LA BIBLE HAPTIQUE

La science du toucher

Cyril BOUNAKOFF
Université de Sherbrooke
Canada

William FRIER
University of Sussex
Royaume uni

Basil DUVERNOY
Université Pierre et Marie Curie
France

Supervisé par

Personne Mon-gars

Senses collections®

Aux dauphins

RÉSUMÉ

Ce document présente un recueil d'information lié au toucher dans son sens large. Du cerveau à la peau, de la sensation à la perception, ce document décris tout les éléments jouant un rôle dans notre perception du monde via le sens du toucher. Il s'agit d'un document de référence nous permettant de (re)trouver rapidement des éléments important lié à nos doctorats respectifs. Il sert aussi de rapide introduction au milieu et au notion que l'on maitrise pas forcément. Enfin il permet de voir rapidement où les connaissances nous viennent à manquer et où devront porter nos prochaines recherches dans la littérature.

Mots-clés : Haptique, Neuroscience, Systéme somatosensoriel

REMERCIEMENTS

Consultez le *Protocole deails sur les remerciements.*

TABLE DES MATIÈRES

1 LE SYSTÈME NERVEUX **1**

2 LA PEAU **3**

3 SENS, SENSATION, PERCEPTION **5**

3.1 Les sens connus de l'être humain 5
3.1.1 La vue 5
3.1.2 L'ouïe 5
3.1.3 Le toucher 5
3.1.4 L'odorat 5
3.1.5 Le goût 5
3.1.6 Propriception 5
3.1.7 Equilibrioception 6
3.1.8 Nocioception 6
3.1.9 thermoception 6
3.2 Distinction entre sensation et perception 6
3.3 Cross-modalité et congruence 7
3.4 Illusion 7
3.4.1 *Fishbone illusion* 7
3.4.2 *Bump/hole illusion* 7
3.4.3 *Cutaneous Rabit illusion (saltation)* 7
3.4.4 Illusion du peigne — *comb illusion* 8
3.4.5 *Apparent motion(effet phi)* 8
3.4.6 Phantom-Funneling illusion 8
3.4.7 Tau effect 9

4 SENSATION TACTILE **11**

4.1 Cheminement de l'information 11
4.2 Mécanique du contact 11
4.2.1 Définition des termes 11
4.2.2 Contact statique 12
4.2.3 Contact dynammque 12
4.2.4 Déformation local 12
4.2.5 Déformation distante – Propagation des ondes 12
4.3 Mécano-transduction 13
4.3.1 PC 13
4.3.2 RA 13
4.3.3 SAI 13
4.3.4 SAII 13
4.3.5 Fibre de type C 13
4.3.6 Exemple de modélisation 13

4.4 Séquence de potentiel d'action (spike train) 14
4.5 Mesure Psychophysique 15
4.5.1 Seuil de perception – *Threshold* 16
4.5.2 Seuil de discrimination – *JND* 16
4.5.3 Méthode de mesures psychophysique 17

5 PERCEPTION TACTILE 19
5.1 Procédure d'exploration 19
5.2 Dimension du toucher 20
5.3 Taux de transfert d'information tactile 21
5.4 Types de toucher 21
5.4.1 Toucher de manipulation 22
5.4.2 Toucher d'exploration 22
5.4.3 Toucher communicatif 22
5.4.4 Toucher protectif 22

6 LES TECHNOLOGIES HAPTIQUES 23
6.1 Systèmes récepteurs 23
6.1.1 Ecran tactile 23
6.1.2 Peau tactile 23
6.2 Systèmes acteurs 23
6.2.1 Interfaces à retour de force 23
6.2.2 Interfaces à retour tactile 23

A APP TEST 27

LISTE DES RÉFÉRENCES GF1

LISTE DES FIGURES

4.1 Cheminement de l'information 11
4.2 Exemple de séquence de potentiels d'action lors d'une tache de manipulation 14
4.3 Tests des deux points 17

5.1 Procédure d'exploration [] 20

6.1 Interfaces à retour de force : a) 23
6.2 Interfaces à retour de force : a) 24
6.3 Interfaces à retour de force : a) 24
6.4 Interfaces à retour tactile par contact direct : a) 24
6.5 Interfaces à retour tactile par contact direct : a) 24
6.6 Interfaces à retour tactile par contact indirect : a) 25
6.7 Interfaces à retour tactile par contact indirect : a) 25

LISTE DES TABLEAUX

4.1 Seuil de perception (résolution) et seuil de discrimination (weber fraction) pour différent types de sensation (stimulus dimension) 15

LEXIQUE

Ceci est un exemple de lexique (glossaire).

