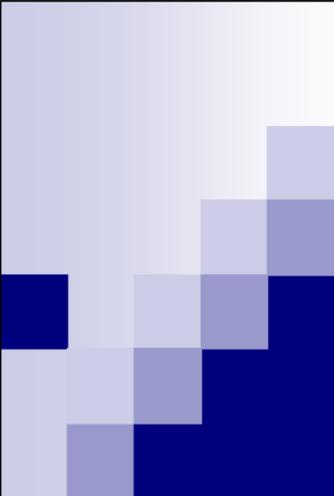


Ce document est réservé aux étudiants inscrits en 3^{ème} année de licence en Informatique à l'université Paris-Saclay. Toute copie ou diffusion est interdite sans l'autorisation de l'auteur.

Interfaces Interactives Avancées

Ouriel Grynszpan
Professeur, Université Paris-Saclay
LISN www.lisn.upsaclay.fr



Systemes sensoriels

Registres sensoriels

- Vision ← Stimulés par les IHM
- Ouïe ←
- Odorat
- Goût
- Toucher ←
- Proprioception ←

3

La vision est le sens dominant chez l'homme, suivi par l'ouïe et le toucher. Les IHMs stimulent principalement les registres sensoriels de la vision, l'ouïe, le toucher et la proprioception, bien qu'il existe des interfaces produisant des odeurs (comme les diffuseurs en RV) ou émettant des courants électriques de faibles intensités censés stimuler la langue.

Classification de Sherrington

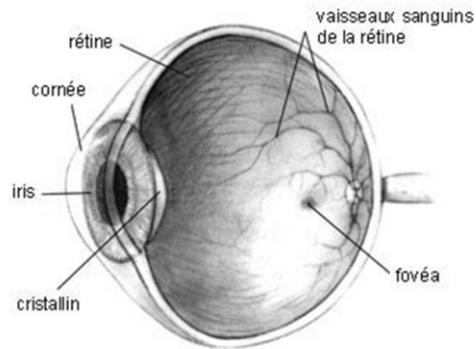
Extérocepteurs : renseignements sur le monde extérieur	Télérécepteurs : perception à distance	Récepteurs visuels
		Récepteurs auditifs
		Récepteurs olfactifs
	Récepteurs de contact	Récepteurs gustatifs
		Récepteurs cutanés du toucher
Intérocepteurs : renseignements sur notre propre organisme	Viscérocepteurs : disséminés dans les viscères	Ils nous renseignent sur les paramètres physiologiques internes
	Propriocepteurs : regroupés (oreille interne) ou disséminés (fuseaux neuromusculaires)	Ils nous renseignent sur l'état de tension des muscles, sur la position relative des différentes parties du corps, et sur la position du corps dans l'espace.

(Calas, Boulouis, Perrin, Plas, & Vanneste, 2016)

4

L'être humain est doté de plusieurs sens qui ne se limitent pas aux 5 sens classiques, c'est-à-dire la vue, l'ouïe, le goût, l'odorat, le toucher. Il existe plusieurs classifications des sens humains, dont celle de Sherrington à laquelle il est souvent fait référence.

L'œil humain



5

L'œil humain fonctionne d'une manière similaire à une caméra. La lumière y pénètre à travers la pupille et traverse une sorte de lentille, appelée cristallin, qui permet de focaliser l'image sur la rétine.

Cellules photosensibles

■ Cônes:

- Vision des couleurs
- Situés dans la fovéa



Spectre de longueurs d'ondes visible par l'homme

■ Bâtonnets:

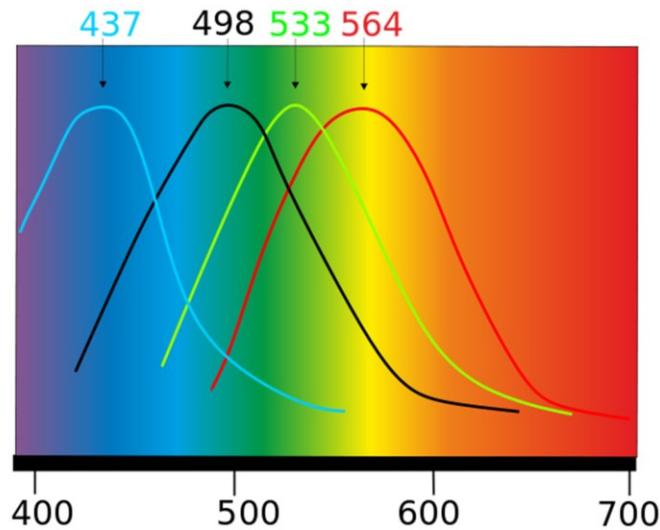
- Sensibles à la lumière
- Densité maximale en périphérie de la rétine

6

La modalité visuelle dépend des photorécepteurs dans la rétine de l'œil :

- Les bâtonnets sont sensibles à la quantité de lumière et domine la vision périphérique.
- Les cônes permettent de discriminer les couleurs et sont situés principalement dans la fovéa, qui est une région spécifique de la rétine.

