoniques (**Figure 2.13**). Les pythagoriciens avaient déjà découvert en faisant vibrer des cordes que les sons harmonieux correspondent à des longueurs de cordes dont les rapports sont des nombres entiers. On sait maintenant que la perception d'un son harmonieux correspond à des concordances de phase (les ondes coïncident à certains moments à l'amplitude nulle). Ce phénomène a trouvé deux grandes applications en musique, l'octave et les accords :

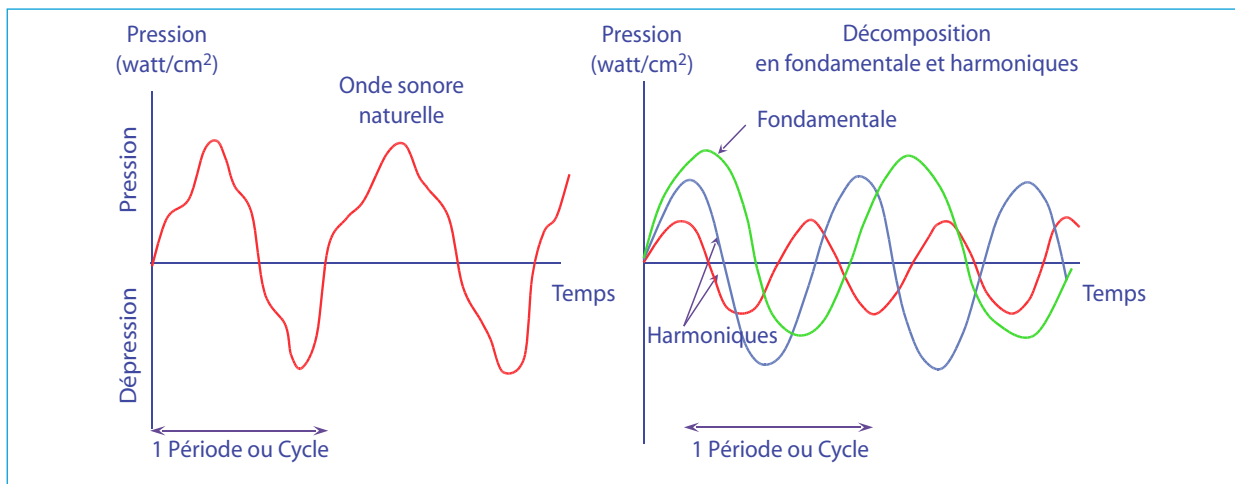


Figure 2.13 – Une onde complexe est l'addition de plusieurs ondes simples (sinusoïdes) de différentes longueurs d'onde ; la plus forte est la fondamentale, les autres, les harmoniques, donnent la personnalité de l'instrument. C'est ainsi que nous reconnaissons si la même note est jouée par un violon, une flûte, une trompette ou un basson.

- *l'octave* : les DO, du plus grave (16 Hz) au plus aigu (16 700 Hz), correspondent approximativement à un doublement de la fréquence à chaque octave, de même pour le LA et les autres notes ;
- *l'accord* : en ce qui concerne les autres notes de la gamme musicale, on s'aperçoit que la première harmonique est la fréquence de la douzième note au-dessus de la note du son fondamental et la deuxième harmonique est la 17^e note au-dessus : par exemple pour un do, la 12^e est un sol et la 17^e est un mi, les trois notes jouées ensemble forment un son agréable, c'est le principe de l'accord parfait.

Les concerts qui rendent sourds...

Le seuil de douleur est par convention d'environ 120 décibels. Or, dans la vie courante, de nombreux bruits sont très intenses.

Il faut toujours se rappeler que l'intensité sonore provient de la pression des molécules de l'air, de sorte qu'une intensité excessive peut détruire les éléments fragiles de la cochlée ; des expériences montrent que des cobayes soumis à des sons de 130 décibels pendant vingt minutes subissent des détériorations définitives de la cochlée : les membranes de celle-ci se cognent et détruisent les neurorécepteurs ciliés de l'organe de Corti, ce qui entraîne la surdité définitive.