Terme technique	**Dfinition**
Actionneur	Dfinition du terme actionneur
Capteur	Dfinition du terme capteur
Rentiel	Dentiel

LISTE DES SYMBOLES

Ceci est un exemple de liste des symboles.

Symbole	**Dfinition**
$\dot{[\,]}$	Dntiel inertiel
$\ddot{[\,]}$	D seconde selon lentiel inertie
a	Acration
m	Masse
t	Variable temporelle
...	**...**

LISTE DES ACRONYMES

Ceci est un exemple de liste des acronymes.

Acronyme	**Dinition**
OIQ	Ordre des ingeurs du Qc
UdeS	Universit de Sherbrooke
...	...

CHAPITRE 1

LE SYSTÈME NERVEUX

On distingue le système nerveux central (SNC) et le système nerveux périphérique (SNP).

CHAPITRE 2

LA PEAU

CHAPITRE 3

SENS, SENSATION, PERCEPTION

3.1 Les sens connus de l'être humain

...9 sens chez l'homme, Aristote avait posé que l'Homme possédait 5 sens. Définition d'une sens : ...

(On devrais essayer de les presenter dans l'ordre chronologique du dev du foetus)

3.1.1 La vue

...

3.1.2 L'ouïe

...

3.1.3 Le toucher

Le toucher ou somatoception est le sens transmis par la peau. Il est composé de la sensation des déformations de la peau mais aussi de la température et de la douleur. Le toucher existe aussi pour les organes internes.

3.1.4 L'odorat

...

3.1.5 Le goût

...

3.1.6 Propriception

...

3.1.7 Equilibrioception

...

3.1.8 Nocioception

...

3.1.9 thermoception

...

(Le sens haptique englobe-t-il thermo, nocio, proprio,... ? Pt à éclaisir question de vocabulaire...)

3.2 Distinction entre sensation et perception

La sensation est la stimulation des récepteurs sensoriels qui produisent des potentiels d'actions que le cerveau interprètera. Une sensation se produit lorsqu'un organe sensoriel absorbe l'énergie provenant d'un stimulus physique venant de l'environnement extérieur. Les récepteurs sensoriels convertissent cette énergie physique en potentiel d'action et les transmettent au cerveau via les nerfs.

La perception c'est quand le cerveau organise les informations sensorielle et les traduis/interprète en quelque chose significatif, qui a du sens ou qui peut être rationalisé. De plus, la perception est comment quelqu'un reçoit ce sentiment ou cette pensé, et y donne sens à travers la mémoire et l'émotion. La perception est principalement « comment » le cerveau interprète une sensation. L'information est obtenue à travers la collection, réception, transmission et mécanisme de codage.

Sensation et perception se complémentent l'un et l'autre pour donner du sens à notre expérience, mais restent deux complétement différente moyen de comment on interprète notre monde.

La perception est propre à chaque individu - différences intersujets, mais peut aussi varié au sein d'une même personne (i.e. des sensations identiques peuvent entraîner des perceptions différentes) - différences intrasujets. Ces différences viennent du fait que ce que nous percevons de notre environnement dépend de nos connaissances, de nos humeurs, de nos motivations, etc. Il arrive aussi qu'à certains moments, nos perceptions puissent dé-

passer les données sensorielles reçues, la perception va plus loin que la sensation. Exemple perception : un objet qu'on regarde peut nous apparaître chaud, rugueux, lourd.

3.3 Cross-modalité et congruence

Quand deux sensations venant d'un système sensoriel différent, arrivent au SNC, l'information est traitée comme un tout afin de donner lieu à une unique perception. On défini alors l'information provenant d'un système sensoriel comme une modalité et on dit que la perception résultante de plusieurs modalité est cross-modale.

Les informations provenant de deux modalité différentes peuvent être congruente (cohérente) et ainsi renforcé la perception. Dans le cas inverse les informations sont contradictoires et alors la perception sera biaisée vers l'une ou l'autre des modalités. Cette contradiction peut aussi donner lieu à des illusions (voir section correspondante).