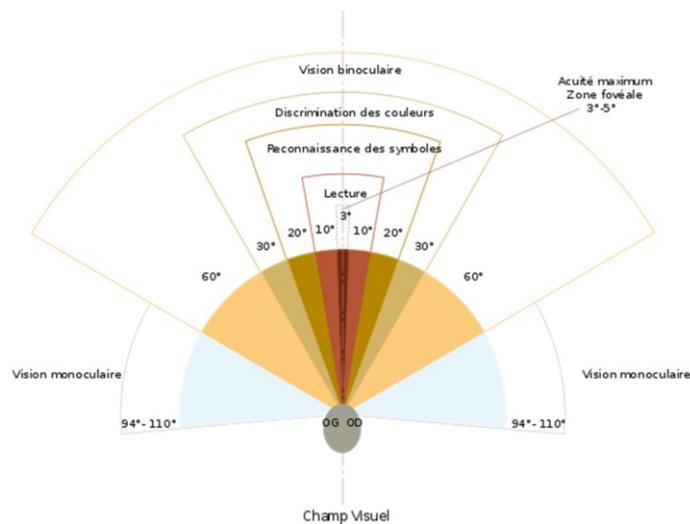
Sensibilité des cônes/bâtonnets



7

Les cônes sont appelés par le nom de la couleur à laquelle ils sont le plus sensibles (bleu, vert, et rouge). Quand nos trois sortes de cônes sont stimulés ensemble de la même manière, notre cerveau interprète cela comme étant la couleur blanche. On perçoit aussi la couleur blanche quand nos bâtonnets sont stimulés. Contrairement aux cônes, les bâtonnets de nos yeux sont capables de détecter de faibles quantités de lumière. C'est pourquoi on voit seulement le noir et le blanc dans une pièce peu éclairée, ou quand on regarde les étoiles la nuit.

Acuité visuelle

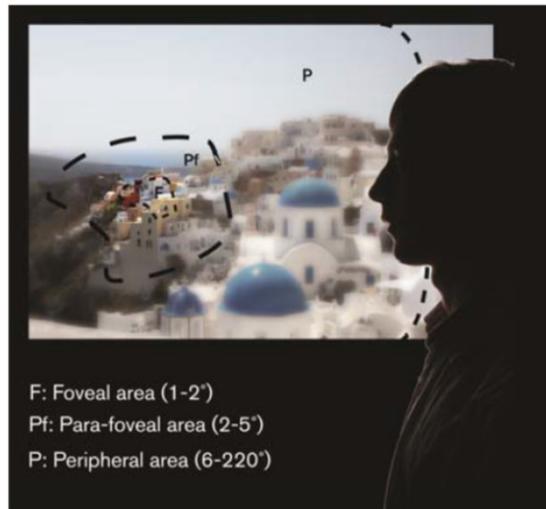


8

L'acuité visuelle dépend de la position de l'objet dans notre champ de vision. Aux extrêmes, sur les côtés, seule la vision monoculaire est possible. L'acuité est maximale sur une petite zone juste en face de nous qui correspond à la fovéa.

Vision fovéale

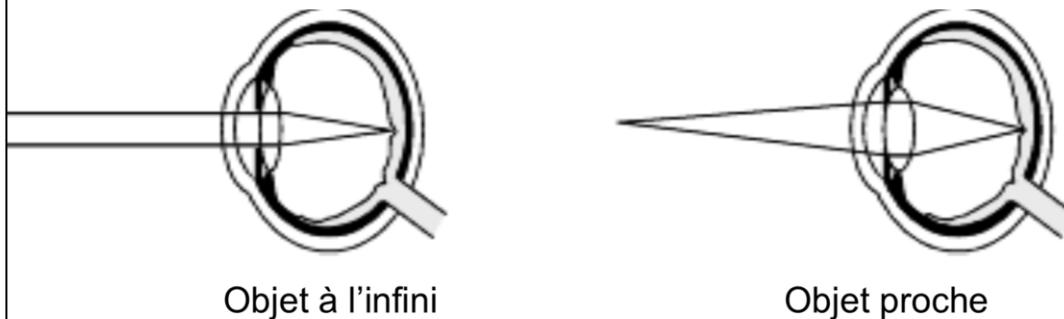
- Angle visuel de la fovéa: $\sim 3^\circ$



Tobii© White Papers, 2010

La vision distincte n'existe qu'au niveau de la fovéa (entre 3 et 5° d'angle visuel).

Accommodation

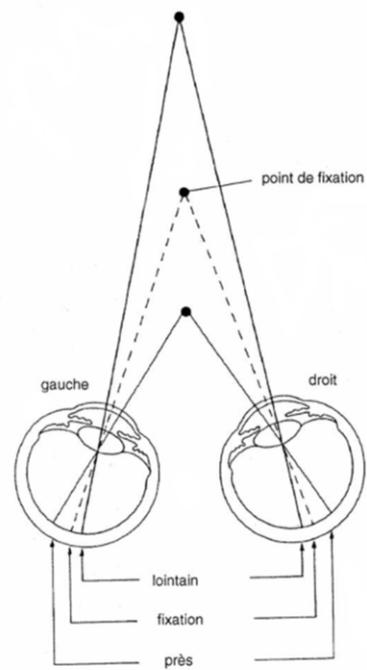


10

Nos yeux sont dotés de plusieurs systèmes musculaires. L'accommodation qui permet de changer le pouvoir de focalisation du cristallin est réalisée par le muscle ciliaire qui exerce une pression sur le cristallin pour changer son rayon de courbure.