Des enquêtes dans différents pays, révèlent que de plus en plus de jeunes gens ont des surdités du fait des habitudes modernes d'écoute à de fortes intensités, les baladeurs (80 à 110 dB), les concerts rock (100 à 115 dB), etc. ; la mesure de l'audiogramme des recrues en Norvège a montré que le pourcentage de jeunes ayant des pertes auditives pour les aigus était passé de 18 % à 35 % de 1981 à 1987 (Rabinowitz, 1992) : les aigus correspondent en effet aux stimulations du début de la cochlée, là où le son est le plus fort (puisque l'énergie va s'épuiser le long du limaçon). Une recherche française (MGEN, octobre 1995) sur plus de deux mille lycéens en 1994 a montré un déficit moyen de 10 décibels dans les aigus. Une enquête de 2006 révèle que 37 % des 15-19 ans auraient des troubles auditifs (www.lpsos/JNA/AG2R). Faire un audiogramme est donc une nécessité pour ceux qui subissent professionnellement des sons intenses, bruit ou musique, car ils risquent de devenir sourds mais aussi pour les jeunes « techno-boys »



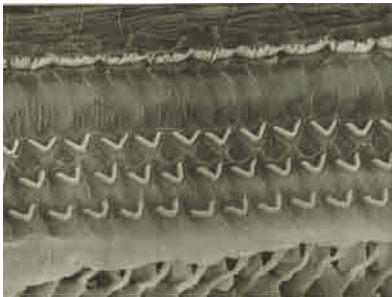


qui aiment écouter les derniers hits à plein tube. Attention, comparées à nos 10 millions de cellules olfactives ou 120 millions de cellules visuelles, nous n'avons que 14 000 cellules ciliées dans l'organe de Corti ; préservons-les...

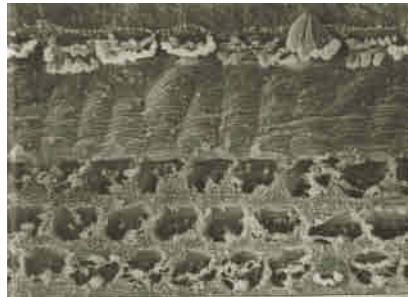
Www.

www.audition-info.org

Rangées de cellules ciliées



Cellules ciliées détruites par un bruit de 132 dB



V. L'ÉQUILIBRE... DES CRISTAUX DANS LA TÊTE !

L'équilibre, qui n'est pas compté, à tort, dans les cinq sens est basé lui aussi sur des récepteurs qui sont situés dans l'oreille interne. Son fonctionnement est similaire à celui de l'audition puisque lié à l'excitation de cellules ciliées dans des cavités situées dans le vestibule, au-dessus du limaçon

Otolithe (*oto* = « oreille » et *lithos* = « pierre » en grec) ; **otoconies** chez les Américains : cristaux de calcite (calcaire cristallisé) dont le poids fait pencher les cellules ciliées, déclenchant ainsi le signal bioélectrique.

Ampoule : évasement à l'entrée des canaux semi-circulaires contenant des cellules ciliées qui bougent avec le mouvement.

Canaux semi-circulaires : canaux remplis de liquide (endolymphe), responsables de l'équilibre dynamique.

Sacculé et Utricule : deux petits sacs contenant des cellules ciliées dans une gélatine recouverte d'otolithes, qui bougent avec le poids. Le sacculé informe plutôt sur les mouvements verticaux et l'utricule sur les mouvements horizontaux.

