



uOttawa

L'Université canadienne
Canada's university

FACULTÉ DES ÉTUDES SUPÉRIEURES
ET POSTDOCTORALES



uOttawa

L'Université canadienne
Canada's university

FACULTY OF GRADUATE AND
POSTDOCTORAL STUDIES

Hélène Manning

AUTEUR DE LA THÈSE / AUTHOR OF THESIS

M.A. (activité physique)

GRADE / DEGREE

École des sciences de l'activité physique

FACULTÉ, ÉCOLE, DÉPARTEMENT / FACULTY, SCHOOL, DEPARTMENT

Modification de la perception tactile des formes chez la population âgée

TITRE DE LA THÈSE / TITLE OF THESIS

François Tremblay

DIRECTEUR (DIRECTRICE) DE LA THÈSE / THESIS SUPERVISOR

CO-DIRECTEUR (CO-DIRECTRICE) DE LA THÈSE / THESIS CO-SUPERVISOR

EXAMINATEURS (EXAMINATRICES) DE LA THÈSE / THESIS EXAMINERS

Yves Lajoie

Heidi Sveistrup

Gary W. Slater

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES ÉTUDES SUPÉRIEURES ET POSTDOCTORALES /
DEAN OF THE FACULTY OF GRADUATE AND POSTDOCTORAL STUDIES

MODIFICATION DE LA PERCEPTION TACTILE
DES FORMES CHEZ LA POPULATION ÂGÉE

HÉLÈNE MANNING

B.Sc.(PT), Université d'Ottawa, 2003

Thèse soumise à la
Faculté des études supérieures et postdoctorales
dans le cadre des exigences
du programme de Maîtrise ès Arts en Sciences de l'activité physique

École des Sciences de l'Activité Physique
Faculté des Sciences de la Santé
Université d'Ottawa

© Hélène Manning, Ottawa, Canada, 2005



Library and
Archives Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Published Heritage
Branch

Direction du
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file *Votre référence*
ISBN: 0-494-11338-3
Our file *Notre référence*
ISBN: 0-494-11338-3

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.


Canada

REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche n'aurait plus été complété sans les judicieux conseils, les instructions et la patience de mon superviseur de thèse Dr François Tremblay. Merci à mon copain Erik, parents, beaux-parents et amies pour leur support et encouragements tout au long de ces deux dernières années.

Un autre remerciement aux Dr Heidi Sveistrup et Dr Yves Lajoie, les membres de mon comité de thèse, pour leurs suggestions.

Également, merci à l'École des Sciences de l'activité physique pour me permettre de faire ce projet, et les sujets de mon étude pour leur temps et dévouement. Un gros merci au Club 60 de Vanier pour leur collaboration précieuse pour le recrutement des sujets.

Finalement, merci aux organismes pour leur support financier, soit le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada et l'Université d'Ottawa, pour m'avoir octroyé une bourse d'étude supérieure de maîtrise et une bourse d'excellence, respectivement.

Mes sincères remerciements à tout le monde pour m'avoir permis de vivre une expérience aussi stimulante et constructive.

ABBREVIATIONS

PC	système afférent associé aux récepteurs de Pacini
RAI	système afférent à adaptation rapide associé aux récepteurs de Meissner
SAI	système adaptation lente associé aux récepteurs de Merkel
SAII	système adaptation lente associé aux récepteurs de Ruffini
SI	cortex somatosensoriel primaire (aires 3a, 3b, 1, 2)
SII	cortex somatosensoriel secondaire
V1	cortex visuel (V1 primaire, aire 17)
VPL	noyau thalamique ventro-postéro-latéral

RÉSUMÉ

Le vieillissement s'accompagne généralement d'un déclin des capacités sensorielles. Le présent travail visait donc à déterminer comment la perception tactile des formes est modifiée avec l'âge. Quarante-cinq sujets ont été recrutés et répartis en deux groupes d'âge. Les sujets devaient explorer activement des stimuli de différentes complexités spatiales soit de simples grillages, soit des lettres en relief comme stimulus complexe avec la pulpe de l'index de la main dominante. Pour les formes simples, les sujets devaient répondre si le grillage était orienté verticalement ou horizontalement selon l'axe du doigt. Pour les formes complexes, les sujets devaient identifier la lettre présentée. Les résultats ont montré que le groupe âgé exhibait un déclin marqué dans la capacité à discriminer des formes tactilement, et que ce déclin était encore plus marqué dans le cas des formes complexes. Le facteur « âge » constituait la principale source de variance expliquant la performance de discrimination de formes et un impact différentiel de l'âge pour la performance dans les deux tâches a également été révélé. Il existait aussi un lien étroit entre les seuils de résolution spatiale estimés avec des grillages et la capacité à identifier des lettres tactilement. Enfin, des différences qualitatives ont aussi été observées entre les deux groupes dans les patrons d'identification pour la reconnaissance de lettres. Ces données confirment que la perception tactile des formes est grandement affectée par le vieillissement normal et le fait que la discrimination de formes complexes montre un déclin plus important que celle de formes simples suggère que des altérations additionnelles sont présentes au niveau du traitement central de l'information tactile spatiale dans le vieillissement normal.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
REMERCIEMENTS	iii
ABBRÉVIATIONS	iv
RÉSUMÉ	v
CHAPITRE	
I INTRODUCTION	1
Contexte général	2
Objectif général.....	4
Hypothèse de travail	5
II REVUE DE LA LITTÉRATURE	7
Bases neurophysiologiques de la discrimination spatiale tactile	8
Les récepteurs périphériques.....	8
Les mécanorécepteurs superficiels	9
Les mécanorécepteurs profonds.....	10
Traitement central de l'information spatiale tactile.....	11
Études par imagerie cérébrale chez l'homme	14
Psychophysique de la perception tactile des formes.....	16
La perception des formes et la discrimination des traits spatiaux	16
La mesure de l'acuité spatiale.....	17
Les limites de la résolution spatiale.....	20
La résolution spatiale dans le vieillissement.....	21
Conséquences neurobiologiques du vieillissement.....	22
Sommaire de la revue de la littérature	24