Vergence

- Mouvement des yeux pour modifier leurs axes visuels



11

On appelle vergence les mouvements des deux yeux qui permettent de conserver une focalisation commune sur un même objet.

Myosis/mydriase

- Myosis: diminution de la pupille
- Mydriase: augmentation de la pupille



12

La quantité de lumière entrant dans l'œil est contrôlée par des mouvements appelés myosis et mydriase.

Mouvements oculaires

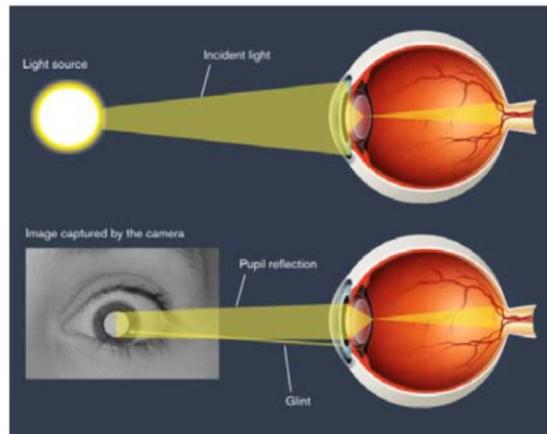
- Saccades
- Fixations
- Poursuite oculaire



Tobii© White Papers, 2010

Plutôt que de voir l'ensemble de notre environnement visuel, notre œil fixe certaines régions et notre cerveau reconstruit le paysage à partir d'informations parcellaires. Les fixations correspondent à des micromouvements de l'œil autour d'un point central. Entre deux fixations, notre œil fait des mouvements très rapides appelées saccades (vitesse > 300 deg/sec).

Eye-tracking



Tobii© White Papers, 2010

14

Il existe plusieurs technologies d'eye-tracking pour suivre la direction du regard. Une des techniques les plus courantes consiste à éclairer l'œil avec une lumière infra-rouge et à le filmer avec une caméra infra-rouge pour détecter la pupille.

Traitement visuel

- Cortex visuel
- Taille et profondeur interprétés à partir :
 - Angle de vue
 - Recouvrement entre objets
 - Familiarité des objets
- Une source lumineuse oscillante paraît stable au-dessus de 50 Hz

15

La partie du cortex responsable du traitement visuel se trouve à l'arrière du cerveau. La taille et la profondeur des objets sont perçues et interprétées à partir de l'angle de vue, du recouvrement entre objets et de la familiarité des objets. Le traitement visuel d'un objet compense les variations dues aux mouvements de son image dans la rétine lorsque la position relative entre l'objet et l'observateur change. Dans une luminescence normale, une source lumineuse oscillante paraît stable au-dessus de 50 Hz. C'est pour cela que la fréquence de rafraîchissement des écrans est supérieure à ce seuil. Des études montrent que la lecture sur un écran d'ordinateur est plus lente que sur du papier.

Reconstruction visuelle

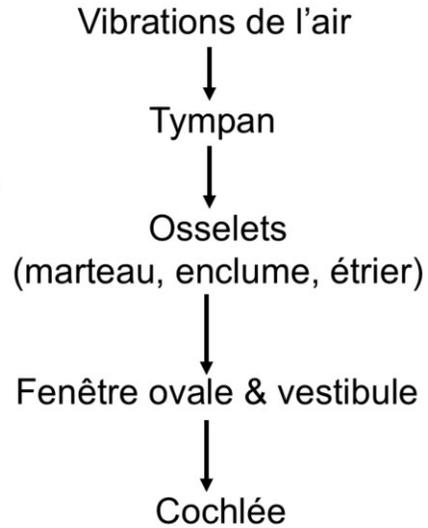
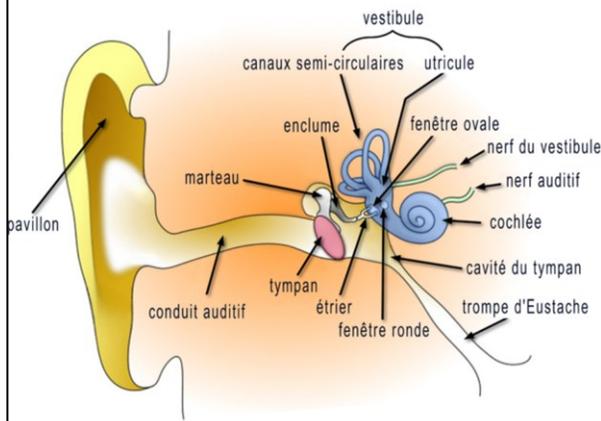