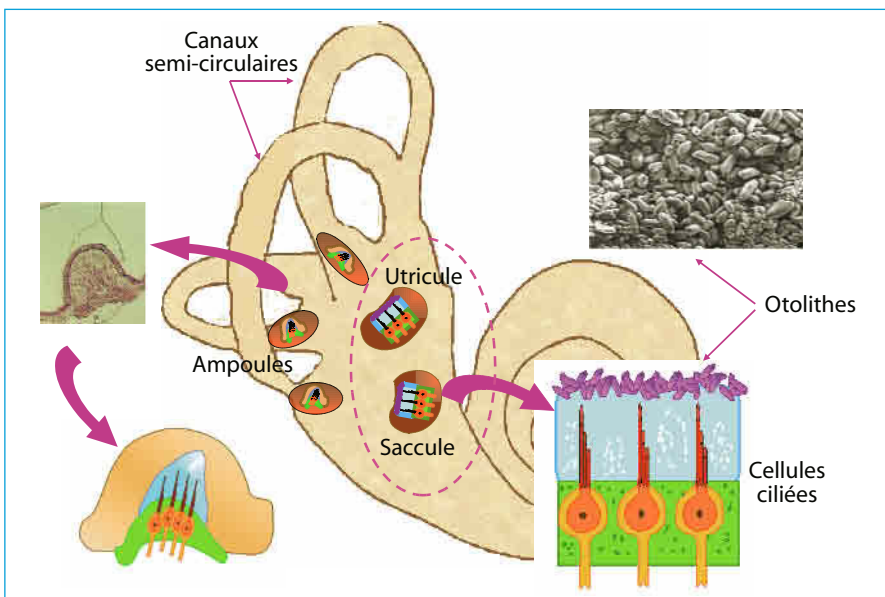
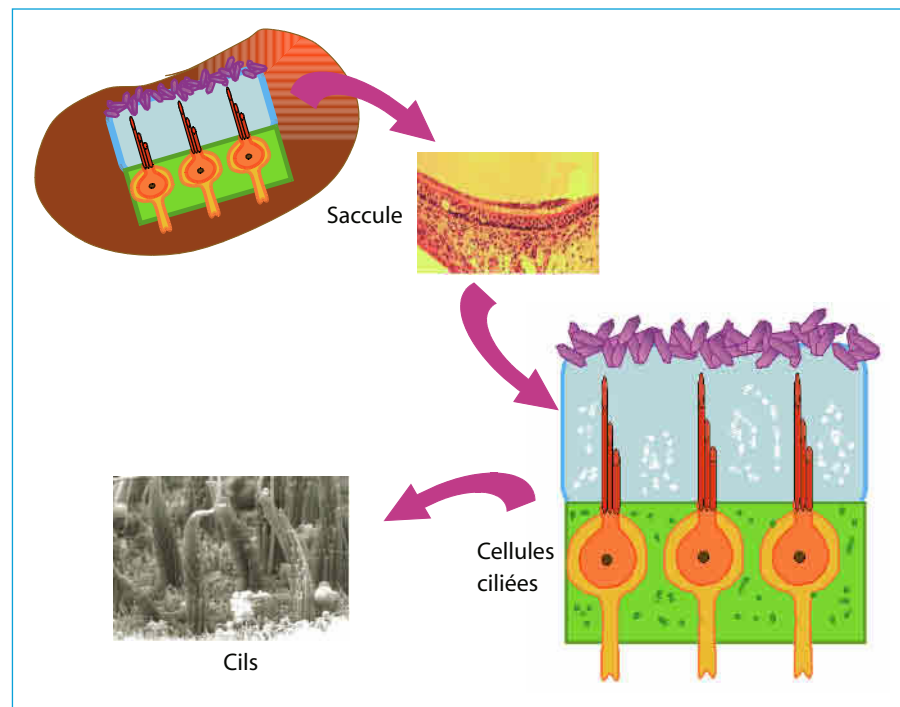


Figure 2.14 – Les organes de l'équilibre.

L'équilibre est permis par le système vestibulaire : l'équilibre statique est permis par deux petits « sacs », le sacculé et l'utricule contenant des grains de calcaires (otolithes) qui excitent les cils de cellules ciliées. L'équilibre dynamique est produit par les canaux semi-circulaires dont le liquide interne fait bouger des cellules ciliées contenues dans l'ampoule, à chaque base.