3.4 Illusion

Illusion Haptique — `https://lejournal.cnrs.fr/articles/lillusion-tactile-une-revolution-e`

3.4.1 *Fishbone illusion*

Soit une surface découpé en trois partie : coté droit, milieu, coté gauche. Si les coté droit et gauche de la surface ont une texture plus rugueuse que le milieu, lorsque quelqu'un déplace sont doigt le long de la surface, il percevra le milieu de la surface à un renfoncement/creux.

3.4.2 *Bump/hole illusion*

Lorsque le doigt parcourt une surface, une information kinesthetic de creux ou de bosse, sera perçu de la même manière par une même personne.

3.4.3 *Cutaneous Rabit illusion (saltation)*

Original : Une série de courts pulses délivrés successivement à trois différente position sur la peau sont perçu comme un seul et unique stimulus bougeant progressivement le long de la peau. Comme si un petit lapin sautillée progressivement du premier au troisième stimulateur.

Réduit : 3 stimulation à 2 location, une des stimulations sera perçu au milieu des deux locations.

Exemple d'expérience :

- Original : marche mieux avec 3-6 « tapements » et un intervalle inter-stimuli entre 20-250ms ;
- Zone : 2.28cm2 sur l'index et 145.7cm2 sur l'avant bras.

3.4.4 Illusion du peigne — *comb illusion*

Lors d'une succession de stimuli de cisaillement, un stimulus de cisaillement plus « fort » peut induire l'illusion de la présence d'un pic.

3.4.5 *Apparent motion(effet phi)*

L'illusion d'un déplacement continu peut être donné au travers de tapements successifs le long d'un trajet discontinu. La durée des tapements et l'intervalle inter-stimuli sont les paramètres principaux permettant la réalisation de cette expérience. Exemple d'expérience :

- Tapement durée : 25-400ms ;
- Meilleur avec tapement de 100ms et intervalle inter-stimulus de 70m ;
- Intervalle 320ms avec 3 tapements et intervalle 20ms avec 12 tapements.

3.4.6 Phantom-Funneling illusion

Quand de bref stimuli sont presenté simultanément à différents points proche sur la peau, ils sont souvent perçus comme un unique stimulus central plutôt qu'une sensation phasique aux différentes positions. C'est comme si le stimulus tactile était « cheminée » vers une position centrale à laquelle le stimulus était perçu plus fort qu'à la position individuelle de stimulation.

Exemple d'expérience :

- 3 stimulateurs sur l'avant bras (espacé de 30mm) à localisé dans une bande de 20mm autour du stimulateur du milieu. (robustesse : 80%) ;
- 2 stimulateurs à point "phantom" au milieu, la position peut être variée vers un stimulateur ou l'autre en faisant varié le ratio d'amplitude des stimulateurs ;

- Intensité au point « phantom » : $A_phantom^2 = A_point1^2 + A_point2^2$.

3.4.7 Tau effect

Le tau effect représente la dépendance temporelle de la perception des distances. Par exemple soit 3 stimuli successif sont présenté aux locations A,B et C. Si ces locations sont espacé tel que la distance AB soit 2 fois plus grande que la distance BC et que le temps entre le stimulus en A et celui en B soit deux fois plus lent qu'entre le stimulus B et C. Alors la distance AB sera perçu 4 fois plus grande que BC.

Cette illusion fonctionne aussi pour des stimuli mobile : Un stimulus rapide sera perçu comme parcourant une distance plus courte qu'un stimulus lent faisant le même parcourt.

Dans d'autre modalité, la dépendance spatial de la perception des durations (effet kappa) a été observé, mais ne semble pas existé pour le sens tactile.

Exemple d'expérience :

- 3 points illusion : Meilleur si le ratio temps est inférieur à 4 :1, marche pour des distances allant de 30 à 85mm sur l'avant bras et des intervalle de temps inter-stimuli variant de 200 à 500ms ;
- Stimulus mobile : Un stimulus rapide (2500mm/s) et un stimulus lent (10mm/s), la distance sera réduit de 50%. Ne marche pas pour des stimuli de 50-200mm/s.

CHAPITRE 4

SENSATION TACTILE

Ici nous présentons le chemin de l'information et détaillons les points clé dans des sections séparé.

4.1 Cheminement de l'information

La zone 3b est seulement à 3 synapses de la fibre sensorielle. (via le cuneate nucleaus and the talamus).