III	MÉTHODES, APPAREILLAGE ET PROCÉDURES	26
	Éthique	27
	Sujets	27
	Processus de sélection et administration du test de détection à la vibration.....	28
	Stimuli pour évaluer la reconnaissance tactile des formes	29
	Procédure d'administration des tests de discrimination.....	30
	Test de reconnaissance de formes simples.....	30
	Test de reconnaissance de formes complexes.....	31
	Analyses des données	32
IV	RÉSULTATS.....	34
	Analyse comparative au plan quantitatif de la performance globale pour la reconnaissance tactile de formes simples et complexes en fonction de l'âge.....	35
	Performance globale pour la reconnaissance tactile de formes	35
	Relations entre les deux tâches de reconnaissance tactile	37
	Impact relatif de l'âge sur la performance de reconnaissance tactile	37
	Analyse comparative au plan qualitatif de la performance pour la reconnaissance tactile de lettres	38
	Matrices de confusion stimulus-réponse.....	38
	Patrons de confusion spécifiques	40
V	DISCUSSION.....	42
	Performance globale de reconnaissance tactile dans les deux tâches	43
	Effet relatif de l'âge sur les tâches de reconnaissance tactile	45
	Différences qualitatives dans la reconnaissance de lettres en fonction de l'âge.....	46
	Mécanismes sensoriels du déclin pour la reconnaissance tactile des formes avec le vieillessement	48

Déclin dans la perception tactile des formes simples	49
Déclin dans la perception tactile des formes complexes	50
VI CONCLUSION.....	56
RÉFÉRENCES	59
TABLEAUX	66
LÉGENDE DES FIGURES.....	67
FIGURES	
Figure 1	69
Figure 2	70
Figure 3	71
Figure 4	72
Figure 5	73
Figure 6	74
ANNEXES	
A Certificat d’approbation d’éthique.....	75
B Questionnaire de santé	76
C Détection de vibration.....	77
D Dômes grillagés JVP.....	78
E Lettres en relief	79

Chapitre I
Introduction Générale

Contexte général de cette étude

Les primates en général, et les humains en particulier, sont dotés d'un sens du toucher très développé. La peau glabre de la main et la pulpe des doigts plus spécifiquement est richement pourvue en mécanorécepteurs cutanés ce qui nous permet d'apprécier les aspects tangibles des objets et d'interagir avec notre environnement. La main constitue donc l'organe du toucher par excellence.

En tant qu'être humain, nous possédons une habileté très raffinée pour apprécier les propriétés tangibles des objets et des surfaces dans notre environnement au moyen du toucher. Les tâches qui évaluent l'acuité spatiale notamment, fournissent des informations critiques sur la perception tactile puisque la résolution des détails spatiaux suppose une représentation fidèle à tous les niveaux d'analyse de la périphérie jusqu'au cortex. La discrimination spatiale nous permet non seulement de différencier les propriétés géométriques des surfaces et des objets mais aussi de localiser précisément les sites stimulés sur le corps (Johnson, Yoshioka, & Vega-Bermudez, 2000). Plusieurs études ont exploré les changements de discrimination spatiale tactile liés au vieillissement. Ces études ont montré, par exemple, qu'une diminution de la discrimination spatiale tactile pouvait mener à une détérioration de la dextérité manuelle (Tremblay, Wong, Sanderson, & Cote, 2003) et aussi affecter l'équilibre (Jeka & Lackner, 1995) en général. Bien que la perte d'acuité tactile avec l'âge s'explique en grande partie par une réduction dans la densité des mécanorécepteurs en périphérie, un déclin pourrait aussi survenir au niveau du traitement central.

Une façon possible d'évaluer la contribution périphérique et centrale au déclin de la discrimination spatiale tactile relié à l'âge est de choisir des stimuli de différentes

complexités spatiales. Il est connu que le système SAI joue un rôle critique dans la résolution tactile spatiale de formes simples et de formes complexes (Johnson, 2001). Ce système comprend les mécanorécepteurs cutanés à adaptation lente de Merkel, qui sont situés superficiellement au niveau de l'épiderme. Ces mécanorécepteurs sont liés à un nerf afférent afin de transporter l'information du petit champ récepteur cutané vers le cortex somatosensoriel. Le système SAI répond aux stimuli statiques et dynamiques. Les études ont démontré que lorsqu'une forme simple comme un grillage est présentée à la pulpe de l'index, la discrimination de l'orientation des rainures sur la peau dépend de l'appréciation des différences entre les structures spatiales de la réponse neurale d'une orientation par rapport à l'autre. Par contre, lorsqu'une forme complexe comme une lettre en relief est présentée pour la reconnaissance, l'identification nécessite une représentation optimale ou quasi optimale de la structure spatiale entière du stimulus, considérant le grand nombre de possibilités (1/26).

