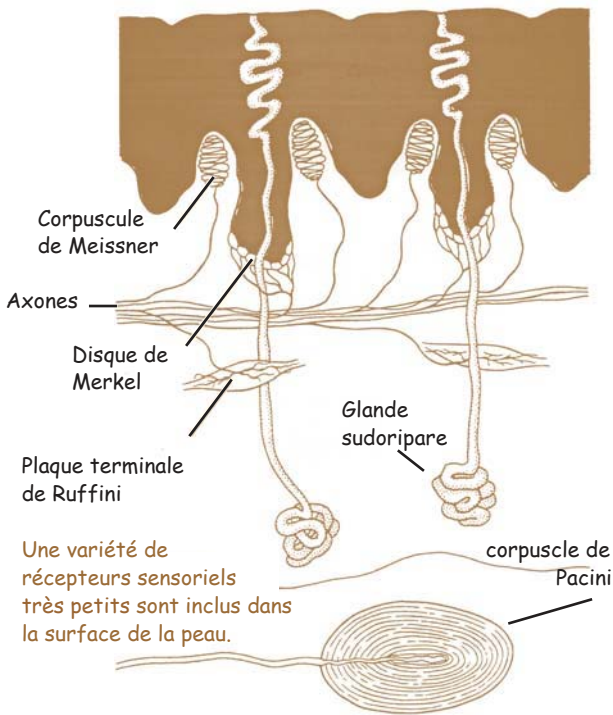


# Le toucher et la douleur

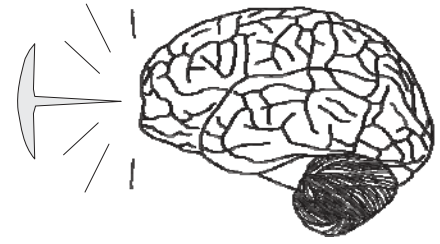
Le toucher est spécial - une poignée de main, un baiser, un baptême. Il permet notre premier contact avec le monde. Plusieurs types de récepteurs répartis dans tout notre corps détectent différents aspects du monde somato-sensoriel (toucher, température et position du corps) et d'autres encore s'occupent des sensations douloureuses. Leur puissance de discrimination varie selon les régions du corps : ils sont extraordinairement sensibles à certains endroits comme au bout des doigts. L'exploration active est également importante, témoignant d'étroites interactions avec le système moteur. La douleur sert à nous informer et à nous avertir des dommages causés à notre corps. Elle produit de fortes réactions émotives et est soumise à de puissants contrôles dans le corps et le cerveau.



## Tout commence dans la peau

Dans les couches dermiques de la peau, sous la surface, se trouvent plusieurs types de récepteurs minuscules. Portant le nom des scientifiques qui les ont identifiés en premier au microscope, les corpuscules de **Pacini** et de **Meissner**, les disques de **Merkel** et les terminaisons de **Ruffini** permettent de sentir différents aspects du toucher.

Tous ces récepteurs comportent des canaux ioniques qui s'ouvrent en réponse à une déformation mécanique, ce qui déclenche des potentiels d'action qui peuvent être enregistrés expérimentalement avec des électrodes fines. Des expériences étonnantes ont été faites il y a quelques années par des scientifiques qui ont expérimenté sur eux-mêmes, en insérant des électrodes dans leur propre peau pour enregistrer des nerfs sensoriels, un à la fois. A partir de ces expériences et d'autres semblables faites sur des



animaux anesthésiés, nous savons maintenant que les deux premiers types de récepteurs s'adaptent rapidement et donc répondent mieux à des déformations rapides (sensations de **vibration** et d'**agitation**), le disque de Merkel répond bien à une pression soutenue sur la peau (sensation de **pression**) tandis que les terminaisons de Ruffini répondent aux changements de pression plus lents.

