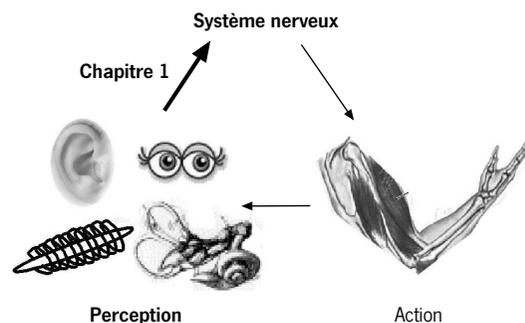


Certains d'entre nous ont parfois tendance à oublier que nos gestes, nos actions, nos habiletés motrices ne reposent pas uniquement sur la possession d'une bonne musculature. Les organes des sens sont tout aussi importants que les muscles. Réfléchissez un instant, que feriez-vous d'une très bonne musculature 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 mais de manière plus succincte car il faut bien reconnaître que leur rôle est 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.



...

■ ■ 1 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 » !

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

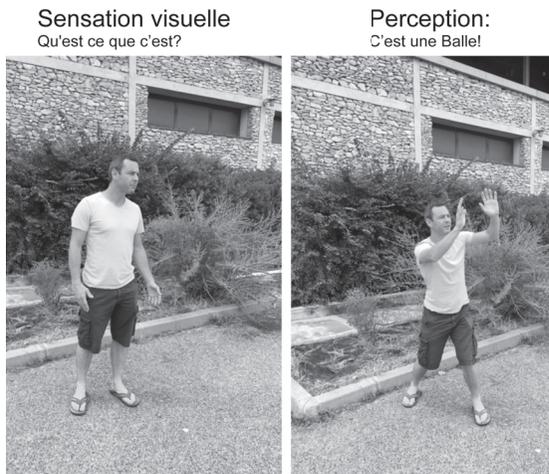


Figure 1.1. Différence entre sensation et perception

d'illustrer la notion de sensation et de perception dans une tâche visuelle. Sur la gauche de la figure, l'individu voit un objet qui s'approche vers lui. Des récepteurs sont activés dans son œil, un message nerveux est transmis vers le cerveau, une sensation est évoquée. Le cerveau a certes détecté la présence d'un objet, mais l'individu ne sait pas encore ce dont il s'agit. Lorsque l'image est finalement interprétée (figure de droite), l'individu perçoit qu'il s'agit effectivement d'une balle.

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.

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**.

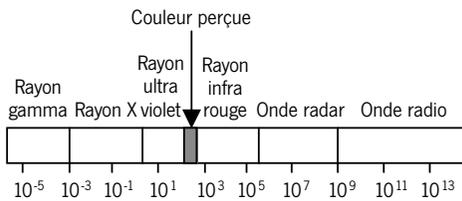
L'**intéroception** (provenant de l'intérieur) est la perception que nous avons des parties internes de notre corps par le biais de récepteurs localisés dans nos viscères (et nos vaisseaux sanguins). La perception intéroceptive est mise à contribution lors des déplacements de l'ensemble du corps. Par exemple 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 sanguine 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. 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



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.

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). C'est pour cela que dans le brouillard on ne peut pas distinguer les caractéristiques des objets, car la lumière ne peut pas se réfléchir sur les surfaces.

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

L'œil et ses récepteurs

Pour être perçus les rayons lumineux réfléchis par les objets doivent passer à travers un système optique où ils y seront transformés en 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

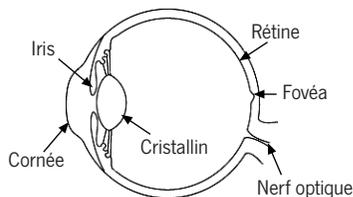


Figure 1.3. Coupe anatomique de l'œil

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). 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 de type « 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 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 stimulus faible peut déclencher un potentiel d'action, alors qu'il aurait été infraliminaire pour un cône. L'ensemble des cellules ganglionnaires forme le **nerf optique** qui se dirige vers les centres nerveux supérieurs.