Aucune étude ne s'est attardée jusqu'à présent à comparer l'aptitude des personnes âgées à discriminer des formes simples de formes complexes. Par contre, une étude réalisée par Vega-Bermudez et Johnson (2001) a comparé la discrimination spatiale de l'index, du majeur et de l'annulaire bilatéralement chez une population jeune et en santé. Ils ont démontré que l'index est le doigt le plus sensible pour la discrimination spatiale et que la performance des autres doigts était comparable entre eux. Chez ces sujets jeunes, il existait une forte corrélation ($Rho=0.61$) entre l'aptitude à discriminer l'orientation des grillages et la reconnaissance tactile de lettres. La diminution de la discrimination tactile avec le vieillissement est particulièrement évidente et notable dans les extrémités (les mains et les pieds) (Stevens & Choo, 1996). Stevens et Choo (1996)

ont démontré que l'acuité spatiale se détériorait d'environ 1% par année à compter de la 2^{ème} décennie. Une telle détérioration est probablement la résultante d'une exposition aux tâches manuelles répétitives tôt dans la vie (Tremblay, Cuenco, Backman, Vant, & Wassef, 2000; Tremblay, Mireault, Letourneau, Pierrat, & Bourrassa, 2002; Tremblay et al., 2003), mais pas aux habitudes de vie; soit le niveau d'activité physique, une histoire de consommation de tabac et la qualité de la circulation sanguine cutanée périphérique (Stevens, Alvarez-Reeves, Dipietro, Mack, & Green, 2003). Cette détérioration reflète vraisemblablement une altération au niveau périphérique (par ex., réduction de l'innervation mécanoréceptive fonctionnelle) ou au niveau central (par ex., dégradation des cartes sensorielles) ou les deux. La contribution relative de ces niveaux cependant n'est pas encore établie avec certitude.

Objectif général

Par rapport aux données relatives aux autres sens telle la vision et l'audition, les conséquences du vieillissement au niveau de la perception tactile demeurent encore méconnues. Dans ce contexte, il apparaît primordiale de déterminer comment le vieillissement normal affecte la perception tactile dans ses divers aspects. Aucune étude ne s'est attardée notamment à explorer comment l'aptitude à discriminer tactilement des formes spatiales plus ou moins complexes se modifie avec l'âge. Le présent travail s'inscrit donc dans le contexte d'une démarche visant à mieux décrire et comprendre comment la perception spatiale des formes tactiles est modifiée avec l'âge.

Hypothèses de travail

La perception tactile des formes requiert que les détails spatiaux de l'objet touché soient transmis fidèlement de la périphérie jusqu'au cortex cérébral. Dans le champ de la psychophysique tactile, l'utilisation de formes simples, tels les grillages, ou complexes, telles les lettres, est couramment utilisée pour étudier la perception spatiale. De telles formes sont faciles à fabriquer, aisément identifiables, et fournissent donc des stimuli plus qu'adéquats pour évaluer la capacité de résolution spatiale des formes. Il va de soi que la reconnaissance tactile de formes complexes, comme les lettres en relief, représente un processus plus élaboré que la discrimination de formes simples, puisqu'il requiert des ressources neurales additionnelles non seulement en termes d'analyse spatiale (i.e., haute fidélité de la représentation des lettres), mais aussi en termes d'analyse cognitive (i.e., retrait de l'information lexicale d'une grande variété de choix). La comparaison de l'aptitude à discriminer des formes simples et complexes chez les personnes âgées va ainsi nous permettre de mieux cerner comment la détérioration de l'acuité spatiale avec l'âge reflète des changements soit au niveau central, soit au niveau périphérique. On anticipe que les sujets âgés ayant préservé une bonne acuité spatiale pour discriminer des formes simples (par ex., orientation de grillage) pourraient présenter des difficultés lorsque confrontés à une tâche de reconnaissance de formes complexes (par ex., lettres en relief). Chez ces sujets, le déclin de l'aptitude à discriminer les formes complexes pourrait représenter un indice de détérioration au niveau du traitement central de l'information spatiale. À l'opposé, les sujets âgés dont l'aptitude à discriminer des formes simples est pauvre, devraient être encore moins en mesure de discriminer des formes

complexes. Chez ces derniers sujets, le déclin de l'acuité spatiale serait largement attribuable à une réduction de l'innervation mécanoréceptive en périphérie.