Au sujet des récepteurs somatosensoriels, un concept important est celui de **champ récepteur**. C'est la zone de peau pour laquelle répond chaque récepteur. Les corpuscules de Pacini ont des champs récepteurs beaucoup plus grands que ceux de Meissner. Ensemble, ces corpuscules et les autres récepteurs permettent que vous puissiez sentir des choses sur toute la surface de votre corps. Quand ils détectent un stimulus, les récepteurs envoient des impulsions le long des nerfs sensoriels jusqu'aux racines dorsales de la moelle épinière. Les axones reliant les récepteurs du toucher à la moelle épinière sont des fibres myélinisées de grand diamètre qui véhiculent l'information depuis la périphérie vers le cortex cérébral extrêmement rapidement. Le froid, la chaleur et la douleur sont détectés par des axones plus minces aux terminaisons "nues", qui transmettent l'information plus lentement. Les récepteurs de la température sont également capables d'**adaptation** (voir l'expérience dans l'encadré). Les signaux du toucher passent par des stations de relais dans le bulbe rachidien et le thalamus, avant d'être envoyés dans l'aire corticale sensorielle primaire appelée **cortex somatosensoriel**. Les nerfs croisent la ligne médiane du corps de sorte que le côté droit du corps est représenté dans l'hémisphère gauche du cerveau et vice versa.



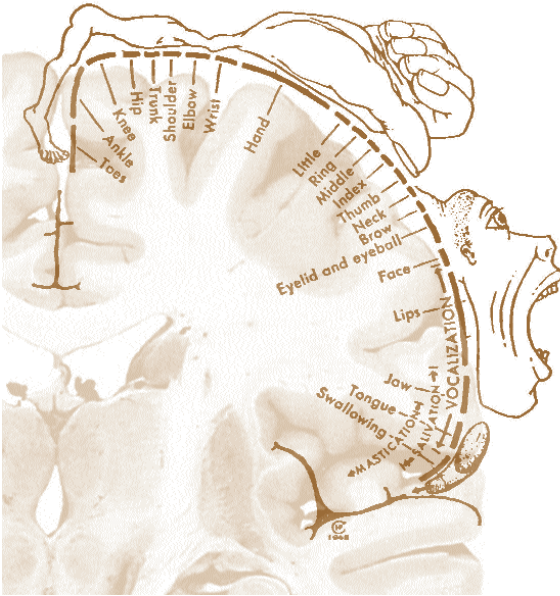
### Une expérience sur l'adaptation à la température

Cette expérience est très simple. Vous avez besoin d'une tige de métal d'environ un mètre de long, comme un porte-serviette, et de deux seaux d'eau. L'un doit contenir de l'eau assez chaude, l'autre de l'eau aussi froide que possible. Mettez la main gauche dans un seau et la main droite dans l'autre, et gardez-les ainsi pendant au moins une minute. Sortez-les alors, séchez-les très rapidement et prenez la tige de métal des deux mains. Les deux extrémités de la tige semblent être à des températures différentes. Pourquoi?

L'information tactile est représentée de façon ordonnée à la surface du cortex somatosensoriel, sous la forme d'une **carte de la surface du corps**. Certaines parties du corps, telles que le bout des doigts et la bouche, présentent une forte densité de récepteurs et un nombre également plus élevé de nerfs sensoriels. D'autres régions, comme le dos, ont bien moins de récepteurs et de nerfs. Cependant, dans le cortex

somatosensoriel, la densité des neurones est uniforme. Par conséquent, la carte de la surface du corps dans le cortex est très déformée. On appelle parfois « **homoncule sensoriel** » cette représentation curieusement tordue d'une personne selon la densité des récepteurs tactiles sur la surface des différentes parties du corps.

