

La main,
le cerveau
et le toucher

Édouard Gentaz

La main, le cerveau et le toucher

Approches multisensorielles
et nouvelles technologies

2^e édition
revue et actualisée

DUNOD

Maquette de couverture :
Atelier Didier Thimonier

Maquette intérieure :
www.atelier-du-livre.fr
(Caroline Joubert)

| | | |
|--|---|--|
| <p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p> |  | <p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p> |
|--|---|--|

© Dunod, 2018
11 rue Paul Bert - 92240 Malakoff
ISBN 978-2-10-078140-9

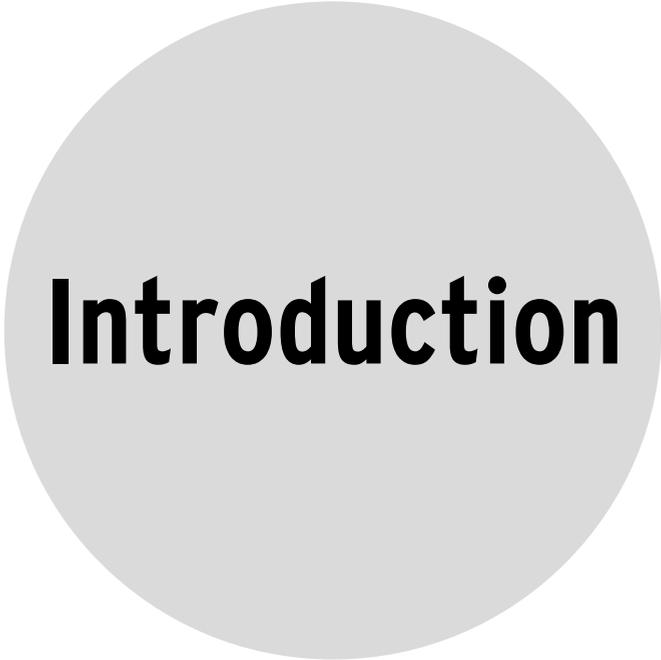
Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

| | |
|--|----|
| <i>Introduction</i> | 7 |
| CHAPITRE 1 – QUE PERÇOIVENT LES BÉBÉS AVEC LEURS MAINS DURANT LES PREMIERS MOIS ? | 17 |
| 1. La perception manuelle des objets chez les nouveau-nés nés à terme ou prématurément | 19 |
| 2. La communication entre le toucher et la vision chez les nouveau-nés | 26 |
| 3. Toucher et connaissance de soi chez les nouveau-nés..... | 30 |
| 4. Quelques capacités perceptives manuelles des bébés âgés de 4-5 mois..... | 32 |
| CHAPITRE 2 – QUELLES SONT LES CARACTÉRISTIQUES DU SENS HAPTIQUE DES ENFANTS ET DES ADULTES ? | 41 |
| 1. Une identification efficace des objets multidimensionnels | 43 |
| 2. Une perception analytique..... | 44 |
| 3. Une perception haptique coordonnée à la vision | 45 |
| CHAPITRE 3 – LE SENS HAPTIQUE DE L'ENFANT ET DE L'ADULTE PERMET-IL DE PERCEVOIR LES OBJETS COMME LA VISION ? | 51 |
| 1. La perception des propriétés spatiales des objets | 53 |
| 2. La perception de la texture des objets..... | 63 |
| CHAPITRE 4 – LE SENS HAPTIQUE EST-IL TROMPEUR ? LE CAS DES ILLUSIONS PERCEPTIVES | 67 |
| 1. Pourquoi étudier les illusions perceptives haptiques ?..... | 70 |
| 2. L'illusion de Müller-Lyer..... | 72 |
| 3. L'illusion de la verticale-horizontale..... | 75 |
| 4. L'illusion de Delbœuf..... | 78 |
| 5. Conclusion..... | 79 |
| CHAPITRE 5 – L'EXPLORATION VISUO-HAPTIQUE DES FIGURES AIDE-T-ELLE LES ENFANTS À MIEUX CONNAÎTRE LEURS PROPRIÉTÉS GÉOMÉTRIQUES ? | 81 |
| 1. Les connaissances géométriques des enfants de 5-6 ans | 85 |
| 2. L'entraînement « visuo-haptique » | 89 |