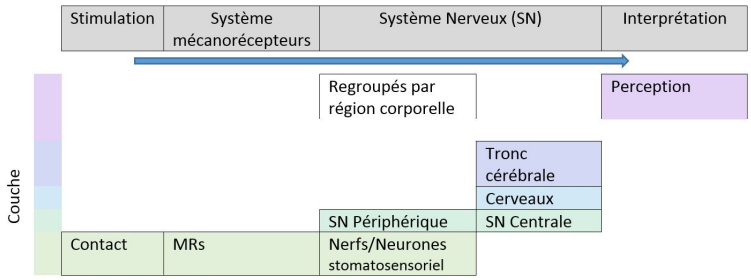


Figure 4.1 Cheminement de l'information

4.2 Mécanique du contact

4.2.1 Définition des termes

Force : Dans la mécanique du point, une force est représenté par une direction (vecteur) et une amplitude (scalaire). Dans la mécanique du solide, le concept est étendu à une matrice 3x3 où chaque ligne représente les forces soumises sur les faces du cube élémentaire. On parle alors de tenseur de force. Les éléments sur la diagonale du tenseur sont appelés les efforts normaux, et les autres les efforts tangentiels. Dans certain cas, une matrice du moment peut être définie pour décrire les forces de rotations.

Déformation : La différence de géométrie entre l'état l'initiale et l'état qui suit l'exercions du tenseur de force peut être définie avec un tenseur de déformation.

Élasticité : Décris la capacité d'un matériau de résister une force qui lui est appliqué. Exprimé avec le coefficient de Young.

Viscosité : Décris la composante temporelle qui lie application d'une force et déformation.

Compressibilité : Décris la capacité d'un matériau à se comprimer. Exprimé avec le coefficient de poisson.

....Distinction entre force normale, pression ; glissement, effort tangentiel ; contraint, effort ; tenseur de déformation...

...Distinction entre force et pression

4.2.2 Contact statique

Loi de hooke : Relie les deux grandeurs force et déformation

Contact Hertzien : Décrie les déformations

4.2.3 Contact dynammque

...

4.2.4 Déformation local

...

4.2.5 Déformation distante – Propagation des ondes

Lors d'un stimulus tactile, des ondes se propagent à la surface de la peau, dans les couches inférieures de la peau et dans les organes. De ce fait les MRs distant du point de contact sont aussi stimulé par le contact. En plus de MRs cutanée, les MRs au niveau des muscles, tendons et articulation sont aussi stimulé. Il a été mis en évidence, que selon l'interaction tactile, le motif de propagation d'ondes sera différent. Ce qui alimentent l'hypothèse que ces ondes sont pris en comptent lors de l'interprétation d'un stimulus. Par exemple, lors d'un toucher d'exploration, la texture de la surface va créer un motif d'ondes particulier qui se fera sentir jusqu'au poignet, où des PC récepteurs pourront encodé la texture et ainsi permettre l'indentification de la texture parcouru.

Qu'est ce qui est pondérant, la propagation de la vibration : dans la peau, dans les os, dans les tendons ?

4.3 Mécano-transduction

Sous la stimulation, les mécanorécepteurs émettent des potentiels d'action le long des nerfs afférents et en direction du CNS. Le procédé par lequel une excitation sensorielle (ici mécanique) donne lieu à un potentiel d'action est nommé mécano-transduction. Ce procédé a fait l'objet de différentes études et a été modélisé.

Chaque mécanorécepteur encode la déformation mécanique en un potentiel d'action d'une manière différente. Il est a noté aussi que chaque mécanorécepteur semble sensible à différents types de stimuli (voir correspondant sous-partie).

4.3.1 PC

...

4.3.2 RA

...

4.3.3 SAI

...

4.3.4 SAII

...

4.3.5 Fibre de type C

...

4.3.6 Exemple de modélisation

...

4.4 Séquence de potentiel d'action (spike train)

Les mécanorécepteurs produisent une séquence de potentiel d'action dont l'amplitude et la fréquence est propre à la caractéristique de la sensation. La séquence de potentiel d'action peut alors être interprété comme l'encodage de la sensation.