Chapitre II
Revue de la littérature

La perception tactile a fait l'objet de plusieurs études au cours des récentes années à partir des travaux combinant la psychophysique et la neurophysiologie des sensations tactiles. Historiquement, les chercheurs Weber et Fechner ont fourni par leurs travaux les bases actuelles de l'étude des sensations tactiles (Vallbo & Johansson, 1984). La psychophysique est désignée comme étant l'étude de la relation entre la quantité d'un stimulus physique et les propriétés de la perception perçues par un sujet dans une situation contrôlée (Vallbo & Johansson, 1984). La neurophysiologie sensorielle vise à étudier les mécanismes d'encodage au niveau des fibres nerveuses afférentes et de leurs projections centrales. De nos jours, ces deux techniques sont combinées afin de mieux cerner les bases psychophysiques et neurophysiologiques de la discrimination spatiale tactile.

Bases neurophysiologiques de la discrimination spatiale tactile

Les récepteurs périphériques

La peau glabre de la main des primates comporte quatre types de mécanorécepteurs cutanés (Johnson, 2001). Chaque type de mécanorécepteur est innervé à partir d'un type d'afférence sensitive qui lui est propre. Ces fibres afférentes mécanoréceptives peuvent être divisées selon la vitesse d'adaptation à une stimulation continue. Environ 44% des fibres afférentes sont à adaptation lente (SA) et déchargent constamment en présence d'une stimulation statique tandis que le reste des fibres sont à adaptation rapide (RA) et ne déchargent que lors de la phase dynamique des stimuli appliqués sur la peau (Johansson & Vallbo, 1983). Les récepteurs sont répartis différemment dans le derme; deux sont dans la couche superficielle (SAI et RAI), tandis

que les deux autres (SAII et PC) sont dans la couche profonde de la peau. Chaque type de récepteur possède des propriétés d'encodage différentes selon la configuration de leurs champs réceptifs, de leur répartition et de leur densité dans la peau (Craig & Rollman, 1999; Johansson & Vallbo, 1983; Johnson, 2001; Johnson et al., 2000; Pasterkamp, 1999; Vallbo & Johansson, 1984). Deux populations, soit les RAI et SAI, sont d'une importance majeure pour apprécier les formes en raison de leur grande densité.

Les mécanorécepteurs superficiels. Les afférences RAI, associées aux corpuscules de Meissner, sont retrouvées dans la couche superficielle de l'épiderme. Ces récepteurs possèdent un champ récepteur bien circonscrit (3-5 mm) et innervent la peau glabre d'une façon très dense ($\sim 150/\text{cm}^2$) sur la pulpe des doigts chez l'humain et le primate (Darian-Smith & Kenins, 1980; Johansson & Vallbo, 1983; Johnson, 2001; Vallbo, Olsson, Westberg, & Clark, 1984). Ces récepteurs répondent aux stimuli couvrant tout leur champ récepteur d'une façon uniforme, ce qui leur confère alors une pauvre résolution spatiale puisqu'ils transmettent des images neurales globales (Johnson, 2001). Ces récepteurs seraient impliqués dans la détection des glissements entre la peau et un objet tenu dans la main afin de donner un feedback rapide et ainsi permettre d'ajuster la force de préhension rapidement (Johnson, 2001; Johnson et al., 2000). Ce type de récepteur est très sensible aux détails fins des structures spatiales qui ne sont pas perçues par les récepteurs du système SAI, mais possède une résolution spatiale très pauvre (Johnson, 2001; Johnson & Hsiao, 1992). Ces récepteurs seraient également sensibles aux vibrations de basses fréquences entre 40-60 Hz (Johnson et al., 2000).

Les afférences SAI, associées aux disques de Merkel, sont également retrouvées dans la couche superficielle de l'épiderme. Ces récepteurs possèdent un champ récepteur bien défini (2-3 mm) (Johnson, 2001). Ceux-ci sont répartis densément ($\sim 80 /\text{cm}^2$) à la pulpe des doigts et possèdent une résolution spatiale très fine, jusqu'à 0.5 mm, ce qui permet une représentation fidèle du stimulus tactile au système nerveux central (Darian-Smith & Kenins, 1980; Johansson & Vallbo, 1983; Johnson, 2001; Vallbo & Johansson, 1984). Les SAI sont particulièrement sensibles aux discontinuités spatiales et aux rebords en raison des propriétés de leur champ récepteur (zone d'excitation avec pourtour d'inhibition). Cette sensibilité leur permet de transmettre avec fidélité les attributs spatiaux peu importe l'orientation et la force appliquée, d'où leur rôle critique pour la perception des formes et des textures (Johansson & Vallbo, 1983; Johnson, 2001; Johnson & Hsiao, 1992; Johnson et al., 2000; Vega-Bermudez & Johnson, 1999). Le système afférent SAI serait également impliqué dans la perception de rugosité lors de l'exploration de textures (Johnson & Hsiao, 1992).

Les mécanorécepteurs profonds. Les afférences PC, associées aux corpuscules de Pacini, sont retrouvées profondément dans le derme. On retrouve en moyenne $\sim 13 /\text{cm}^2$ au niveau des doigts (Darian-Smith & Kenins, 1980; Johnson, 2001). Ces récepteurs sont caractérisés par une extrême sensibilité aux vibrations de hautes fréquences situées entre 150-350 Hz (Johansson & Vallbo, 1983; Johnson, 2001; Johnson et al., 2000; Pasterkamp, 1999). Par contre, ces récepteurs contribuent peu à la résolution spatiale en raison de leur localisation profonde, de leur rapidité d'adaptation et de la taille de leur champ récepteur, lequel peut s'étendre sur une main entière (Johnson, 2001). Ces

récepteurs filtrent également les vibrations de basses fréquences et leur grande sensibilité aux vibrations permet la détection de stimuli dynamiques à distance lorsqu'un objet est tenu dans la main (Johnson, 2001; Johnson & Hsiao, 1992; Johnson et al., 2000).