| | |
|---|-----|
| CHAPITRE 6 – LE SENS HAPTIQUE FAVORISE-T-IL L’APPRENTISSAGE DE LA LECTURE ? | 95 |
| 1. Les premiers entraînements multisensoriels..... | 98 |
| 2. Les entraînements multisensoriels modernes..... | 99 |
| | |
| CHAPITRE 7 – COMMENT FAVORISER L’APPRENTISSAGE DE L’ÉCRITURE ? | 113 |
| 1. L’utilité d’apprendre à bien tracer les lettres | 116 |
| 2. Le développement des tracés de lettres | 119 |
| 3. Les deux causes des progrès..... | 120 |
| 4. Comment apprendre à tracer des lettres?..... | 122 |
| 5. Des entraînements avec des outils de la réalité virtuelle | 123 |
| | |
| CHAPITRE 8 – COMMENT LE SENS HAPTIQUE AIDE-T-IL LES AVEUGLES ? LE BRAILLE ET LES LIVRES TACTILES ILLUSTRÉS | 135 |
| 1. La lecture et l’écriture braille..... | 137 |
| 2. Les livres tactiles illustrés..... | 145 |
| | |
| CHAPITRE 9 – QUELS SONT LES TROUBLES NEUROPSYCHOLOGIQUES DU TOUCHER ? | 155 |
| 1. Les bases neurales du toucher | 157 |
| 2. Les troubles de la perception cutanée..... | 170 |
| 3. Les troubles de la perception haptique..... | 172 |
| 4. La perception haptique et visuelle chez les personnes avec le syndrome de Williams..... | 174 |
| | |
| Index des notions..... | 189 |



Introduction

Du toucher au sens haptique manuel

Le toucher est-il un sens mineur? La réponse est bien entendu non. Dans cet ouvrage, nous allons voir que le toucher est un sens très efficace qui peut jouer un rôle essentiel dans le développement psychologique des personnes. Le toucher a la particularité (par rapport à la vision ou l'audition) d'être un sens de contact dont les récepteurs sensoriels sont situés dans les différentes couches de notre peau (cf. chap. 9). Les conséquences de cette particularité permettent d'expliquer une grande partie des propriétés de la perception manuelle présentées dans cet ouvrage. Même si l'ensemble du corps participe au sens du toucher, la bouche et les mains sont les organes les plus performants en raison du grand nombre de récepteurs sensoriels qu'ils possèdent. Nous verrons que si la bouche est utilisée par les nourrissons les premiers mois de la vie, ce sont les mains qui vont devenir progressivement les principaux organes sensoriels du toucher. Habituellement, la main est plutôt connue et étudiée pour sa « fonction motrice » de transport ou de transformation des objets de notre environnement. Cependant, elle possède aussi une « fonction perceptive » d'appropriation du monde à laquelle est dédié cet ouvrage.

Il est classique de distinguer deux types de perception tactile [1, 2] : la perception cutanée et la perception haptique (dite aussi tactilo-kinesthésique). La perception cutanée résulte de la stimulation d'une partie de la peau alors que la main est immobile. Tel est le cas lorsque le dos de la main repose sur une table et qu'un objet pointu est déplacé sur sa face interne. Dans ce cas, comme seule la couche superficielle de la peau est soumise à des déformations mécaniques, seules les informations cutanées liées à la pointe appliquée sur la main sont utilisées par le cerveau pour percevoir. Cette perception étant peu mise en œuvre dans notre vie quotidienne, elle sera relativement peu abordée dans cet ouvrage, contrairement au sens haptique manuel.