16

Reconstruction visuelle



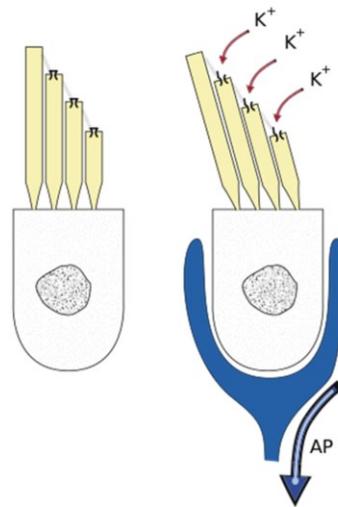
L'oreille humaine



18

Les sons correspondent à la perception des vibrations de l'air. Ces dernières entrent par le pavillon dans le conduit auditif pour faire vibrer le tympan. Le tympan transmet les vibrations à un agencement de petits os appelés les osselets (marteau, enclume, étrier). Les osselets sont connectés à la cochlée qui est stimulée par l'étrier au niveau de la fenêtre ovale. La cochlée est un organe en forme d'escargot qui est creux et rempli liquide appelé endolymphe. La cochlée est liée au vestibule qui est l'organe sensoriel de l'équilibre.

Cellules ciliées



19

Les cellules réceptives de l'audition se trouvent au niveau de la membrane à l'intérieur de la cochlée. Ces cellules s'appellent « cellules ciliées » et s'apparentent à des cellules nerveuses. En particulier, elles ne se renouvellent pas. Ces cellules possèdent une partie qui émerge dans le liquide endolymphatique. Cette partie est en forme de cils et se courbe en fonction des vibrations dans le liquide. Ses mouvements se transforment en signal électrique au niveau de la cellule ciliée. Ce signal est transmis au cerveau par le nerf auditif. Les cellules ciliées répondent préférentiellement à des fréquences données, ce qui permet de différencier les fréquences.

Traitement de l'information sonore

- Caractéristiques du son :
 - Tonalité / fréquence
 - Volume
 - Timbre
- Direction du son
 - Différence entre les 2 oreilles
 - Modifications dues aux épaules, tête et pavillon de l'oreille
- Fréquences détectées : 20Hz – 20kHz

20

Le son possède trois caractéristiques : la tonalité ou fréquence, le volume ou l'amplitude et le timbre. Le timbre est une caractéristique du son liée à sa décomposition en harmonique (le son correspond à une somme (potentiellement infinie) de fonctions sinusoïdales d'amplitudes variées, appelées harmoniques). La provenance d'un son est déduite: 1) du délai et de la différence d'intensité de l'onde entre les deux oreilles, 2) les modifications de l'onde sonore dues aux parties du corps de l'individu entre les deux oreilles (épaules, tête, pavillon de l'oreille). L'oreille humaine détecte les fréquences entre 20Hz et 20kHz. Le système auditif filtre les sons afin de distinguer l'information pertinente du bruit de fond.

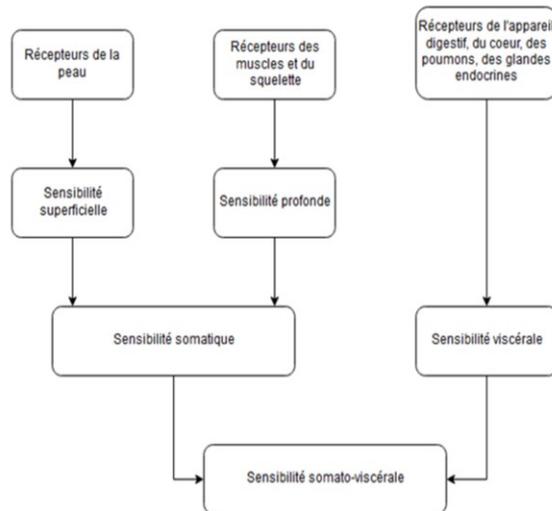
L'haptique

- Manipulation des périphériques d'entrée:
 - Souris
 - Clavier
 - Écran tactile ...
- Perception tactile
- Perception kinesthésique

21

L'haptique intervient dans la manipulation des périphériques. Par exemple, la sensation de pression sur un bouton de souris fournit un retour d'information lors d'un click.

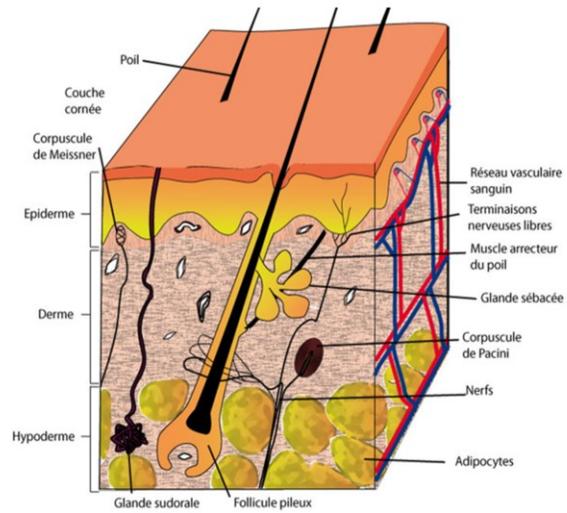
Somesthésie



22

La somesthésie correspond à la perception des stimulations des tissus du corps. Elle se divise entre récepteurs de la peau, récepteurs dans muscles/tendons, récepteurs dans les viscères.