Vous pouvez tester cette sensibilité différentielle des différentes régions du corps avec le **test de discrimination de deux points**. Pliez quelques trombones en forme de U, certains avec les bouts distants de 2 ou 3 centimètres, d'autres beaucoup plus rapprochés. Puis, avec les yeux bandés, demandez à un ami de toucher diverses parties de votre corps avec les bouts des trombones. Sentez-vous une ou deux pointes ? Sentez-vous parfois une seule pointe alors que l'on vous touche réellement avec les deux ? Pourquoi ?



L'homoncule. L'image d'une personne est dessinée à la surface du cortex somatosensoriel, la taille de chaque partie du corps étant proportionnelle au nombre de ses récepteurs tactiles. Elle est toute déformée.

## Le pouvoir exquis de la discrimination

La capacité de percevoir des détails fins varie considérablement selon les parties du corps; elle est développée au maximum dans le bout des doigts et les lèvres. La peau est suffisamment sensible pour distinguer un point dont le relief est inférieur à  $1/100^{\text{e}}$  de millimètre - si vous le caressez à la manière d'une personne aveugle qui lit en Braille. Un domaine de recherche actif vise à comprendre comment les différents types de récepteurs contribuent à différentes tâches comme distinguer les textures ou identifier la forme d'un objet.

Le toucher n'est pas simplement un sens passif qui répond seulement à ce qu'il reçoit. Il est également impliqué dans le **contrôle actif du mouvement**. Les neurones du cortex moteur qui commandent les muscles qui permettent de bouger les doigts reçoivent des informations sensorielles des récepteurs tactiles du bout des doigts. Rien n'est plus efficace pour détecter un objet qui commence à glisser de votre main qu'une communication rapide entre les systèmes sensoriel et moteur. L'interaction entre ces systèmes commence dès les premiers relais dans la moelle épinière, y compris la rétroaction proprioceptive vers les neurones moteurs, et elle se poursuit à tous les niveaux du système somatosensoriel.

Les cortex primaires sensoriels et moteur sont d'ailleurs côte à côte dans le cerveau.

L'**exploration active** est cruciale pour le sens du toucher. Imaginez que vous essayez de distinguer des différences subtiles de texture, comme celles qui existent entre différents tissus ou catégories de papier sablé. Parmi les conditions suivantes, lesquelles permettent la meilleure discrimination ?

- Placer le bout des doigts sur les échantillons ?
- Déplacer le bout des doigts sur les échantillons ?
- Avoir une machine qui déplace les échantillons sur le bout de vos doigts ?

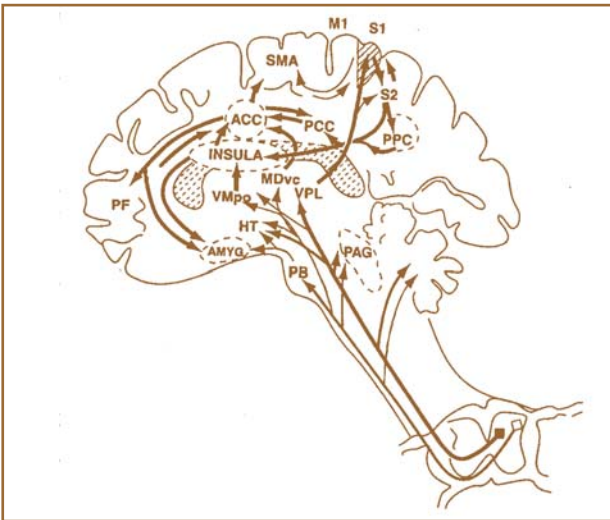
Les résultats de telles expériences comportementales nous font nous demander à quel endroit du cerveau l'information sensorielle est analysée. L'imagerie fonctionnelle du cerveau suggère que l'identification tactile de textures ou d'objets implique différentes régions du cortex. L'imagerie permet aussi de commencer à comprendre la **plasticité corticale** en révélant que la carte corticale du corps peut changer selon l'expérience. Par exemple, les aveugles qui lisent en Braille ont une représentation corticale plus grande de l'index utilisé pour la lecture, et les gens qui jouent d'instruments à cordes ont une représentation corticale agrandie des doigts de la main gauche.