(Figure 2.14) : l'utricule et le saccule pour un système statique et trois canaux semi-circulaires pour les sensations de déplacement (sensation de tournis dans la valse, montagnes russes, etc.).

Le saccule et l'utricule contiennent des cellules ciliées dont les cils sont englués dans une gélatine contenant à sa surface les otolithes, petits cristaux de calcaire. Le poids des otolithes, quand on penche la tête ou que notre corps subit une accélération (en voiture, en avion) fait bouger les cils des cellules ciliées, ce qui déclenche un signal bioélectrique. La taille des cils des cellules ciliées est telle que certains chercheurs l'ont comparée à la tour Eiffel qui bougerait sur sa base, exerçant une force énorme ; un infime déplacement suscite donc une sensation de mouvement et voilà pourquoi beaucoup ont le mal des transports ou ne peuvent monter dans un manège.



VI. PERCEPTION EXTRA-SENSORIELLE, TÉLÉKINÉSIE... LES POUVOIRS PARANORMAUX EXISTENT-ILS ?

1. Ectoplasmes, télékinésie... les illusions du spiritisme

L'enthousiasme spirite de la fin du XIX^e et début XX^e siècle va permettre la création de l'institut psychique international, pour l'étude scientifique des phénomènes paranormaux ; on y recevait tout médium prétendant avoir des pouvoirs. Ainsi en était-il par exemple de la télékinésie ou transport à distance des objets, qui se faisait en réalité par des fils presque invi-

sibles. Un thème à la mode était celui des ectoplasmes, qui n'évoquent plus pour nous qu'un juron du capitaine Haddock dans les albums de Tintin et Milou. Les ectoplasmes étaient des formes émises par les médiums en transe et qui étaient censés être une matérialisation des esprits. Mais l'observation rigoureuse révéla que l'ectoplasme se trouvait être du coton humide ou une matière équivalente....

2. La démystification de la parapsychologie

Parfois, cependant les mécanismes sont psychologiques mais du domaine de la normalité : certains tours de magie utilisent des illusions perceptives (une caisse apparaît rectangulaire alors qu'elle est trapézoïdale et contient un double fond). Mais le plus souvent, la parapsychologie est du domaine de la magie ou de l'escroquerie. Lorsqu'il s'agit de supercherie, les meilleurs démystificateurs du paranormal sont de nos jours des prestidigitateurs comme l'Américain James Randi, travaillant comme expert pour des revues scientifiques (*Science* ou *Nature*) ou des scientifiques spécialisés comme le physicien Henri Broch, de l'université de Nice, qui s'est spécialisé dans la démystification des phénomènes paranormaux (Broch, 2005).

Quelques tours dévoilés :

- **Télékinésie** : en France, le prestidigitateur Gérard Majax contribua à montrer les supercheries des tours de Uri Geller (qui prétendait tordre à distance des objets métalliques) avant qu'on ne découvre que ce soi-disant médium était lui-même prestidigitateur. Même savants, on se fait facilement berner par des professionnels, et il faut des spécialistes pour être capable de démystifier des supercheries.
- **Quand la télépathie trouve sa longueur d'onde** : des journalistes américains ont découvert grâce à un récepteur radio qu'un prédicateur « écoutait » tout simplement les informations familiales sur les disciples qui se présentaient ; grâce à un capteur discrètement placé dans l'oreille, le prétendu médium écoutait les informations dictées par un complice et recueillies par un « détective ». N'oublions pas qu'avec les technologies actuelles, certains vont jusqu'à se faire implanter des dispositifs électroniques pour détecter des cartes marquées renvoyant de l'ultra-violet.
- **La divination des numéros gagnants** : l'escroc qui prétend gagner au loto (ou au tiercé) grâce à sa médaille miraculeuse, a en fait racheté (plus cher) des billets gagnants à plusieurs joueurs et peut ainsi faire contrôler devant huissier qu'il a bien plusieurs billets gagnants.
- **La téléportation** : quant à la téléportation (comme dans *Star Trek*) de la jolie assistante d'un endroit de la scène à un autre, celle qui réapparaît n'est que la sœur jumelle de la première...

