

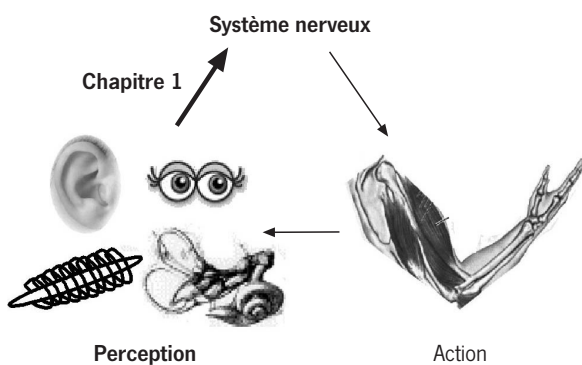
INTRODUCTION

Imaginez que vous êtes sur un terrain de tennis. Après un rapide coup d'œil sur le geste de l'adversaire, vous retournez la balle et marquez le point. Cet enchaînement, en apparence très banal, de perception et d'action est en fait un petit miracle de complexité quant à la machinerie cérébrale qui l'a produite. En effet, comment un simple clin d'œil peut-il suffire à prendre une décision ? Comment se fait-il que vous soyez capables de prédire la trajectoire de la balle ? Comment faites-vous pour contrôler simultanément autant de muscles et d'articulations ? Comment se fait-il que vous ayez progressé à force de jouer au tennis ? Le but de cet ouvrage est de vous faire découvrir comment nous percevons, traitons des informations, prenons des décisions, produisons le bon geste, et apprenons de nouvelles habiletés. Nous avons choisi d'organiser cet ouvrage en 7 chapitres dont la succession permettra au lecteur de répondre lui-même à ces questions. Le premier chapitre aborde le **versant sensoriel**. La physiologie, et les propriétés des organes sensoriels essentiels pour l'action (tels que la vision, et la proprioception) constitueront le cœur de ce chapitre. Le deuxième chapitre traitera lui du **versant moteur**. Nous commencerons par rappeler les grandes propriétés des muscles, et des neurones. Une fois ces rappels effectués, nous aborderons la physiologie et les fonctions des principales structures nerveuses impliquées dans la génération du mouvement. Les troisième et quatrième chapitres auront pour objet de montrer comment le versant sensoriel et le versant moteur sont mis en relation pour produire un mouvement fonctionnel. Dans le chapitre 3, nous exposerons les processus liés au **traitement de l'information** (identification, sélection, programmation...), tandis que dans le chapitre 4 nous insisterons surtout sur la notion de **contrôle du mouvement** (*i. e.* quel est le rôle des retours sensoriels pour le guidage du geste ?). Dans les 3 derniers chapitres, notre objectif sera de montrer au lecteur comment les relations entre le versant sensoriel et le versant moteur sont

susceptibles de se modifier au cours du temps. Dans le chapitre 5, intitulé « **L'apprentissage** », nous nous concentrerons sur les processus qui permettent aux adultes d'acquérir de nouvelles habiletés motrices. Dans le chapitre 6, intitulé « **Développement et vieillissement** », nous verrons à la fois les processus qui permettent aux jeunes enfants d'acquérir des fonctions motrices essentielles telles que la locomotion, mais aussi les processus qui conduisent à leur dégradation chez les personnes âgées. Enfin, dans le chapitre 7 intitulé « **L'expertise sportive** », notre objectif sera de montrer comment la production et le contrôle d'un geste sont susceptibles de se modifier sous l'effet d'une pratique sportive intensive.