La perception haptique résulte de la stimulation de la peau provenant des mouvements actifs d'exploration de la main entrant en contact avec des objets [3, 4, 5]. C'est ce qui se produit quand, par exemple, les doigts suivent le contour d'un objet pour en percevoir la forme. Dans ce cas, s'ajoute nécessairement à la déformation mécanique de la peau celle des muscles, des articulations et des tendons (informations proprioceptives; cf. chap. 9), qui résulte des mouvements d'exploration. Des processus très complexes sont impliqués ici car ils doivent intégrer les informations cutanées et les informations proprioceptives et motrices liées aux mouvements d'exploration manuelle pour former un ensemble indissociable appelé perceptions haptiques.

Les processus haptiques sont difficiles à appréhender pour au moins deux raisons. La première est qu'ils fonctionnent la plupart de temps de façon entièrement automatique car les informations proprioceptives sont généralement traitées inconsciemment. La seconde raison est que la perception haptique exige de nombreux mouvements d'exploration volontaires, variant en fonction des caractéristiques de ce qu'il faut percevoir, qui doivent être produits par la personne pour compenser la faible zone de contact avec les objets et appréhender les objets dans leur intégralité. L'objet perçu va donc dépendre en partie de la façon dont il est exploré. Il en résulte une appréhension morcelée, parfois partielle et toujours très séquentielle, qui charge lourdement la mémoire de travail et qui nécessite, en fin d'exploration, un travail mental d'intégration et de synthèse pour aboutir à une représentation unifiée de l'objet.

De nombreuses études montrent que les caractéristiques des mouvements d'exploration ont une importance capitale sur les perceptions. Des psychologues [6] identifient, chez les adultes qui doivent classer des objets en fonction d'un critère donné, des procédures exploratoires haptiques, c'est-à-dire des ensembles spécifiques de mouvements qui se caractérisent par la nature des informations qu'ils peuvent apporter (figure 1). Certaines procédures exploratoires haptiques sont très spécialisées, d'autres plus générales. Ainsi, le frottement latéral est adapté seulement à la texture, le soulèvement au poids, la pression à la dureté du matériau. Le contact statique informe principalement sur la température et, plus approximativement, sur la forme, la taille, la texture et la dureté. L'enveloppement donne aussi des informations globales sur ces propriétés, tandis que le suivi des contours donne une connaissance précise de la forme et de la taille et une connaissance plus floue de la texture et de la dureté. Ces différentes procédures sont soit nécessaires (obligatoires pour une propriété), soit suffisantes, et certaines sont optimales, c'est-à-dire ont une efficacité maximale pour une propriété. Par exemple, le frottement latéral est optimal pour la texture, tandis que le soulèvement est nécessaire et optimal pour le poids.

Les chercheurs [7] observent une stratégie d'exploration en deux temps chez les adultes : d'abord sont produites des procédures non spécialisées, mobilisant toute la main et apportant des informations peu précises sur plusieurs propriétés, ce qui donne une connaissance globale de l'ensemble. Puis les procédures spécifiques sont mises en œuvre. Par exemple, pour la forme, les adultes commencent par la procédure générale d'enveloppement, puis passent à celle spécifique de suivi des contours.

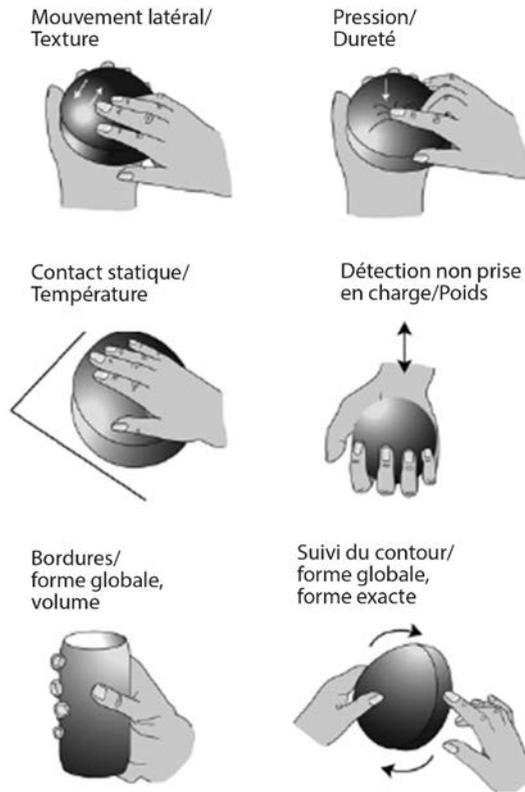


Figure 1 – Les six principales procédures exploratoires décrites par Lederman et Klatzy (1987)