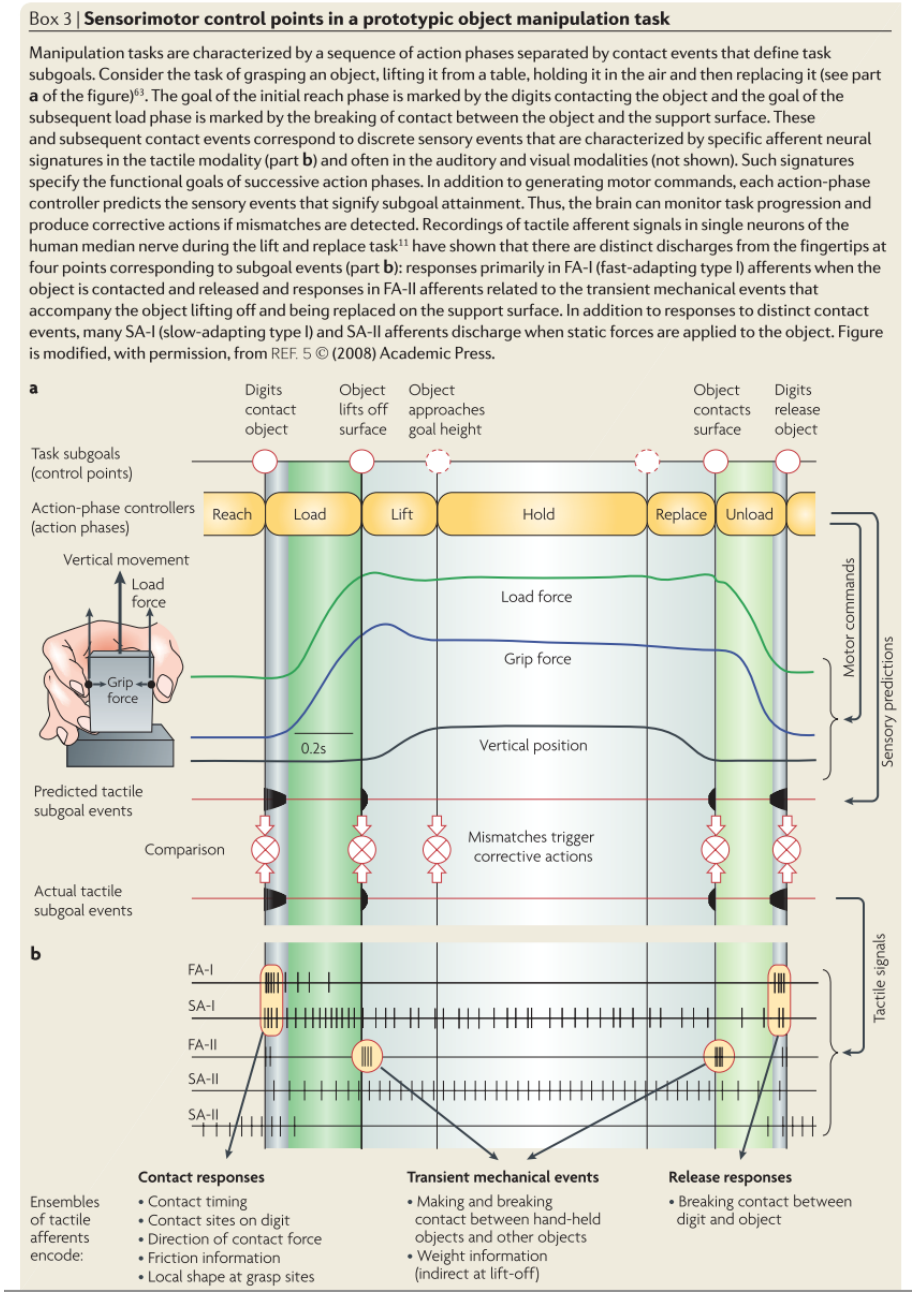


Figure 4.2 Exemple de séquence de potentiels d'action lors d'une tache de manipulation

4.5 Mesure Psychophysique

Le sens du toucher peut sentir divers stimuli tactile. Néanmoins, comme tout récepteur/senseur, il ne peut sentir qu'à partir d'une intensité minimum (seuil de perception) et ne peux distinguer qu'une différence minimale entre deux intensités (seuil de discrimination). Ces caractéristiques peuvent être mesuré et quantifié grâce à divers expériences psychophysiques (exemple tableau ci-dessous).