Ce livre est destiné en priorité aux étudiants de licence STAPS, et aux éducateurs sportifs. Il peut également convenir aux intervenants du milieu sportif (entraîneurs et dirigeants) ainsi qu'aux enseignants d'éducation physique et aux psychomotriciens désireux de se perfectionner sur les processus mis en jeu dans l'acquisition des habiletés motrices. Cet ouvrage peut enfin intéresser les personnels de santé désireux d'approfondir leurs connaissances sur les relations existantes entre cerveau et comportement. D'une manière générale, cet ouvrage s'appuie sur des données récentes issues du champ des neurosciences, un champ actuellement en pleine expansion. L'objectif des auteurs est de proposer aux lecteurs les notions clés permettant d'aborder les questions les plus centrales dans le contrôle du mouvement, et l'apprentissage du geste. Au regard des spécialistes, cet objectif peut apparaître ambitieux, cependant il est important de préciser avant tout que cet ouvrage ne se veut pas un catalogue exhaustif des connaissances ayant trait à ces processus. Notre objectif était plutôt de réunir dans un même ouvrage des connaissances habituellement disséminées dans plusieurs ouvrages (neurophysiologie, psychologie, psychophysiologie...). Cet ouvrage s'adressant plus particulièrement aux étudiants des filières STAPS, nous avons pris le parti d'étayer notre discours le plus souvent possible à partir d'exemples et de travaux liés aux activités physiques et sportives.

LE VERSANT SENSORIEL



Certains d'entre nous ont parfois tendance à oublier que nos gestes, nos actions, nos habiletés motrices ne reposent pas uniquement sur la possession d'une bonne musculature. Les organes des sens sont tout aussi importants que les muscles. Réfléchissez un instant, que feriez-vous d'une très bonne musculature au tennis, si

votre acuité visuelle était médiocre ? Que feriez-vous en trampoline si vous étiez incapable de vous repérer dans l'espace ? Comment faire un départ efficace en sprint sans entendre le coup de feu du départ ? Bref nos sens apparaissent indispensables pour un grand nombre de nos actions. Le but de ce premier chapitre est de vous présenter, pour chacun d'entre eux : les types de récepteurs sensoriels mis en jeu, le type d'information qui est véhiculée, ainsi que les voies nerveuses qui acheminent ces informations au cerveau. Nous commencerons par la vision et le toucher, dont les rôles sont prépondérants pour la perception du mouvement. Puis nous aborderons le goût, l'odorat, et l'audition dont il faut bien reconnaître que le rôle est plus mineur dans les activités physiques et sportives. Après avoir traité chacun de ces cinq sens, nous aborderons un dernier sens un peu spécial, souvent ignoré du grand public, la proprioception. Nous verrons que ce sixième sens joue un rôle tout particulier dans la perception du mouvement, et qu'il met en jeu des récepteurs de nature très différente qui peuvent se trouver dans nos muscles, nos

tendons, nos articulations, notre oreille interne... Néanmoins, avant de commencer la présentation de ces six sens nous avons pris le parti de vous rappeler quelques généralités sur la perception et les organes des sens.

Généralités

LES SENS SONT NOS FENÊTRES SUR LE MONDE

Tous les organismes vivants prélèvent des informations grâce à leur sens sur le milieu qui les entoure. Ce sont nos organes des sens qui nous rattachent au monde extérieur. De ce fait, ils sont nos fenêtres sur le monde. Sans eux, il nous serait impossible d'agir. En effet, comment frapper une balle qui arrive si on ne peut pas la voir ? Comment éviter un véhicule nous approchant par l'arrière si on ne peut pas l'entendre ? Comment attraper un objet derrière un meuble si on ne peut pas sentir son contact au bout des doigts ? Bref, quelles que soient les situations, nos sens sont « en action » ! Même lorsque nous dormons, nos sens restent en éveil. C'est pour cette raison qu'un bruit ou une lumière suffisamment intenses peuvent mettre un terme à notre sommeil. Heureusement d'ailleurs, sinon nous n'entendrions jamais notre réveil sonner...