Enfin, les afférences SAII, associées aux corpuscules de Ruffini (SAII), sont également retrouvées profondément dans le derme. Les SAII ne sont pas très denses, leur champ récepteur est environ cinq fois plus gros et six fois moins sensibles au toucher que les SAI (Johnson, 2001; Johnson et al., 2000; Vallbo & Johansson, 1984). Ces récepteurs sont responsables pour la transmission de l'information de l'étirement de la peau dans une direction précise et permettent de percevoir le mouvement d'un objet ou d'une force appliquée sur la peau (Johansson & Vallbo, 1983; Johnson, 2001; Johnson et al., 2000). Ils joueraient également un rôle combiné aux fuseaux neuromusculaires et aux afférences articulaires pour la perception de la forme de la main et de la configuration des doigts par l'étirement des tissus environnants (Johnson, 2001; Johnson et al., 2000).

En résumé, les afférences SAI contribueraient grandement à la discrimination spatiale, et les afférences RAI pourraient contribuer légèrement à la résolution spatiale d'une forme simple ou d'une forme complexe, tandis que les afférences PC et SAII ne seraient pas ou peu impliquées dans la discrimination spatiale.

Traitement central de l'information spatiale tactile

Selon Amaral (dans Principles of Neural Sciences, 2000), les signaux en provenance des afférences mécanoréceptives empruntent la voie des colonnes dorsales et le système lemniscal médian. Les fibres afférentes provenant des mécanorécepteurs cutanés se dirigent dans la racine dorsale et vers la colonne dorsale de la moelle épinière

avant de monter dans la voie des colonnes dorsales. Le faisceau *cuneatus* achemine les informations en provenance des membres supérieurs et du tronc supérieur et le faisceau *gracilis* achemine les informations provenant de la partie inférieure du tronc et des membres inférieurs. Au niveau du bulbe inférieur (caudal), les afférences font synapses au niveau des noyaux correspondants (n. *cuneatus* et n. *gracilis*) selon l'origine de la sensation. Les neurones de 2^{ième} ordre envoient ensuite des projections qui croisent la ligne médiane (décussation) pour former le lemniscus médian. Les projections lemniscales remontent en médial dans le pons et le mésencéphale jusqu'au thalamus pour faire synapse dans le noyau ventro-postéro-latéral (VPL) du thalamus. Le noyau VPL envoie ensuite des projections de manière somatotopique dans le gyrus post-central correspondant au cortex somatosensoriel primaire (SI, aires 3a, 3b, 1 et 2 de Brodmann) ainsi qu'au cortex somatosensoriel secondaire (SII, aire 43 de Brodmann) (Amaral, 2000).

Les aspects spatiaux encodés dans la décharge des fibres afférentes SAI se distribuent dans les aires 3b, 1 et 2 du cortex SI ainsi que dans le cortex SII (Bodegård, Geyer, Grefkes, Zilles, & Roland, 2001; Kaas & Collins, 2001; Phillips, Johnson, & Hsiao, 1988; Sathian, 1989). L'aire 3b est critique pour toutes les tâches discriminatives tactiles requérant un traitement fin de l'information spatiale (par ex., forme, texture) et son ablation unilatérale chez les primates adultes affecte justement l'acquisition de ces tâches (Carlson, 1985; Randolph & Semmes, 1974). L'aire 3b reçoit en effet des projections très denses des afférences cutanées du système lemniscal médian, et surtout des afférences cutanées à adaptation lente (Carlson, 1981, 1985; Randolph & Semmes, 1974). D'après Phillips et coll. (1988), les neurones à adaptation lente de cette aire

transmettraient des images neurales précises des lettres avec des réponses de qualités, de complexités et de variétés remarquables. Ces neurones joueraient donc un rôle majeur dans le processus d'analyse d'information pour la reconnaissance de motifs et de formes tactiles.

L'aire 1 serait particulièrement importante pour les tâches nécessitant une discrimination de texture, ce qui est confirmé par le déficit sélectif observé dans le cas de lésion de cette aire chez les primates non-humains (Carlson, 1981, 1985; Randolph & Semmes, 1974). Les neurones de cette aire répondent d'une façon moins structurées aux motifs tactiles en traduisant le stimulus en une image neurale plus vague (Phillips et al., 1988). Des enregistrements dans les aires 3b (SI) et 1 chez les primates ont permis de trouver que certaines neurones du cortex (surtout provenant du système SAI) déchargent d'une façon à représenter les aspects spatiaux des grillages et des lettres qui sont présentés sur l'index (Burton & Sinclair, 1994; Phillips et al., 1988; Sathian, 1989; Sinclair & Burton, 1991). Les neurones SAI de l'aire 3b seraient alors de bons candidats pour encoder l'information des attributs spatiaux pour le processus de reconnaissance de formes (Phillips et al., 1988; Sathian, 1989). Quant à l'aire 2, elle participerait aussi au traitement de l'information pour la discrimination des formes, mais surtout en ce qui a trait aux aspects plus macrogéométriques (i.e., taille, saillies de l'objet manipulé) (Carlson, 1981; Randolph & Semmes, 1974). Iwamura et Tanaka (1978) ont décrit que les neurones de l'aire 2 présentaient souvent des propriétés complexes encodant à la fois la décharge des afférences cutanées et aussi celle des afférences articulaires profondes.