La peau



23

La peau est composée de trois couches : l'épiderme, le derme et l'hypoderme. L'épiderme ne contient pas de récepteurs contrairement au derme et à l'hypoderme.

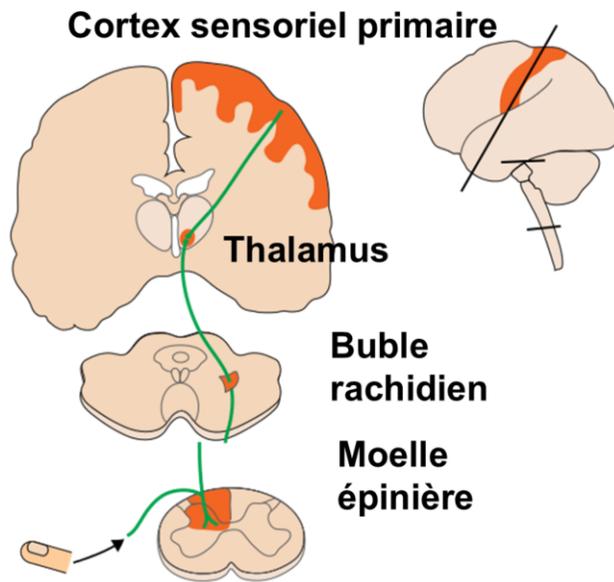
Récepteurs cutanés

- Sensibilité:
 - Pression, température, douleur
- Thermorécepteurs → chaleur
- Nocicepteurs → pression, douleur
- Mécanorécepteurs → pression, vibration

24

La peau contient trois types de récepteurs : les thermorécepteurs sensibles à la chaleur, les nocicepteurs sensibles à d'intenses pressions ou douleurs et les mécanorécepteurs sensibles à la pression. Ces derniers sont les plus intéressants dans le cadre des interfaces humain-machine. Ils existent sous deux formes : les mécanorécepteurs adaptatifs rapides qui réagissent aux pressions immédiates, et les lents qui réagissent aux pressions continues.

Trajet sensoriel tactile



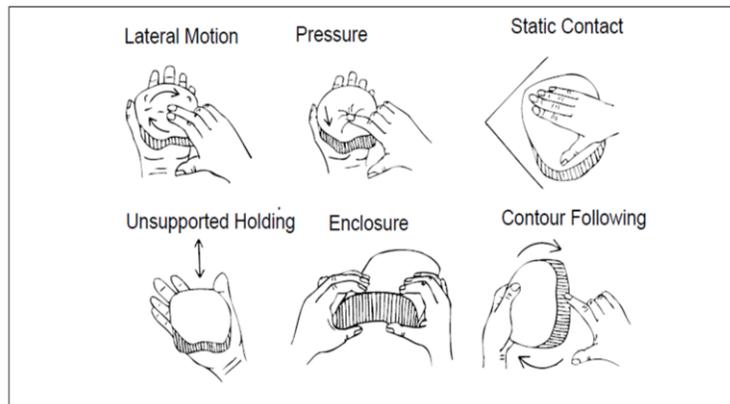
Kinesthésie

- Récepteurs dans les jointures/muscles
- Types de récepteurs:
 - Adaptatifs rapides → dans une direction donnée
 - Adaptatifs lents → mouvement & position statique
 - Positionnels → positions statiques

26

La sensation de toucher est dépendante de la kinesthésie qui correspond à la perception des mouvements et du positionnement des membres du corps. Elle provient de récepteurs dans les jointures. Ils sont de trois types : les adaptatifs rapides qui réagissent lorsque le membre bouge dans une direction donnée, adaptatifs lents qui détectent le mouvement et la position statique, et les récepteurs positionnels qui détectent des positions statiques.

Exploration tactile active



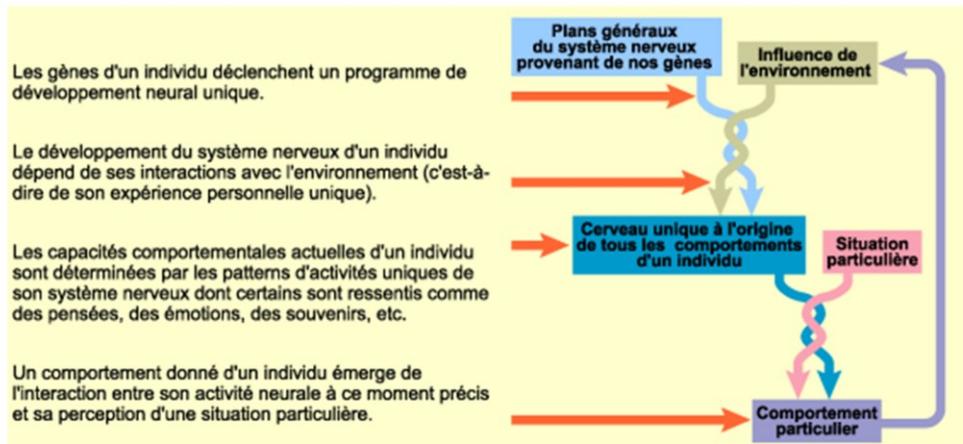
(Lederman et Klatzky, 1978)

27

La perception tactile implique une exploration active de l'environnement. Des chercheurs ont identifié différents mouvements des doigts et de la main utilisés pour explorer des objets avec le toucher.