PERCEPTION ET SENSATION

Il existe une différence entre **sensation** et **perception**. La sensation se réfère à la détection et à l'acheminement d'une information sensorielle vers le cerveau. Elle se réfère aussi à l'expérience sensorielle primaire induite par le stimulus. La sensation est préalable à la perception et dépend du canal sensoriel. La perception, elle, se réfère au recueil et au traitement des informations sensorielles issues des différents canaux sensoriels. Elle renvoie à l'intégration, et à l'interprétation des messages sensoriels. C'est grâce à la perception que nos sensations acquièrent une véritable signification. La figure 1-1 permet d'illustrer la notion de sensation et de perception dans une tâche olfactive. Sur le haut de la figure, l'individu hume une corbeille de pain frais. Des récepteurs sont activés dans son nez, un message nerveux est transmis vers le cerveau, une sensation est évoquée. L'individu a certes détecté la présence d'une odeur, mais ne sait pas encore ce dont il s'agit. Lorsque l'odeur est finalement interprétée (bas de la figure), l'individu perçoit qu'il s'agit effectivement de pain.

La perception s'appuie sur plusieurs systèmes sensoriels. Chez l'être humain, on considère, depuis Aristote, qu'il existe cinq grands canaux sensoriels : la vision, le toucher, l'odorat, le goût, et l'audition. Chaque système sensoriel a évolué pour détecter une forme spécifique d'énergie. Chaque organe sensoriel contient des cellules spécialisées appelées **récepteurs**. Ces récepteurs sont des cellules qui ont pour fonction de convertir l'énergie physique en énergie « nerveuse ». Le tableau ci-dessous indique pour chaque canal sensoriel, le type de récepteur et les types de stimuli externes qui sont transformés en énergie nerveuse.

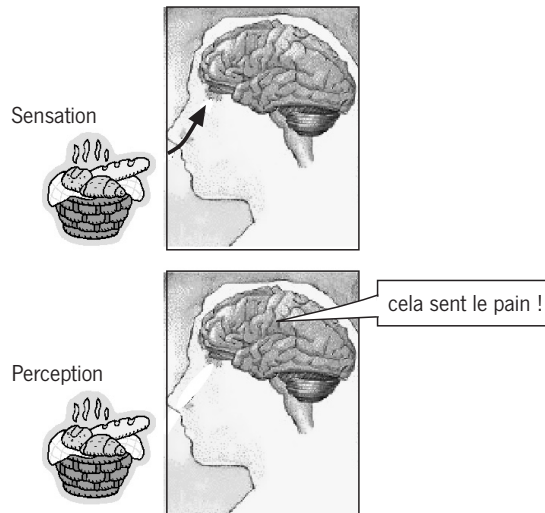


Figure 1-1. Différence entre sensation et perception

Tableau 1-1. Type d'énergie convertie par les récepteurs sensoriels en fonction des différents canaux

Canal sensoriel	Récepteur	Énergie physique
Vision	Rétine	Lumière
Audition	Cochlée	Son
Odorat	Fosses nasales	Chimique
Goût	Papilles gustatives	Chimique
Toucher	Mécanorécepteurs Thermorécepteurs	Mécanique (pression, tension), température

Le saviez-vous ?

La nature des systèmes sensoriels n'est pas forcément la même chez tous les êtres vivants. Certains animaux utilisent des canaux sensoriels très différents de ceux dont nous sommes dotés. Par exemple, on sait que les chauves-souris possèdent un organe sensible aux ultrasons leur permettant de se repérer dans l'obscurité. On sait aussi que certains requins possèdent un organe leur permettant de repérer leurs proies grâce à la faible activité électrique qu'elles dégagent (même enfouies dans le sable).

NOTION D'EXTÉROCEPTION, D'INTÉROCEPTION ET DE PROPRIOCEPTION

Chaque sens peut avoir deux grandes fonctions : une fonction **exocentrée** (centrée sur l'extérieur), et une fonction **égocentrée** (centrée sur le corps). Par fonction exocentrée, on veut exprimer le fait que le système sensoriel véhicule des informations provenant de l'environnement extérieur (étymologiquement *exo* signifie extérieur). Par exemple l'image d'une balle en approche ou un son provenant d'une porte qui claque, spécifient tous deux des événements extérieurs. La vision et l'audition sont équipées de récepteurs tout à fait adéquats pour asseoir cette fonction exocentrée. Les informations assurant une fonction exocentrée sont appelées **extéroceptives**. Par fonction égocentrée, on veut exprimer le fait que le système sensoriel véhicule des informations sur nous-mêmes, c'est-à-dire sur notre propre corps (étymologiquement *ego* signifie soi-même). Les informations assurant une fonction égocentrée sont divisées en deux catégories : les informations **intéroceptives** et **proprioceptives**.