Le cortex SII serait principalement responsable pour l'apprentissage de la discrimination de textures et de formes et servirait également de voie pour transmettre

l'information tactile du SI vers les structures limbiques du lobe temporal via le cortex insulaire chez les primates (Caselli, 1993; Murray & Mishkin, 1984). L'ablation de cette aire se manifesterait par un seuil élevé pour la discrimination de rugosité chez les primates (Murray & Mishkin, 1984) et une agnosie tactile chez les humains (Caselli, 1993). Les neurones du cortex SII semblent posséder des propriétés différentes. Ses champs récepteurs sont plus étendus, reçoivent des afférences des deux côtés du corps et distribueraient des sous modalités dans les différentes régions de SII, comparativement aux neurones de SI ce qui présuppose des fonctions comportementales différentes à ce niveau (Carlson & Burton, 1988; Caselli, 1993).

Études par imagerie cérébrale chez l'homme. Récemment, Bodegard (2001), Deibert (1999), James (2002), Sathian, Zangaladze, Hoffman & Grafton (1997), Servos (2001) et Zangaladze et coll. (1999) ont démontré à l'aide de techniques d'imagerie cérébrale chez les humains que l'aptitude à reconnaître des formes simples, comme l'orientation des grillages, et des formes complexes impliquerait non seulement l'activation des aires somatosensorielles SI et SII, mais aussi celle des aires visuelles associatives contralatérales du cortex pariéto-occipital et des régions frontales inférieure et polaire. Chez les primates tout comme chez les humains, on retrouve une grande proportion de neurones visuel sélectifs pour l'orientation dans la fissure pariéto-occipitale (Zangaladze et al., 1999). Cette aire visuelle associative ne serait pas impliquée pour l'analyse des aspects microgéométriques (discrimination de texture), mais bien pour les aspects macrogéométriques (orientation et forme) (O'Sullivan, Roland, & Kawashima, 1994; Zangaladze et al., 1999) et générerait une représentation interne de l'objet chez l'humain

(Deibert et al., 1999). L'étude de O'Sullivan et coll. (1994) a permis de démontrer que la tâche de discrimination macrogéométrique nécessite une activation plus étendue des régions corticales comparativement aux aspects microgéométriques. Ces régions incluent notamment le gyrus supramarginal bilatéralement dans l'aire somatosensorielle associative, le gyrus angulaire intrapariétal bilatéral ainsi que la région frontale inférieure et la région supérieure polaire, en plus de l'activation des aires 3b, 1 et 5 dans le cortex pariétal postérieur contralatéral. Bodegård et coll. (2001) ont montré que la représentation d'une forme tactile est traitée de façon hiérarchique d'abord dans les aires 3b, 1, 2 de SI, puis au niveau du gyrus angulaire dans la région intrapariétale et finalement dans le gyrus supramarginal. Les aires 3b et 1 constituent donc le niveau premier de la hiérarchie et seraient responsables de la représentation des traits de formes de l'objet touché encodés dans la décharge des mécanorécepteurs périphériques, notamment en provenance du système afférent SAI. L'aire 2 contralatérale évaluerait de préférence les changements d'aspérités de courbures et de rebords à la surface (Iwamura & Tanaka, 1978). Les gyri angulaire et supramarginal seraient ultimement responsables de l'intégration des signaux tactiles menant à la reconnaissance et l'identification de l'objet touché (Bodegård et al., 2001). Les régions frontales (le gyrus frontal inférieure et le gyrus frontal supérieur avec la région polaire) seraient responsables de nommer l'objet selon une stratégie lexicale simultanée à l'exploration et joueraient un rôle dans la mémoire de travail visuospatiale (Deibert et al., 1999).

En somme, la revue des études sur les mécanismes neurophysiologiques de la reconnaissance tactile indique que le système afférent SAI, et dans une moindre mesure RAI, sont impliqués dans l'encodage et la transmission fidèle des traits de formes des

objets et motifs contactés par les doigts. Ces informations sont ensuite soumises à un traitement hiérarchique au niveau des aires somatosensorielles du cortex cérébral faisant intervenir les aires 3b, 1 et 2 ainsi que les régions intrapariétales associatives, plus spécifiquement la portion du gyrus angulaire et supramarginale, dépendamment de la complexité de la forme touchée par les doigts.

Psychophysique de la perception tactile des formes

La discrimination spatiale tactile se réfère à l'aptitude à discriminer et à résoudre les détails géométriques fins des objets et des surfaces au toucher (Johnson & Hsiao, 1992). Elle peut être mesurée à l'aide de stimuli de textures ou de formes. Plusieurs études ont été menées au fil des années. Les études qui se sont attardées à la perception de formes sont passées en revue ci-dessous.