Une stratégie d'exploration similaire est observée chez les enfants de 5-6 ans lorsqu'on compare les effets de l'exploration haptique de différentes formes (lettres et figures géométriques) en relief et en creux dans une tâche de reconnaissance [8]. Ainsi, les formes en relief sont plus précisément et plus rapidement discriminées que les mêmes formes en creux. Ce résultat peut s'expliquer par les procédures exploratoires haptiques utilisées par les enfants pour percevoir les deux types de formes. Pour explorer les formes en relief, ils utilisent une stratégie en deux temps, comme le font généralement les adultes. Premièrement, ils procèdent à un « enveloppement global », qui est une procédure pertinente pour reconnaître rapidement les formes. Ensuite, si cette procédure ne leur permet pas de reconnaître une forme, ils utilisent une procédure de « suivi de contour » afin d'extraire des informations sur la forme. Cette stratégie en deux temps est la plus efficace pour la reconnaissance. En revanche, pour percevoir les formes en creux, les enfants sont

conduits à utiliser seulement le suivi de contour comme procédure exploratoire, une stratégie moins efficace pour la reconnaissance.

Ce caractère spécialisé des procédures d'exploration haptique a des conséquences sur le traitement des propriétés de l'objet. Plusieurs chercheurs défendent l'idée d'une spécialisation fonctionnelle des sens, au lieu d'une vision hiérarchique des sens [9, 10]. Chaque sens excelle dans le traitement de certaines propriétés. Ainsi, nous allons voir que le sens haptique est très performant dans la perception de la texture et de la dureté des matériaux, mais il l'est moins dans celle des propriétés spatiales. Cette spécialisation s'explique sans doute par la simplicité des procédures exploratoires optimales pour percevoir la texture ou la dureté, alors que celles adaptées aux propriétés géométriques exigent des mouvements coordonnés dans le temps et dans l'espace.

Les caractéristiques du sens haptique expliquent pourquoi il n'est donc pas facile pour le scientifique d'avoir une idée exacte des facteurs responsables de tels ou tels comportements observés. C'est pourquoi sans doute le sens haptique a fait l'objet de moins d'études que la vision ou l'audition. Il n'en demeure pas moins que nous assistons depuis les années deux mille à un net regain d'intérêt de la part de la communauté scientifique pour mieux comprendre comment fonctionne notre sens haptique et comment il communique et interagit avec les autres sens. Ce regain d'intérêt s'explique probablement par des avancées non seulement méthodologiques mais aussi technologiques avec notamment les outils de la réalité virtuelle (comme les bras-robots à retour d'effort, *cf.* chap. 7). Il s'explique aussi par une prise de conscience de la part de nombreux chercheurs que l'étude d'un seul sens comme la vision ne permet pas de comprendre, d'une part, les autres sens en généralisant « simplement » les résultats observés pour la vision, et, d'autre part, le fonctionnement psychologique humain.

Le but de cette deuxième édition est donc de mettre à la disposition des lecteurs francophones non spécialistes une sélection de travaux expérimentaux issus de la psychologie et des neurosciences cognitives qui explorent ce sens de la naissance à l'âge adulte. Par travaux expérimentaux, nous entendons ceux qui, avec une méthodologie empruntée aux sciences expérimentales mais adaptée à la psychologie scientifique, tentent de fournir des preuves par l'observation des comportements des personnes dans des situations spécialement conçues pour étudier des aspects spécifiques du toucher. Plus précisément, la méthode expérimentale nous permet de choisir, face à une question de recherche et à partir de faits observés et mesurés, la réponse la plus valable. Elle permet en particulier d'apporter des