Systeme nerveux

Émergence du comportement

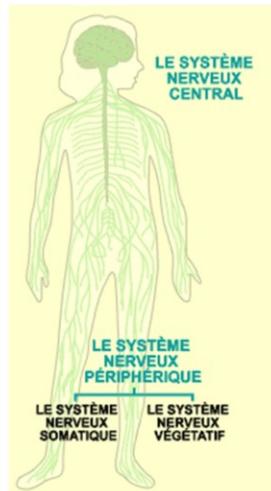


Crédit: Jacob L. Driesen (lecerveau.mcgill.ca)

29

Un comportement a pour rôle de répondre à un besoin, une motivation endogène. Son déclenchement nécessite cependant aussi un stimulus extérieur concordant avec le besoin. Ce diagramme montre comment une situation particulière engendre dans le cerveau d'un individu un pattern d'activité neurale menant à un comportement particulier.

Système Nerveux



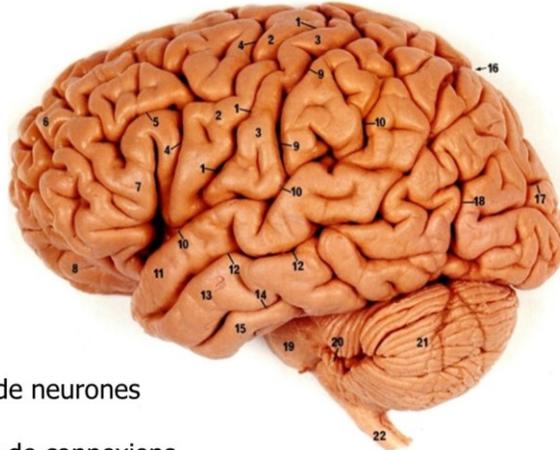
30

Le comportement et l'apprentissage sont régulés par le système nerveux. Il est composé du système nerveux central (le cerveau) et du système nerveux périphérique.

Le système nerveux périphérique (les nerfs) est composé de deux grands systèmes :

- Système nerveux somatique : Ces nerfs permettent à l'organisme d'interagir avec son milieu extérieur.
- Système nerveux végétatif : Ces nerfs interviennent dans la régulation des fonctions vitales internes, comme la digestion, la respiration, la circulation sanguine, l'excrétion ou la sécrétion d'hormones.

Système Nerveux Central



50-100 milliards de neurones

100 000 milliards de connexions

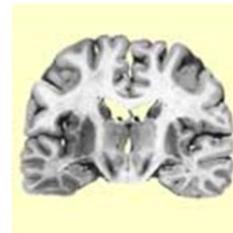
(ELLIS, LOGAN & DIXON ,1991)

31

Le système nerveux central est l'organe où se concentre la grande majorité des neurones du corps. Il contient entre 50 et 100 milliards de neurones (autant que d'étoiles dans notre galaxie) et environ 100 mille milliards de connexions entre neurones. Le cerveau humain est environ proportionnellement 3 fois plus large que pour les autres mammifères.

Matière grise et blanche

- Matière grise: neurones & dendrites
- Matière blanche: cellules gliales & myéline des axones



32

La matière grise correspond aux neurones. Elle forme le centre de la moelle épinière et une mince couche à la surface du cortex. La matière blanche correspond aux cellules gliales et à la myéline qui est la gaine recouvrant les axones des neurones. La matière blanche est quantitativement beaucoup plus importante que la matière grise dans le cerveau.

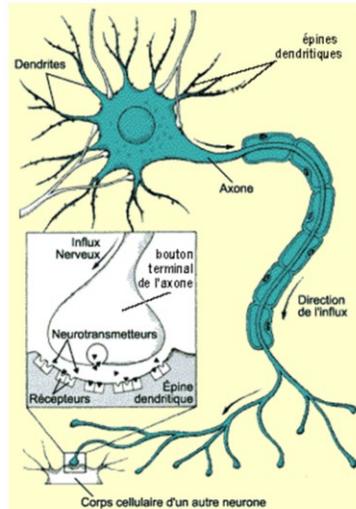
Cellules gliales

- 10 à 50 fois plus nombreuses que les neurones
- Soutien et protection du système nerveux:
 - Nutrition, élimination déchets
 - Myélinisation
 - Défense immunitaire
 - Développement neuronal...

33

Le terme « gliale » dérive du mot grec « glia » signifiant colle. Les cellules gliales sont classiquement considérées comme responsables du support/soutien des neurones, de leur nutrition, de leur protection immunitaire, de leur développement, et de la régulation de leur environnement.