La perception des formes et la discrimination des traits spatiaux

La perception de formes permet de discriminer les structures géométriques d'une surface ou d'un objet (Johnson et al., 2000; LaMotte & Srinivasan, 1987a, 1987b, 1993, 1996; LaMotte, Srinivasan, Lu, & Klusch-Petersen, 1994; Srinivasan & LaMotte, 1987). Afin de percevoir une forme, il faut savoir en apprécier les aspects spatiaux au moyen d'un contact direct avec la peau (Johnson & Hsiao, 1992). La capacité de résolution spatiale est affectée par plusieurs facteurs, par exemple, la présence ou non de mouvement d'exploration, par la vitesse de passage du doigt sur l'objet et par la hauteur ou le relief de l'objet en question (Johnson & Lamb, 1981; Johnson & Phillips, 1981; Johnson et al., 2000; Vega-Bermudez, Johnson, & Hsiao, 1991). Il est à noter que la

capacité de résolution spatiale n'est pas affectée par la présentation active ou passive de la forme et par la force de contact (entre 0.2-1 N) sur la peau (Johnson & Lamb, 1981; Johnson & Phillips, 1981; Johnson et al., 2000; Oldfield & Phillips, 1983; Phillips, Johansson, & Johnson, 1992; Vega-Bermudez et al., 1991). La capacité des non-voyants à lire le Braille constitue un bel exemple d'application de la discrimination spatiale. Les points doivent être représentés sous une forme détaillée afin de permettre l'identification de la lettre ou du mot en question (Johnson & Hsiao, 1992; Phillips, Johansson, & Johnson, 1990).

Divers types de stimuli techniques ont été utilisés afin d'étudier la capacité de discrimination spatiale. On retrouve, entre autres, la discrimination deux pointes, la détection de rainures dans une surface trois dimensions, les grillages simples (par ex., dômes JVP) et la reconnaissance de lettres (Craig, 1999; Craig & Rollman, 1999; Johnson & Phillips, 1981; Johnson et al., 2000; Tremblay et al., 2000; Vega-Bermudez et al., 1991).

La mesure de l'acuité spatiale tactile. Les différents stimuli pour évaluer la discrimination spatiale comportent des avantages et des inconvénients au niveau théorique et pratique qui leurs sont propres. Le test de discrimination deux pointes a été classiquement le test standard jusqu'à ce qu'on remette en question sa validité comme indice de l'acuité spatiale. Selon Johnson et coll. (1981; 2000), la discrimination deux pointes est un test problématique au niveau méthodologique afin d'évaluer l'acuité spatiale. Les critères utilisés par les sujets pour la discrimination de deux pointes *versus* une pointe semblent arbitraires. En fait, on a montré que les sujets basaient leur

discrimination plutôt sur des indices d'intensité (i.e., augmentation de l'intensité de la sensation lors de la présentation d'une pointe comparativement à deux) plutôt que sur des indices spatiaux (Craig & Rollman, 1999; Johnson & Phillips, 1981; Johnson et al., 2000). La détection de rainures sur des surfaces autrement continues semble être une meilleure méthode que la discrimination deux pointes (Craig & Rollman, 1999; Stevens & Cruz, 1996; Stevens & Patterson, 1995). Par contre, selon Johnson et Phillips (1981), cette technique peut être également critiquée, puisque les mécanorécepteurs du système SAI sont exceptionnellement sensibles aux bordures et la présence de rainures dans un bloc pourrait causer une augmentation de l'intensité des décharges de ces mécanorécepteurs.

Les grillages simples, tels les dômes JVP, quant à eux, constituent des stimuli valides pour tester la discrimination spatiale tactile. Ces dômes sont constitués de petits boutons de plastique contenant des rainures et sillons de largeurs égales qui sont appliqués au niveau de la pulpe de l'index. Le test qui consiste à déterminer la capacité à discriminer l'orientation des sillons sur la peau semblerait être exempt de facteurs (par ex., différence d'intensité) contaminant la performance de discrimination (Johnson et al., 2000). Une procédure par choix forcé avec alternative permet d'augmenter la validité de cet outil (Craig & Rollman, 1999; Van Boven & Johnson, 1994a). Cette technique d'évaluation de la discrimination spatiale a également été étudiée chez les personnes ayant un déficit sensitif suite à une chirurgie maxillo-faciale. Dans ce cas, la discrimination d'orientation des grillages s'est avérée la technique la plus sensible à détecter la récupération sensorielle chez ces sujets (Van Boven & Johnson, 1994b). Une autre étude par Vega-Bermudez et Johnson (2001) a démontré l'absence de différence

d'acuité spatiale pour l'orientation de grillages entre la main droite et la main gauche, malgré l'acuité plus grande de l'index. Van Boven et Johnson (1994b) ont également confirmé le fait que les seuils d'acuité estimés avec les dômes JVP étaient stables lors de tests répétés (~2 % de variation par session). Les seuils obtenus avec les dômes correspondent aux limites imposées par la densité des récepteurs. Bref, la tâche de discrimination d'orientation de grillages simples sur la peau constitue un test simple, valide et fidèle pour estimer l'acuité spatiale.