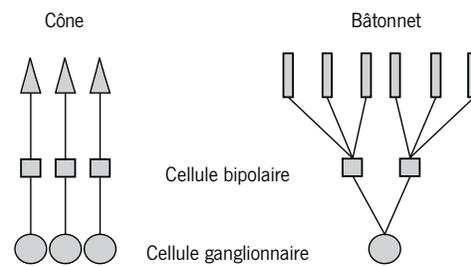
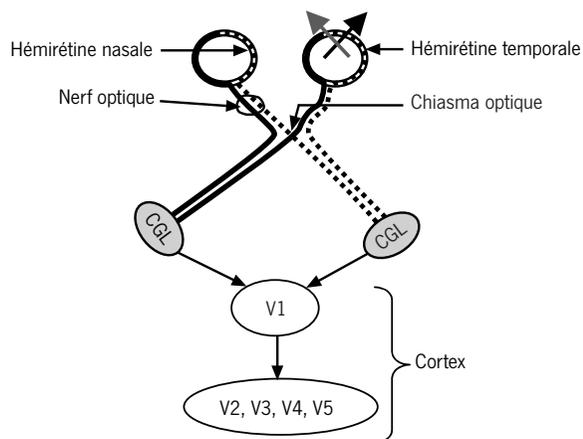


Figure 1.4. Organisation des connexions entre photorécepteurs, cellules bipolaires, et cellules ganglionnaires

Du nerf optique au cortex

Les informations qui sortent de la rétine par le biais du nerf optique font un relais au niveau des **corps genouillés latéraux (CGL)** après s'être en partie croisé au niveau du **chiasma optique**. Les axones venant des **hémirétines temporales** (vers l'extérieur de l'œil) restent homolatéraux, alors que ceux venant des **hémirétines nasales** (vers l'intérieur de l'œil) rejoignent les CGL opposés (figure 1.5). Au niveau des CGL, les cellules présentent les mêmes caractéristiques fonctionnelles que les cellules ganglionnaires, avec conservation de la **rétinotopie** (représentation géographique de la rétine). Les **axones** (voir chapitre 2) des cellules des CGL rejoignent ensuite le **cortex visuel primaire (V1)** appelé aussi **cortex occipital**. De là, les informations rejoignent d'autres aires visuelles dites



CGL = corps genouillés latéraux; V2, V3, V4, V5 = aires visuelles secondaires; V1 = aire visuelle primaire (pour plus de détails sur la localisation de cette aire, voir chapitre 2, figure 2.22).

Figure 1.5. Organisation des voies nerveuses entre l'œil et le cortex.

secondaires (V2, V3, V4 et V5). Les aires secondaires ont pour fonction d'effectuer des traitements très spécifiques de l'image. Par exemple, l'aire V5 est spécialisée dans la détection des mouvements, tandis que dans la zone V4, les neurones traitent uniquement les informations relatives à la couleur.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Les lésions des aires visuelles secondaires entraînent des troubles parfois étonnants. Lorsque l'aire V5 est touchée, les patients ne voient ni ne comprennent le monde en mouvement (akinétopsie). Ils voient bien les objets immobiles, mais tout objet en mouvement leur est invisible. Ces patients deviennent alors incapables de circuler à pied dans une foule, ou d'attraper une balle. D'autres patients souffrant de lésions sur l'aire V4 ne voient plus les couleurs (achromatopsie). Les patients ne perçoivent plus que des niveaux de gris.