réponses qui sont parfois contraires au sens commun, aux intuitions ou aux expériences du clinicien. La méthode expérimentale a comme souci principal d'« administrer la preuve », c'est-à-dire de montrer qu'un facteur (*e.g.* une forme ou une texture) est bien la principale cause d'un comportement observé (*e.g.* une tenue plus longue d'un objet dans la main). Pour être certain que cette relation causale est univoque, il faut souvent planifier et organiser des expériences en laboratoire (ou dans les maternités, dans les écoles dans certains cas) afin de contrôler au maximum tous les autres facteurs qui sont susceptibles d'influencer les performances observées (comme les conditions expérimentales, le niveau socioculturel dont sont issus les enfants testés, etc.). Cette démarche implique de procéder à des comparaisons avec des situations « contrôles ». Des encadrés dans la plupart des chapitres présenteront plus précisément la méthode expérimentale choisie par les chercheurs.e.s pour tester leurs hypothèses. Les contraintes de la méthode expérimentale associées à des considérations éthiques font que toutes les expériences ne sont évidemment pas possibles.

L'objectif du premier chapitre est de montrer que les bébés ne sont pas seulement des « pages blanches » à nourrir et doués seulement de réflexes, mais qu'ils ont déjà certaines compétences à la naissance et un désir insatiable d'apprendre. Par exemple, nous verrons qu'ils sont capables dès les premiers jours après la naissance (à terme ou prématurée) de percevoir avec leurs mains, après quelques dizaines de secondes, certaines propriétés de petits objets palpables. Nous verrons ensuite qu'ils sont même capables dans certaines conditions de transférer ces informations sur les objets entre le toucher et la vision. Enfin, après quelques mois d'expérience, nous découvrirons certaines de leurs capacités, comme la discrimination haptique des orientations spatiales et la reconnaissance tactilo-visuelle des petites quantités. Dans le chapitre 2, nous décrirons les principales caractéristiques fonctionnelles du sens haptique, à savoir une bonne identification des objets, une perception analytique et une perception coordonnée par la vision. Dans le chapitre 3, nous montrerons que le sens haptique des enfants et des adultes permet de percevoir correctement certaines propriétés des objets de notre environnement. De plus, nous montrerons à travers l'examen des illusions perceptives dans le chapitre 4 que le sens haptique est parfois moins trompeur que le sens visuel.

Les apprentissages scolaires fondamentaux mobilisent principalement les modalités sensorielles visuelle et auditive des jeunes enfants. Nous verrons que l'ajout du sens haptique manuel dans des entraînements scolaires classiques peut améliorer leur efficacité. Dans le chapitre 5, nous verrons que l'exploration visuelle et haptique de figures élémentaires (cercle, carré, rectangle et triangle) permet aux jeunes

enfants de mieux comprendre leurs principales propriétés géométriques. Ensuite, dans le chapitre 6, nous examinerons les principales recherches qui révèlent les effets bénéfiques de l'ajout du sens haptique dans les entraînements classiques destinés à la préparation du décodage des mots, *i.e.* de la lecture. Dans le chapitre 7, nous décrirons d'abord les principales caractéristiques de l'apprentissage de l'écriture, et ensuite comment un outil de la réalité virtuelle (un bras-robot à retour d'effort) peut aider les jeunes enfants à mieux tracer des lettres. Nous verrons de même que les adultes peuvent aussi bénéficier des apports de tels outils de la réalité virtuelle. Nous verrons dans le chapitre 8 que le sens haptique peut aider à « supplanter » la perte de la vision en étudiant le cas des aveugles. Enfin, le chapitre 9 sera consacré aux bases neurales du toucher. Nous verrons que le sens haptique peut être atteint neurologiquement comme les autres sens et que ces atteintes sont responsables de troubles comportementaux ou cognitifs spécifiques.