Neurone

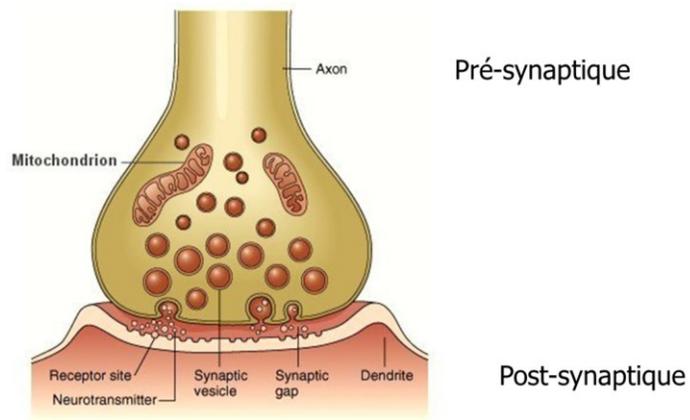


lecerveau.mcgill.ca

34

L'influx nerveux se transmet par signal électrique. Les neurones sont munis de dendrites qui se divisent comme des branches et qui acheminent le signal électrique vers le corps cellulaire du neurone. Ils sont aussi munis d'un axone qui est plus long et unique. L'axone permet de transmettre un signal électrique à d'autres neurones ou d'autres types de cellules, comme celles des muscles ou des glandes.

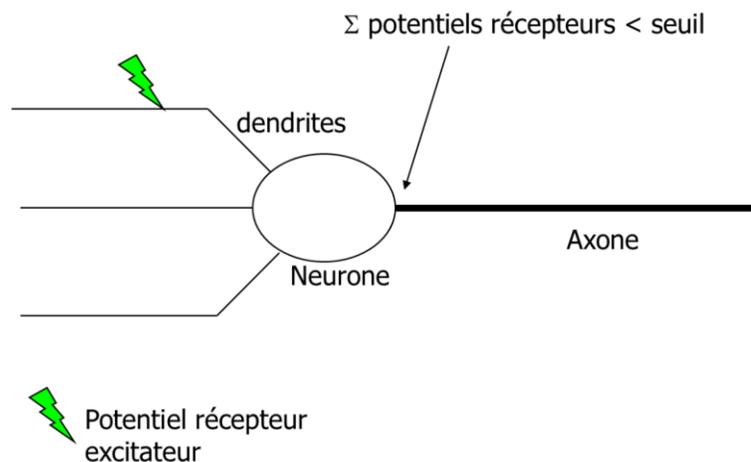
Synapse



35

La synapse correspond à la connexion entre deux neurones. Elle se trouve entre l'extrémité de l'axone et la dendrite. Des molécules particulières, appelées neurotransmetteurs vont se former dans la partie pré-synaptique au niveau de l'axone et vont être libérées dans la fente synaptique (mince espace entre l'axone et la dendrite de l'ordre de 0.02 micron) pour être ensuite recueillies dans la dendrite au niveau « post-synaptique »).

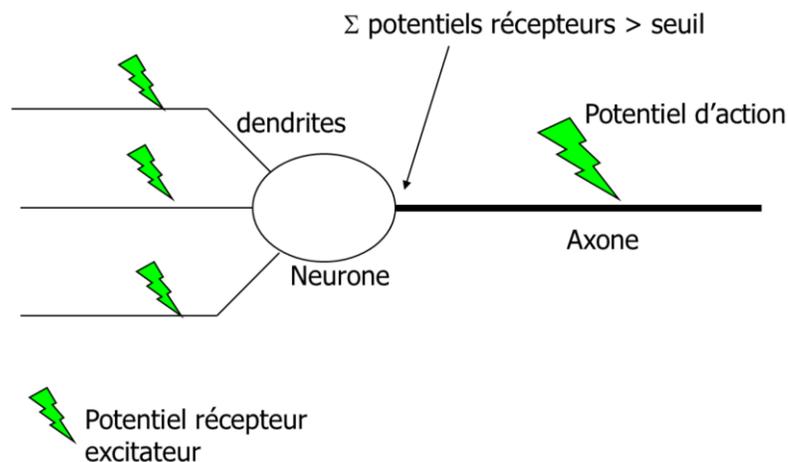
Dépolarisation du neurone



36

La transmission du flux électrique au niveau de la synapse va créer une différence de potentielle locale, appelée « potentiel synaptique » ou « potentiel récepteur ». Certains de ces influx sont excitateurs et favorisent le déclenchement d'un autre influx, alors que d'autres sont inhibiteurs. La diffusion passive de ces potentiels récepteurs (leur intensité diminue avec le trajet) amène une sommation de leurs effets excitateurs ou inhibiteurs. C'est au niveau du cône d'implantation du neurone (l'endroit où l'axone sort du corps cellulaire) que le résultat de cette sommation va être déterminant. S'il atteint le seuil d'excitation du neurone, un nouvel influx nerveux sera généré et s'élancera le long de l'axone. S'il reste en dessous, aucun influx nerveux ne sera transmis au neurone suivant.