Tableau 4.1 Seuil de perception (résolution) et seuil de discrimination (weber fraction) pour différent types de sensation (stimulus dimension)

Dimension de la stimulation	Résolution	Fraction de Weber(%)
Texture de surface (rugosité)	0.06...	5-12%
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...

TABLE 1
Sensory Resolution and Weber Fractions
for a Range of Tactile and Haptic Stimuli

STIMULUS DIMENSION	RESOLUTION	WEBER FRACTION (%)
Surface texture (roughness)	0.06 μm [21]	5-12% [22] [23]
Curvature	9 μm [24]	10% [25]
Temperature	0.02-0.09°C[26]	0.5-2% [27]
Skin indentation	11.2 μm [28]	14% [29]
Velocity of tactile stimuli		20-25%[30]
Vibrotactile frequency (5-200 Hz)	0.3 Hz[31]	3-30% [31] [32] [33]
Vibrotactile amplitude (20-300 Hz)	0.03 μm [34]	13-16% [35] [36]
Pressure	5 gm/mm^2 [4]	4-16% [37]
Force	19 mN [38]	7% [39] [40]
Tangential force		16% [41]
Stiffness/compliance		15-22%[14] [42] [43]
Viscosity		19-29% [44] [45]
Friction		10-27% [46] [47]
Electric current	0.75 mA[48]	3% [49]
Moment of inertia		10-113% [50] [51]

4.5.1 Seuil de perception – *Threshold*

...

4.5.2 Seuil de discrimination – *JND*

...

Seuil de discrimination spatiale

La méthode du seuil de discrimination spatiale consiste à déterminer la distance minimale qu'un sujet (les yeux fermés) n'arrive plus à distinguer les deux pointes qui lui appliqué sur la peau. En fonction des différentes partie du corps, le seuil – entre ressentir les deux pointes et le passage ou le sujet ne pense qu'il n'y en a plus qu'une. Zones plus sensible de que d'autre. Les MRs ne sont pas réparti de la façon sur le corps, la densité est différente.

Les parties les plus sensibles sont les mains, le visage et les doigts de pieds.

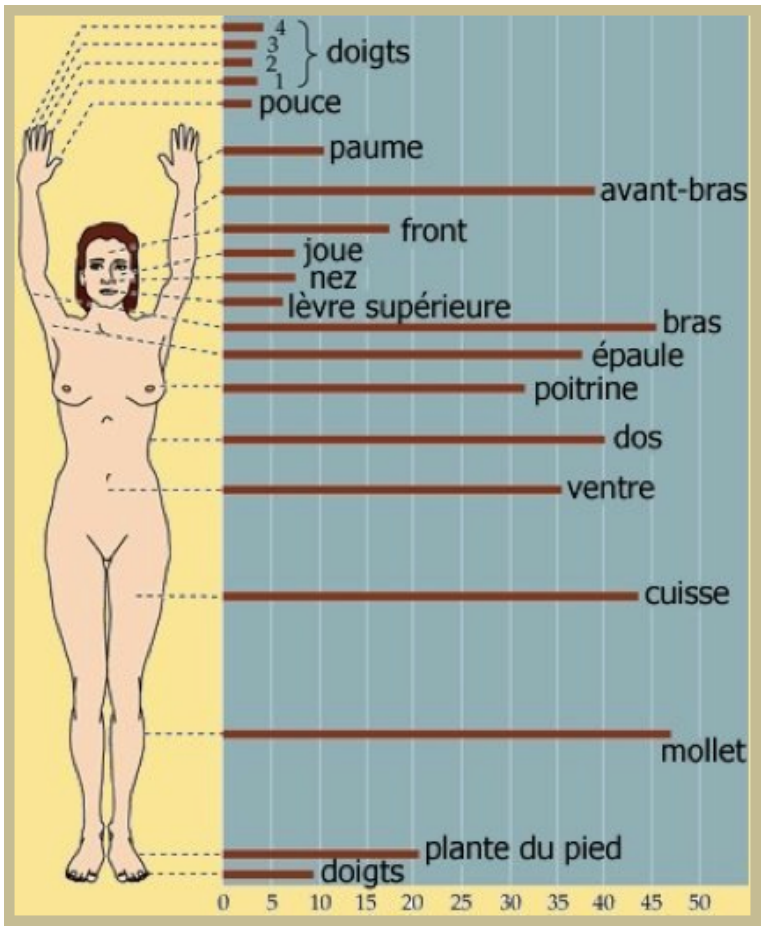


Figure 4.3 Tests des deux points

4.5.3 Méthode de mesures psychophysique

...