## La douleur

Bien que souvent classée avec le toucher comme un autre sens de la peau, la douleur est en réalité un système propre, aux fonctions et à l'organisation anatomique très différentes. Ses principales caractéristiques sont qu'elle est désagréable, qu'elle varie considérablement d'un individu à l'autre et, étonnamment, que l'information fournie par les récepteurs de douleur apporte peu de détails sur la nature du stimulus (il y a peu de différence entre la douleur due à une abrasion et celle due à une piqûre d'ortie). Dans l'Antiquité, les Grecs considéraient la douleur comme une émotion plutôt qu'une sensation.

L'enregistrement de fibres sensorielles isolées chez des animaux montre qu'elles répondent aux stimulus qui endommagent les tissus ou qui pourraient le faire : un stimulus mécanique intense (comme un pincement), une chaleur intense, et différents stimulus chimiques. Mais de telles expériences ne nous apprennent rien sur l'expérience subjective de la douleur.

Les techniques de biologie moléculaire ont permis de découvrir la structure et les caractéristiques d'un certain nombre de récepteurs de la douleur ou **nocicepteurs**. Ceux-ci comprennent les récepteurs qui répondent à la chaleur au-dessus de  $46^{\circ}\text{C}$ , à l'acidité des tissus et - encore une découverte étonnante - à la substance active des piments. Les gènes des récepteurs répondant aux stimulations mécaniques intenses n'ont pas encore été identifiés, mais ils doivent pourtant exister. Deux classes de fibres afférentes périphériques répondent aux stimulus nocifs : des fibres myélinisées relativement rapides, appelées **fibres A $\delta$**  (A delta), et les **fibres C**, très fines, lentes, non myélinisées. Ces deux types de nerfs entrent dans la moelle épinière, où ils établissent des contacts (synapses) avec une série de neurones qui se projettent jusqu'au cortex cérébral. Ces voies ascendantes sont parallèles, l'une traitant la localisation de la douleur (semblable à la voie du toucher), l'autre étant responsable de l'aspect émotionnel de la douleur.



Voies ascendantes de la douleur partant d'une région de la moelle épinière (en bas) et montant jusqu'à plusieurs zones du tronc cérébral et du cortex, y compris le cortex cingulaire antérieur (ACC) et l'insula.

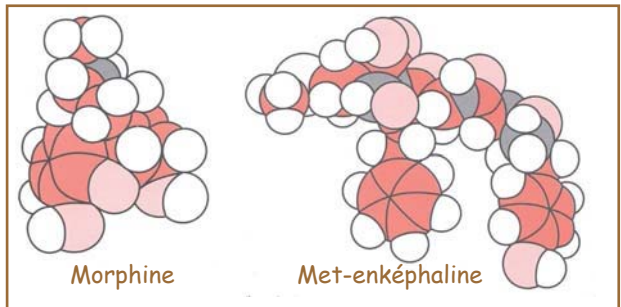
Cette deuxième voie projette vers des régions cérébrales très différentes du cortex somatosensoriel, qui comprennent le **cortex cingulaire antérieur** et l'**insula**. Dans des expériences d'imagerie cérébrale, en utilisant l'hypnose, il a été possible de séparer la sensation de douleur en tant que telle de son aspect désagréable.

Les sujets ont immergé leurs mains dans de l'eau extrêmement chaude puis ont été soumis à la suggestion hypnotique qu'augmentait ou diminuait soit l'intensité de la douleur soit son côté désagréable. En utilisant la tomographie par émission de positons (PET scan), on a constaté que changer ainsi l'intensité de la douleur activait le cortex somatosensoriel, tandis que l'expérience désagréable de la douleur activait le cortex cingulaire antérieur.