Harry Potter, *Buffy et les vampires*, *Charmed*, *X-Files*, *Heroes*..., les séries (notamment américaines) montrent l'engouement intemporel pour les pouvoirs mystérieux. Mais ces pouvoirs sont du domaine de la fiction comme ceux de Superman et de Spiderman et ne font plus partie de la psychologie scientifique. La parapsychologie, nom actuel du spiritisme, n'a rien à voir avec la psychologie sauf lorsqu'il s'agit de psychopathologie ou psychiatrie (hallucinations).



Y. Andrianto - Fotolia.com

La parapsychologie est de l'escroquerie. Les meilleurs démystificateurs sont des prestidigitateurs, connaissant les tours de magie.

Parapsychologie : nouveau nom du spiritisme depuis son discrédit début du xx^e : étude des manifestations des esprits dans notre monde.

Télépathie : communication par la pensée, supposée se produire sans contact avec l'autre personne.

Télékinésie : action sur des objets, supposée se produire par la pensée.

Ectoplasme : les médiums prétendaient faire apparaître les esprits sous des formes cotonneuses ou fantomatiques.

Pour plus d'informations

CHARPAK G., BROCH H. (2002). *Devenez sorciers, devenez savants*, Paris, Odile Jacob.

PAROT F. (1994). « Le bannissement des esprits : naissance d'une frontière institutionnelle entre spiritisme et psychologie », *Revue de synthèse*, n° 3-4, 417-443.

« Pourquoi-Comment », dossier *Paranormal*, émission télévisée, FR3 présentée par Sylvain Augier, MIP, mai 2000.

Les plus grands secrets de la magie... enfin révélés, émission télévisée TF6, présentée par Denis Brogniart, Les Productions du Labrador, octobre 2005.

Www.

Site internet « zététique »
démystifiant un certain
nombre de croyances ou
supercherie : www.zetetique.ldh.org/

3. Les pouvoirs spéciaux de nos cousins les animaux

Très souvent nos cousins les animaux ont les mêmes sens que nous (en fait, c'est nous, derniers arrivants dans l'évolution, qui avons hérité de leurs sens) mais leur sensibilité peut être démultipliée par un plus grand nombre de récepteurs (le chien berger a dix fois plus de cellules olfactives) ou par des accessoires. Ainsi, autour du nez du chat et des fauves, se trouvent de grandes moustaches, les vibrisses, qui agissent comme des leviers sur les mécanorécepteurs : le simple déplacement d'air d'une souris qui passe suffit à alerter sa majesté le chat...

Parfois, les animaux ont des sens spéciaux, comme l'écholocation des chauves-souris et des dauphins ; voici quelques exemples plus curieux.

EXEMPLES

Le sens électrique des requins : un des sens le plus étonnant est la détection de petits signaux électriques (de l'ordre du nanovolts, milliardième de volt) par les requins. Ce sens est permis par des capteurs spéciaux appelés « ampoules de Lorenzini » et qui sont sous son museau par centaines, au fond de petits trous qui sont visibles sur de bonnes photos. D'ailleurs, ce sens donne la clé de la morphologie si particulière du requin-marteau dont on se demande comment il peut voir avec ses yeux si excentrés ; les recherches modernes (document télévisé, *Les Requins marteaux*, France 5, août 2007) indiquent qu'au contraire cet aplatissement et cet allongement du museau servent à augmenter

Requin-marteau.



la surface de détection et le nombre d'ampoules de Lorenzini ; ainsi le requin-marteau détecte plus facilement des champs électriques émis par des petits poissons cachés sous le sable. C'est pourquoi le requin-marteau a cette forme de « détecteur de métaux ».

La perception des infrarouges par le crotale : si les serpents sortent toujours la langue, c'est que leur odorat est vraiment spécial ; ils ont

sur la voûte de leur bouche un dispositif olfactif, l'organe de Jacobson ; leur langue prélève des molécules odorantes et les pose sur cet organe, leur donnant ainsi une trace olfactive précise.