L'**intéroception** (provenant de l'intérieur) est la perception que nous avons des parties internes de notre corps par le biais de récepteurs localisés dans nos viscères (et nos vaisseaux sanguins). Lorsque nous sommes malades et que nous avons « mal au ventre » par exemple, ce sont les informations intéroceptives qui sont responsables de la perception d'une douleur. Outre la douleur, la perception intéroceptive est également présente lors des déplacements de l'ensemble du corps. Si ces déplacements sont d'une grande intensité, la perception intéroceptive peut même être consciente. Lorsqu'en voiture on passe sur un dos d'âne ou lorsque dans les fêtes foraines on est soumis à des mouvements brusques, on perçoit une sensation dans le ventre (appréciée par certains et repoussante par d'autres). Cette sensation interne provient en fait d'un déplacement de l'ensemble des viscères dans la cavité abdominale. Bien que l'intéroception puisse apparaître peu importante pour les activités sportives, de récentes recherches sur les sports acrobatiques démontrent le contraire. Certains gymnastes de haut niveau pourraient utiliser les déplacements des viscères et les différences de pression sanguines dans le corps pour se repérer lors de rotations acrobatiques.

La **proprioception** est la perception générale que nous avons de notre corps en statique (**statesthésie**) ou en mouvement (**kinesthésie**). Cette perception du corps s'appuie sur plusieurs types de récepteurs : les capsules articulaires, les fuseaux neuromusculaires, les organes tendineux, le vestibule (tous ces récepteurs seront décrits ultérieurement dans ce chapitre). La proprioception permet de percevoir la position et le mouvement de chaque partie du corps, l'orientation, la vitesse, les accélérations et le déplacement du corps entier dans l'espace, ainsi que la force développée lors de contractions musculaires. Dès lors on comprend facilement que la

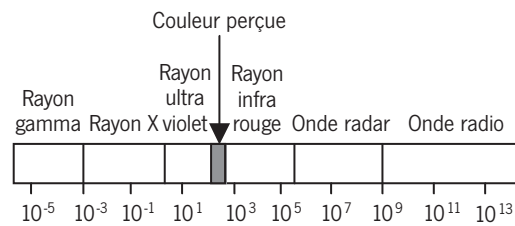
proprioception soit primordiale pour réaliser la majorité des activités quotidiennes et sportives. Certains chercheurs considèrent la proprioception comme notre sixième sens. Nous lui consacrerons une place toute particulière à la fin de ce chapitre.

2 Les sens

LA VISION

Le système visuel transforme l'énergie lumineuse en énergie nerveuse. Ceci permet de représenter les caractéristiques des objets externes en un message interne. La lumière est constituée de photons qui se répartissent sur différentes longueurs d'onde. La longueur d'onde est la distance séparant deux pics d'onde identique. Cette distance peut s'étendre de plusieurs kilomètres à quelques nanomètres (milliardième de mètre). L'œil humain ne perçoit qu'une très petite partie des longueurs d'onde disponibles dans la nature : celles qui sont comprises entre 400 nanomètres (nm) le violet et 700 nm le rouge (voir figure 1-2). Entre ces deux longueurs d'onde on trouve les autres couleurs comme le rouge, le bleu, le vert. Lorsque l'on superpose l'ensemble des longueurs d'onde visibles, on obtient la lumière blanche.

La lumière se propage dans tous les sens. Dès qu'elle touche la surface d'un objet, elle se réfléchit dans une autre direction, et un certain nombre de longueurs d'onde disparaissent. Ce sont les caractéristiques de cette réflexion qui procurent l'intensité du stimulus, la couleur du stimulus et les propriétés de surface du stimulus (forme, texture, dimension). Dans le brouillard on ne peut pas distinguer les caractéristiques des objets, car la lumière ne peut pas se réfléchir sur les surfaces.