### Une vie sans douleur?

Etant donné notre désir d'éviter les sources de douleur, comme le dentiste, on pourrait imaginer qu'une vie sans douleur serait bonne. Rien n'est moins sûr. En effet, une des fonctions principales de la douleur est de nous permettre d'apprendre à éviter les situations qui provoquent la douleur. Les potentiels d'action dans les nerfs nocicepteurs qui entrent dans la moelle épinière déclenchent des réflexes protecteurs automatiques, tels que le réflexe de retrait. Ils fournissent également l'information qui permet d'apprendre à éviter des situations dangereuses ou menaçantes.

Une autre fonction principale de la douleur est l'inhibition de l'activité - le repos qui permet la guérison après des dommages aux tissus. Naturellement, dans certaines situations, il est important de ne pas empêcher l'action et les réactions de fuite. Pour aider à faire face dans ces situations, des mécanismes physiologiques ont évolué afin de supprimer ou d'augmenter la douleur. Le premier de ces mécanismes modulateurs à avoir été découvert est la libération d'**analgésiques endogènes**. Dans des situations où il existe un risque élevé de blessures, comme chez des soldats au combat, la sensation de douleur est supprimée jusqu'à un niveau étonnant - vraisemblablement parce que ces substances analgésiques sont libérées. Des expériences sur des animaux ont démontré que la stimulation électrique de certaines zones du cerveau comme la matière grise périaqueducule entraîne une élévation du seuil de douleur. Ce phénomène passe par une voie descendante qui va du mésencéphale à la moelle épinière.



Ce système implique un certain nombre de transmetteurs chimiques, comprenant les opioïdes endogènes comme la **met-enképhaline**. La morphine est un analgésique qui agit sur les mêmes récepteurs que certains opioïdes endogènes.

Le phénomène inverse, quand la sensibilité à la douleur est accrue, s'appelle **hyperalgésie**. Le seuil de douleur baisse, l'intensité de la douleur augmente, et la région du corps où la douleur est ressentie peut s'étendre. Il peut même y avoir sensation de douleur en l'absence de stimulation nocive, ce qui peut constituer un problème clinique sérieux. L'hyperalgésie englobe la sensibilisation des récepteurs périphériques ainsi que des phénomènes complexes à divers niveaux des voies ascendantes.

Ceux-ci incluent l'interaction entre l'excitation et l'inhibition chimiques. L'hyperalgésie observée dans des états de douleur chronique résulte d'une augmentation de l'excitation et d'une baisse de l'inhibition. Cela est principalement dû à des changements dans la réponse des neurones qui traitent l'information sensorielle. Des modifications importantes se produisent dans les molécules réceptrices qui médient l'action des neurotransmetteurs impliqués. Malgré de grandes avancées dans la compréhension des mécanismes cellulaires de l'hyperalgésie, le traitement clinique de la douleur chronique demeure malheureusement insuffisant.

### Aux frontières de la recherche



La médecine chinoise traditionnelle emploie un procédé appelé "acupuncture" pour soulager la douleur. Cela implique des aiguilles fines, insérées dans la peau à des endroits particuliers du corps le long de ce qui s'appelle les méridiens. La personne qui traite le patient fait alors tourner ou vibrer ces aiguilles. De fait, cela soulage la douleur mais, jusqu'à récemment, personne ne savait exactement pourquoi.

Il y a quarante ans, un laboratoire de recherche a été installé en Chine pour découvrir comment fonctionne l'acupuncture. Ses résultats indiquent que la stimulation électrique à une certaine fréquence de vibration déclenche la libération d'opioïdes endogènes appelés endorphines, tels que la met-enképhaline, alors que la stimulation à une autre fréquence active un système sensible aux dynorphines. Ce travail a mené au développement d'une machine électrique peu coûteuse (à gauche) qui peut être utilisée pour soulager la douleur au lieu de médicaments. Une paire d'électrodes est placée aux points "Heku" sur la main (à droite), d'autres au site de la douleur.