Méthode classique

...

Théorie de la détection du signal

...

CHAPITRE 5

PERCEPTION TACTILE

Sens du toucher : (déf) système qui peut mesurer une propriété donnée d'un objet ou d'un phénomène, au travers d'un contact physique entre le système et l'objet. [Lederman SJ. Tactual Perception]

Le sens du toucher pour certains animaux est primordial. Les araignées sont très sensibles au toucher mais ne voient pas la lumière, l'obscurité et les formes basiques [Barth'2016...]. Les araignées apprennent plus sur leur environnement en ressentant les vibrations qu'en utilisant leurs yeux. Elles arrivent à faire la distinction en les différentes vibrations (insert dans la toile, vent qui souffle, autre araignées sur la toile, ...).

Diap presentation

Le sens du toucher chez les mammifères et humains :

...Les Mammifères [...]

...Le premier sens développé chez le fétu – au bout de 7 semaines, haptonomie -

Sens de nature complexe et non intuitive. Ce n'est pas une simple transduction d'une propriété physique en un signal électrique. Elle peut prendre plusieurs formes de la détection d'une texture, d'une forme, d'une blessure, d'un échange et autre. Les dernières avancées dans le domaine de l'haptique, des neurosciences cognitives et psychologiques.

Par rapport au sens de l'ouïe ou de la vue, le toucher reste encore une quantité définie. Dans les prochains paragraphes, un état de l'art sur la mécanique de la peau, les systèmes mécanorécepteurs de la peau jusqu'au système somatosensoriel va être établi à partir des dernières études faites en haptique.

5.1 Procédure d'exploration

Pour satisfaire ces besoins la peau doit être capable distingue et faire émerger différentes propriétés. Pour ce faire. La main interagi avec un objet/surface selon plusieurs méthodes. Ces méthodes recensé dans une étude de Lederman et Klatzy sont nommé « exploratory procedure » or EP for short (Lederman & Klatzky 1987) :

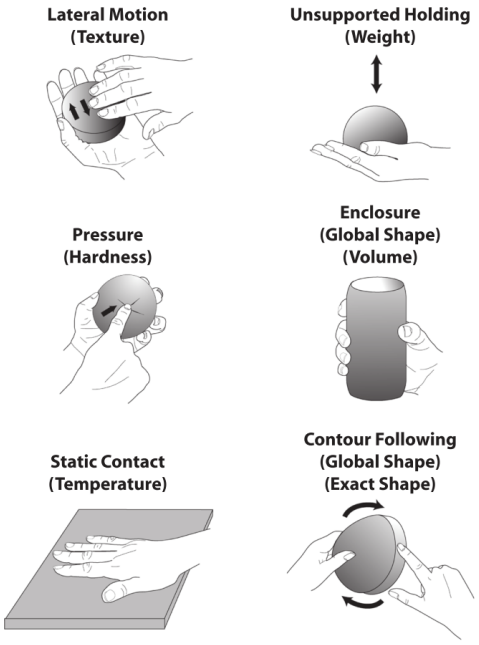


Figure 6. Depictions of six manual "exploratory procedures" and their associated object properties (in parentheses). From "Hand Movements: A Window Into Haptic Object Recognition," by S. J. Lederman and R. L. Klatzky, 1987, *Cognitive Psychology*, *19*, p. 346. Copyright 1987 by Elsevier. Reprinted with permission.

Figure 5.1 Procédure d'exploration []

5.2 Dimension du toucher

Les EP, vu précédemment, servent notamment à renseigner sur la nature de l'objet/surface manipuler, qui sont caractérisé par les grandeurs physique et psychophysique suivante (Okamoto et al. 2013) :

- Texture ;
  - Rugueux/lisse ;
    - Macro-echelle (coarse) ;
    - Micro -echelle (fine) ;
  - Dur/mou ;
  - Friction ;
    - Humide/sec ;
    - Glissant/collant ;
- Température : Chaud/Froid ;

- Forme : global/exact ;
- Poids.

La texture regroupe plusieurs dimension et non seulement des information de rugosité. (voir liste au dessus).