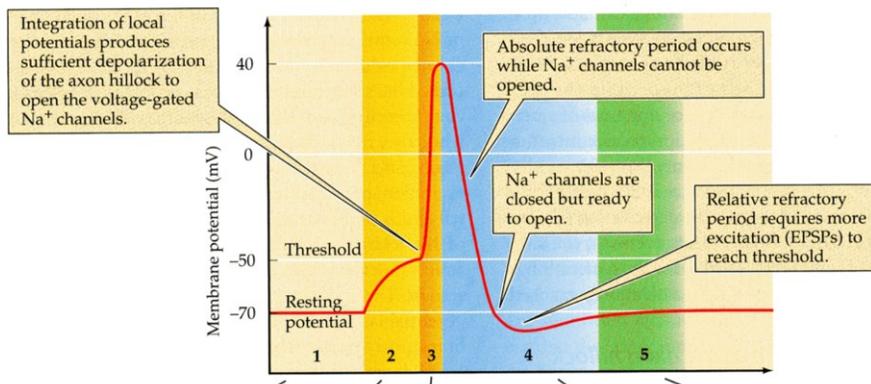
Dépolarisation du neurone



37

La transmission du flux électrique au niveau de la synapse va créer une différence de potentielle locale, appelée « potentiel synaptique » ou « potentiel récepteur ». Certains de ces influx sont excitateurs et favorisent le déclenchement d'un autre influx, alors que d'autres sont inhibiteurs. La diffusion passive de ces potentiels récepteurs (leur intensité diminue avec le trajet) amène une sommation de leurs effets excitateurs ou inhibiteurs. C'est au niveau du cône d'implantation du neurone (l'endroit où l'axone sort du corps cellulaire) que le résultat de cette sommation va être déterminant. S'il atteint le seuil d'excitation du neurone, un nouvel influx nerveux sera généré et s'élancera le long de l'axone. S'il reste en dessous, aucun influx nerveux ne sera transmis au neurone suivant.

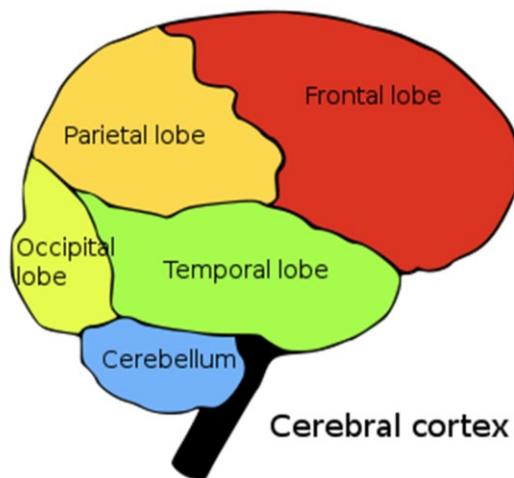
Potentiel d'action



38

L'influx nerveux créé sur l'axone s'appelle un potentiel d'action. Il s'agit d'une quantité électrique correspondant à une dépolarisation locale, transitoire et brève qui se propage le long de l'axone. La génération d'un potentiel d'action fonctionne sur le mode " tout ou rien ". Par conséquent, un neurone ne peut transmettre de l'information qu'en variant la fréquence de ses potentiels d'action, c'est-à-dire par le nombre de potentiels d'action émis en une seconde. L'amplitude des potentiels d'action est toujours la même.

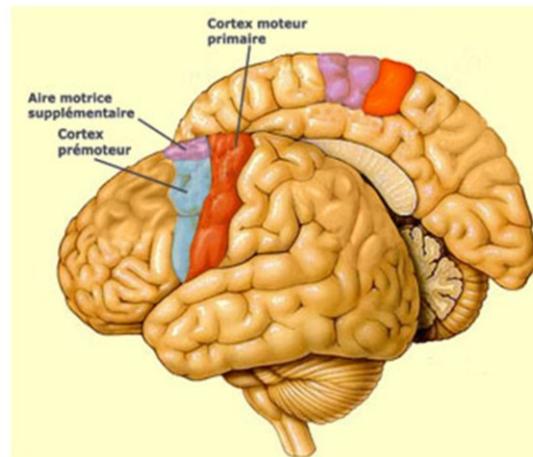
Lobes du cortex



39

Le cortex est divisé en 4 grands lobes apparents.

Cortex moteur



40

Une des régions les plus importantes pour le contrôle des mouvements volontaires est le cortex moteur. C'est une partie du cortex située à l'arrière du lobe frontal, juste avant le lobe pariétal. Il reçoit de l'information sur la situation du corps dans l'espace par le lobe pariétal, sur les objectifs à atteindre et le choix d'une stratégie appropriée par la partie antérieure du lobe frontal, sur les souvenirs d'anciennes stratégies par le lobe temporal, etc.

Contrôle moteur

- Mécanique corporelle complexe:

- 600 muscles
- 200 os

- Type d'actions motrices:

- intentionnelle
- réflexe

42

Le contrôle moteur est un processus extrêmement complexe avec un nombre très élevé de degré de liberté. A noter qu'il existe des mouvements réflexes (non-intentionnels) en parallèle des mouvements intentionnels.

Voici une situation qui met en évidence la complexité du contrôle moteur et la différence entre mouvement intentionnel et non-intentionnel. Pendant que vous êtes assis à votre bureau, levez votre jambe droite et formez des cercles en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. Ensuite, pendant que vous faites cela, dessinez le chiffre "6" dans les airs, avec votre main droite. Regardez maintenant votre pied : il a changé son sens de rotation sans que vous ne lui en ayez donné l'ordre !

Autre possibilité d'activité: dire aux étudiants de lever la main gauche en le faisant moi-même. Un certain nombre devrait lever la main droite par effet miroir.