Deux systèmes visuels : vision centrale et vision périphérique

Les différences anatomiques et fonctionnelles des voies nerveuses issues des bâtonnets et des cônes favorisent l'existence de deux visions distinctes. L'une servirait à la perception des détails et des couleurs tandis que l'autre servirait à la détection des mouvements (voir tableau 1.2). En faisant référence à l'emplacement des cellules réceptrices, la première est appelée **vision centrale** (concentration des cônes au centre de la rétine) et l'autre **vision périphérique** (concentration des bâtonnets sur les bords extérieurs de la rétine). Sachez cependant qu'on appelle parfois la vision centrale, vision cognitive parce qu'elle permet de reconnaître les objets. On appelle aussi parfois la vision périphérique, vision motrice car elle est sensible aux déplacements.

Tableau 1.2. Principales caractéristiques de la vision centrale et de la vision périphérique.

	Vision centrale (ou vision cognitive)	Vision périphérique (ou vision motrice)
Emplacement	Rétine centrale	Rétine périphérique
Récepteur	Cône	Bâtonnet
Faible lumière	Vision dégradée	Vision non dégradée
Couleur	Oui	Non
Conscient	Oui	Très peu
Acuité	Excellente	Faible
Exemple	Lecture d'un livre	Appel de balle
Fonction	Identification	Détection de mouvement
Questions	Qu'est-ce que c'est ?	Où est-ce ?

La vision centrale

La vision centrale a plutôt une fonction extéroceptive. Elle procure des informations précises sur le milieu extérieur. Par exemple si on veut lire un livre, on utilisera cette vision en bougeant nos yeux de telle sorte que la zone d'intérêt se retrouve projetée sur

la fovéa (au centre de la rétine). Dans le cadre d'une activité motrice, la vision centrale peut servir à réaliser une tâche de précision telle que :

- analyser la trajectoire des objets/personnes (ballon, adversaires, partenaires),
- guider notre main ou notre déplacement vers un objet ou un point bien précis,
- explorer notre environnement.

La vision périphérique

Lorsque vous lisez ce livre vous utilisez votre vision centrale pour distinguer parfaitement chaque lettre. La vision périphérique, c'est tout ce que vous voyez autour. C'est flou mais suffisamment net pour que vous perceviez un mouvement au cas où quelque chose se mettrait en déplacement sur le coin de votre table. Sur un terrain de sport, c'est un peu la même chose. Vous utilisez votre vision centrale pour détailler et observer les actions de votre adversaire, mais grâce à votre vision périphérique vous êtes en mesure de savoir non seulement si un autre adversaire est en train de vous rejoindre mais également dans quelle direction et à quelle vitesse il approche. Dans ce contexte, la vision périphérique a surtout un rôle extéroceptif.

La vision périphérique a aussi un rôle proprioceptif dans la mesure où elle procure des informations sur les déplacements de notre corps. Lorsqu'on se déplace dans une direction, tout notre environnement se déplace en sens contraire. Vous pouvez vous-même faire cette expérience. Fixez votre regard sur un objet au loin et avancez dans cette direction. Les images projetées sur votre rétine périphérique indiquent que les murs de la pièce semblent se déplacer vers l'arrière. Dans la vie de tous les jours (et encore plus en sport) les déplacements de notre environnement sur notre rétine spécifient notre propre déplacement. Une très bonne illustration de ce phénomène est observée lorsqu'on est assis dans un train à l'arrêt. Si un deuxième train sur la voie d'en face se met à avancer (vous le voyez partir en arrière), vous aurez l'impression que c'est votre propre train qui démarre. Certaines personnes qualifient ceci d'illusion d'optique (puisque vous avez commis une erreur de jugement). Nous dirons plutôt que notre vision périphérique fait très bien son travail. Elle nous renseigne en permanence sur nos déplacements. Notre vision périphérique est d'ailleurs si importante pour nous informer de nos mouvements, que la plupart des simulateurs de vol (pour les pilotes par exemple) ou jeux vidéo, sont basés sur des stimulations de la rétine périphérique.