Dualité de la perception de la rugosité : La rugosité d'une surface est perçu à deux échelles : Une macro-échelle, de l'ordre du millimetre et une micro-echelle de l'ordre du micrometre (voire nanometre). Cette difference d'échelle s'explique par les mecanisme du toucher qui encode la rugosité. La macro echelle vient du fait que les MR SA1 encode les informations de rugosité localement, là où peau et surface font contact. De ce fait, les limite de perceptions dépendent de l'acuité spatiale du sens du toucher. (threshold autour de 1mm). La micro-echelle dépend des MR PC qui encode les vibration créent par le doigt parcourant la surface. Ces vibrations se propagent dans tout le doigt, la paume des mains et vont même jusqu'au poignet. Des détails aussi fin que de qq centaine de nanomètre peuvent induire de telle vibration.

...Les parties les plus sensibles de notre corps humain sont les parties telles que : la figure, l'arrière de la nuque, les mains, le haut du bras, le torse, entre les jambes et la plante des pieds.

Et les changements d'état de celui-ci, glissement d'un objet, caresse,...

Le système somatosensoriel traite les données spatiotemporelles provenant des mécanorécepteurs [glissement, vibration], thermorécepteur [température] et nocicepteur [blessure] compris dans la peau.

5.3 Taux de transfert d'information tactile

...

5.4 Types de toucher

Outre tous les caractéristiques biologiques de la peau et les informations qu'il est possible d'en retirer quant à son importance dans la sensation d'une surface/d'un objet (i.e. : la souplesse/dureté de la surface de contact, sa température, sa texture, sa forme, etc.), il est intéressant de noter que notre perception se découpent en différents types de toucher,

aux caractéristique différentes (exemple : récepteur stimulé). En tout on peut distinguer jusque quatre type de toucher : de manipulation, d'exploration, communicatif et protectif.

5.4.1 Toucher de manipulation

Type de peau : glabre

Le toucher de manipulation est spécifique à la peau glabre est aussi celui qui a été le plus étudié.

5.4.2 Toucher d'exploration

Type de peau : Glabre ; et Poilu pour la navigation

Le toucher d'exploration est...

5.4.3 Toucher communicatif

Type de peau : Poilu

Le toucher communicatif est ...

5.4.4 Toucher protectif

Type de peau : Poilu

Le toucher est ...

CHAPITRE 6

LES TECHNOLOGIES HAPTIQUES

Retrouver les photos en HD !

6.1 Systèmes récepteurs

6.1.1 Ecran tactile

6.1.2 Peau tactile

6.2 Systèmes acteurs

6.2.1 Interfaces à retour de force

Figure 6.1 Interfaces à retour de force : a) ...

6.2.2 Interfaces à retour tactile

Par contact direct – "*tangible*"

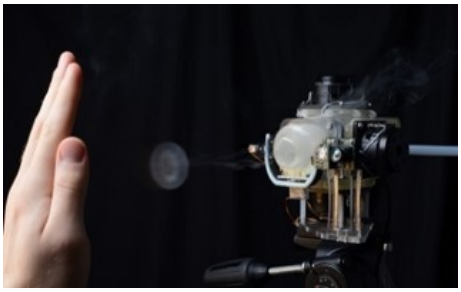
Par contact indirect – "*mid-air*"

Figure 6.2 Interfaces à retour de force : a) ...

Figure 6.3 Interfaces à retour de force : a) ...

Figure 6.4 Interfaces à retour tactile par contact direct : a) ...

Figure 6.5 Interfaces à retour tactile par contact direct : a) ...



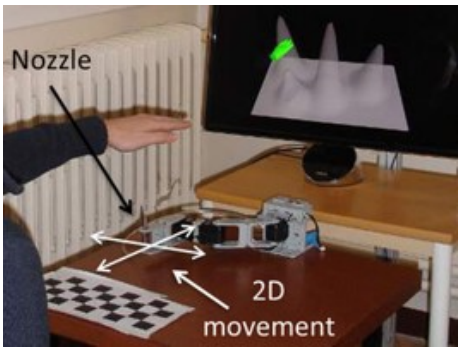


Figure 6.6 Interfaces à retour tactile par contact indirect : a) ...

Figure 6.7 Interfaces à retour tactile par contact indirect : a) ...

ANNEXE A
APP TEST