L'œil humain ne perçoit qu'une très petite fraction de ces longueurs d'onde.

Figure 1-2. Spectre des longueurs d'onde disponibles dans la nature

L'œil et ses récepteurs

Pour être perçus les rayons lumineux réfléchis par les objets doivent passer à travers un système optique pour être transformés en une image. Dans l'œil humain ce système est composé du **cristallin** et de la **cornée** qui dirigent l'image sur la **rétine** (voir figure 1-3). La cornée est principalement responsable de la convergence des rayons lumineux. Les ajustements en fonction de la distance sont faits par des

changements de forme du cristallin. C'est le phénomène d'accommodation. La quantité de lumière qui pénètre dans l'œil est contrôlée par un muscle circulaire l'**iris** (s'il se contracte, la quantité de lumière diminue).

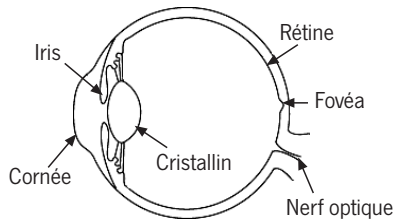


Figure 1-3. Coupe anatomique de l'œil

Toutes les images sont projetées sur la rétine, c'est la membrane qui renferme les cellules photoréceptrices. On distingue deux grandes classes de photorécepteurs : les **cônes** et les **bâtonnets**. Ce nom un peu étrange fait référence à la forme des récepteurs. Les **cônes** (5 millions par œil) sont essentiellement concentrés au niveau de la **fovéa** (partie centrale de la rétine). Il existe trois types de cônes, chaque type

étant sensible à une couleur bien particulière : un pour le vert, un pour le rouge et un pour le bleu. Les cônes sont très sensibles aux fortes intensités lumineuses. Voilà pourquoi ils sont considérés comme les récepteurs de la vision diurne. Les **bâtonnets** (120 millions par œil) n'existent pas au centre de la rétine, ils sont présents surtout à la périphérie de la rétine. Ils sont sensibles aux très faibles intensités lumineuses et sont dévolus à la vision nocturne. Ils ne permettent pas de distinguer les couleurs mais seulement les teintes de gris. À l'inverse des cônes, leur acuité spatiale (capacité de distinguer deux points voisins) est très faible.

Outre les photorécepteurs, on trouve deux autres groupes de neurones dans la rétine : les **cellules bipolaires** et les **cellules ganglionnaires**. La figure 1-4 nous montre l'architecture des connexions entre ces cellules selon qu'il s'agisse de bâtonnets ou des cônes. Pour les cônes, l'architecture des connexions est relativement simple, on a des connexions « un pour un ». Un cône est relié à une cellule bipolaire, elle-même reliée à une cellule ganglionnaire. L'intérêt de cette architecture est de fournir une information assez précise sur la localisation spatiale de la

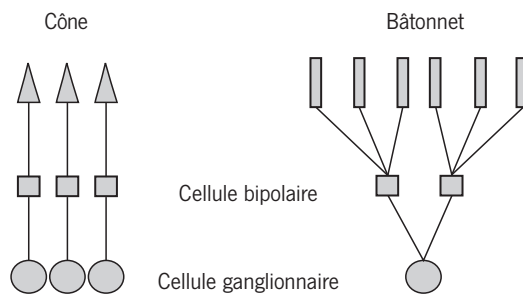


Figure 1-4. Organisation des connexions entre photorécepteurs, cellules bipolaires, et cellules ganglionnaires

stimulation. En revanche, pour les bâtonnets, l'architecture des connexions est plutôt de nature « convergente » : chaque cellule ganglionnaire reçoit les projections de nombreuses cellules bipolaires, elles-mêmes recevant les projections de nombreux bâtonnets. Si cette architecture ne favorise pas l'acuité spatiale, de par le jeu de la sommation des potentiels excitateurs (voir chapitre 2), un sti-