Pour les spécialistes des sports acrobatiques, la vision périphérique est très importante puisqu'elle permet de se repérer dans l'espace lors de rotations rapides du corps. Dans une expérience menée par Bardy et Laurent (1998), il a été montré que la vision périphérique était nécessaire pour contrôler la vitesse de rotation d'un salto arrière de pied ferme. La vision périphérique est également importante pour le contrôle de la posture dans des situations inhabituelles. Dans l'expérience de Gautier, Thouvarecq et Chollet (2007), il a été démontré que pour contrôler un ATR (équilibre sur les mains) en gymnastique, la vision périphérique était fortement sollicitée. Enfin, même pour une tâche beaucoup plus simple, mais fonctionnellement plus importante, comme le maintien de l'équilibre en station bipédique, la vision périphérique conserverait un rôle prépondérant. Dans une expérience, des chercheurs ont placé des personnes au milieu d'une pièce dont les murs et le plafond pouvaient bouger indépendamment du sol. Lorsque les expérimentateurs se sont mis à faire osciller cette pièce mobile (mouvements non perceptibles à l'œil nu),

ils ont observé que les participants oscillaient avec les déplacements de la pièce. Les participants ont reproduit ce qui se passe dans la réalité : si les murs bougent sur notre rétine, c'est parce que nous sommes en train de bouger.

Nous reviendrons plus largement sur le rôle des informations visuelles dans le contrôle du mouvement au cours du chapitre 4.

Le toucher

La peau permet de fournir les informations dites « cutanées ». Elle renferme de nombreux types de récepteurs : des récepteurs à la chaleur (**thermorécepteurs**), d'autres à la douleur (**nocicepteurs**), et d'autres aux pressions mécaniques (**mécanorécepteurs**). Les nocicepteurs et les mécanorécepteurs peuvent avoir une fonction proprioceptive et extéroceptive, tandis que les récepteurs de chaleur ont surtout une fonction extéroceptive.

Les thermorécepteurs

La discrimination de la température (chaud ou froid) est donnée par des terminaisons nerveuses libres situées dans la peau qu'on appelle thermorécepteurs. Certaines d'entre elles sont dévolues au chaud, d'autres au froid, mais elles restent juxtaposées les unes aux autres. Leur nombre varie selon les parties du corps considérées. Les doigts et les lèvres comprennent un nombre élevé de ces récepteurs alors que la cuisse par exemple en est beaucoup moins pourvue. C'est ce qui explique que la sensibilité des doigts et des lèvres soit beaucoup plus précise que celle de la cuisse. Cependant il est à noter que l'avant-bras (aux alentours du coude et du poignet) a un statut particulier. En effet, la couche de son épiderme étant plus fine que la plupart des autres parties du corps, l'avant-bras est susceptible de fournir des informations plus précises que la main par exemple, sur la température de l'environnement extérieur. Ainsi, pour évaluer la température de l'eau d'un bain, il est plus efficace de tremper son avant-bras dans l'eau que la main seule.

La fréquence de décharge des terminaisons nerveuses dépend plus de la vitesse et de l'amplitude du changement de température que de la température absolue elle-même. En d'autres termes, ce qui importe c'est la différence de température entre la peau et le milieu extérieur. Par exemple, si la peau des doigts est très froide, de par son exposition prolongée dans la neige, le simple fait de les mettre sous l'eau modérément chaude, provoque une sensation de brûlure. La différence entre la température de la peau et de l'eau étant importante, les cellules réceptrices déchargent fortement. Le même phénomène peut être observé lorsqu'on met les mains dans une eau tiède après avoir trempé une main dans de l'eau chaude et l'autre dans de l'eau froide. Nous aurons la sensation d'avoir une eau chaude pour la main précédemment trempée dans l'eau froide et une eau froide pour la main trempée dans l'eau chaude. Enfin, la sensibilité aux écarts de température est d'autant plus grande qu'ils concernent une importante surface de la peau. Si nous sommes très sensibles aux changements de température, avec le temps (quelques minutes suffisent), nous nous adaptons très vite à la nouvelle température, excepté pour des températures supérieures à 45 °C (les récepteurs de douleur sont alors stimulés).