Remarques: j'ai privilégié dans l'ouvrage, les mots « le psychologue » ou « le chercheur ». Nous assurons la lectrice et le lecteur que ce choix a pour unique but d'éviter des phrases trop lourdes, et non parce que nous aurions oublié qu'une importante partie des chercheurs et des psychologues, en France, sont des femmes.

Les chiffres entre crochets insérés au cours du texte indiquent la référence bibliographique scientifique dont sont issus les résultats présentés, permettant ainsi à tous lecteurs (ou lectrices) d'approfondir leurs connaissances.

Remerciements

Tout d'abord, ce livre est dédié à mon ancienne patronne et amie, le professeur Yvette Hatwell, à qui je dois tant.

Ensuite, je tiens absolument à remercier tous les précieux collègues et ami(e)s avec qui j'ai travaillé durant ces dernières années ou avec qui je travaille actuellement: Frédérique Audéoud-Berne, Maryse Badan, Gabriel Baud-Bovy, Kovilka Barisnikov, Christelle Bidet-Ildei, Valérie Camos, Valérie Chauvet, Philippe Claudet, Pascale Colé, Marco Congedo, Sabine Coquillart, Thierry Debillon, Stanislas et Ghislaine Dehaene, Philippe Dessus, Julien Diard, Thierry Dubillon, Florence Gaunet, Christian Graff, Bernard Hennion, Petra Huppi, Caroline Huron, Véronique Izard, Anne-Yvonne Jacquet, Caroline Jolly, Chantal Junker-Tshopp, Solène Kalénine, Gwenaël Kaminski, Anatole Lécuyer, Marion Luyat, Leila

Marcus, Karine Mazens, Jennifer Malsert, David Meary, Martial Mermillod, Jean-Pierre Orliaguet, Richard Palluel-Germain, Olivier Pascalis, Johana Parra, Yohan Payan, Éric Pétris, Yves Rossetti, David Sander, Marie Schaer, Elisabeth Spelke, Liliane Sprenger-Charolles, Arlette Streri, Danyelle Valente, Philippe Vindras, Anne Vinter, Paolo Viviani, Arnaud Witt et Pier Zanone. C'est aussi sans compter nos indispensables et irremplaçables (anciens et actuels) doctorant(e)s et/ou assistantes : Florence Bara, Laurie Bayet, Jeremy Bluteau, Caroline Cheam, Solange Denervaud, Henri Faineteau, Julie Féron, Martina Franchini, Fanny Gimbert, Anne Hillaret de Boisferon, Stéphanie Kerzerho, Elenista Krotomlides, Fleur Lejeune, Nicolas Mathieu, Amaya Palama, Anne Theurel et Lætitia Pinet. Je ne dois pas oublier tous les enseignants et les professionnels qui nous permettent de réaliser nos recherches fondamentales et/ou appliquées dans de très bonnes conditions. Je remercie également très chaleureusement Stéphanie Frileux, Yvette Hatwell, Laurence Maurin et Catherine Rivier pour la relecture attentive de certaines sections de cet ouvrage.

Enfin, je tiens à remercier les différentes institutions françaises qui m'ont soutenu ou me soutiennent encore, le CNRS, la fondation Fyssen, la région Rhône-Alpes, les ministères de la Recherche et de l'Éducation nationale, l'Agence nationale de la Recherche et les universités de Paris-V et de Grenoble. Je remercie aussi les différentes institutions suisses qui me soutiennent actuellement, et en particulier la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation de l'université de Genève et le Fonds national suisse.

Pour aller plus loin

<http://www.unige.ch/fapse/sensorimoteur/index.html>

<https://www.facebook.com/LaboSMAS/>

HATWELL Y., STRERI A., GENTAZ E. (éd.) (2000). *Toucher pour connaître*. Paris : PUF.

GRUNWALD M. (éd.) (2008). *Humain Haptic Perception*. Berlin : Birkhäuser.

HELLER, m. & GENTAZ, E. (2013). *Psychology of touch and blindness*. New York : Psychology Press.

HELLER, m. & GENTAZ, E. (2018). *Psychologie du toucher et de la cécité*. Talant : Les Doigts Qui Rêvent.