La reconnaissance de lettres ou de motifs en relief est une autre forme de tâche permettant d'évaluer l'acuité spatiale tactile. L'utilisation de ce type de stimuli est moins connue, mais plusieurs études supportent leur validité et fidélité et les facteurs qui influencent la reconnaissance sont aussi bien connus (Johnson & Phillips, 1981; Johnson et al., 2000; Loomis, 1990; Vega-Bermudez & Johnson, 2001; Vega-Bermudez et al., 1991). L'utilisation de lettres en relief permet de minimiser les indices d'intensité et d'assurer que la performance est reliée seulement à l'appréciation des structures spatiales et de l'image neurale produite par la lettre (Johnson & Phillips, 1981; Vega-Bermudez et al., 1991). L'étude de Vega-Bermudez et coll. (1991) a permis de démontrer que la performance de reconnaissance de lettres n'est affectée que légèrement par le mode d'exploration (toucher actif ou passif), la vitesse et la force de contact. Ils ont également confirmé que l'entraînement et la répétition n'améliorent que légèrement la capacité de reconnaissance (~4% amélioration par session). Des études entreprises par Phillips et coll. (1981) ont déterminé que des caractères ayant une largeur de trait minimal de 0.5 mm et une taille d'au moins 3.0 mm permettaient une reconnaissance fiable (40-60% correct). D'après Loomis (1990), la capacité de reconnaître une lettre tactilement dépend

de la transformation du stimulus en une représentation interne, le sujet devant comparé le stimulus transformé avec les autres représentations possibles provenant des autres lettres.

En somme, tant les grillages simples comme les dômes JVP que les lettres en relief constituent des stimuli valides pour tester la discrimination spatiale. Les grillages constituent des formes simples dont la discrimination n'exige qu'une représentation des discontinuités entre sillons. Les lettres, par contre, constituent des formes complexes comportant une variété de traits (i.e., lignes diagonales, verticales, horizontales) dont la reconnaissance suppose non seulement une représentation fidèle au niveau tactile mais aussi un traitement au niveau lexical.

Les limites de la résolution spatiale. Les normes de la discrimination spatiale de l'index chez la population jeune pour les différents stimuli utilisés varient selon le type d'acuité testé et le site testé. Le seuil pour la discrimination de deux pointes sur la pulpe de l'index a été estimé ~2 mm. Cette limite est assez loin de la limite théorique imposée par la densité des récepteurs à cet endroit. En fait, on a montré que des sujets pouvaient discriminer une pointe de deux pointes, même lorsque la distance entre les deux est nulle, ce qui renforce la conclusion que le test de deux pointes ne mesure pas vraiment l'acuité spatiale (Johnson & Phillips, 1981; Nolan, 1982). Concernant la discrimination de rainures, la littérature comporte des données normales pour les jeunes adultes, et ce seuil se situe à environ 0.87 mm (Johnson & Phillips, 1981). Pour la discrimination de l'orientation du grillage (dôme JVP), la littérature rapporte des données normatives chez différentes populations. Les jeunes adultes possèdent un seuil variant entre 0.84-1.7 mm sur l'index variant avec la méthode d'évaluation empruntée (Craig, 1999; Johnson &

Phillips, 1981; Sathian & Zangaladze, 1996; Tremblay et al., 2003; Van Boven & Johnson, 1994a; Vega-Bermudez & Johnson, 2001). Tel que mentionné ci-haut, pour la reconnaissance de lettres en relief, une taille de caractère de 3.0 mm mène à une identification correcte à 50% (Johnson & Phillips, 1981). Par contre, en doublant la taille des lettres (par ex., 6.0 mm de hauteur) avec un relief de 0.5 mm, la performance de reconnaissance atteint 75% d'identification correcte (Vega-Bermudez et al., 1991).

La résolution spatiale dans le vieillissement

Plusieurs études ont démontré une réduction de la résolution spatiale tactile chez les personnes âgées (Stevens & Cruz, 1996; Stevens & Patterson, 1995; Tremblay et al., 2000; Tremblay et al., 2003). Il est important de noter toutefois que cette diminution varie grandement entre les individus (Stevens & Cruz, 1996; Stevens & Patterson, 1995). La capacité de localiser un stimulus tactile se trouve perturbée chez la population âgée, et cette diminution se manifeste surtout aux extrémités avec des augmentations de l'ordre de 130% dans les seuils mesurés à la pulpe de l'index et de 400% à la grosse orteil (Stevens & Choo, 1996). La discrimination de rainures dans un bloc a permis de constater que la largeur détectée en millimètre chez les personnes âgées est de 1.5 à 3 fois supérieure à celle mesurée chez des jeunes adultes sur l'index (Stevens & Cruz, 1996; Stevens & Patterson, 1995) et de 1.5 fois sur la joue et l'avant-bras (Leveque, Dresler, Ribot-Ciscar, Roll, & Poelman, 2000).

La discrimination tactile mesurée à l'aide d'outils valides et fidèles se trouve également affectée dans le processus du vieillissement normal. Les études se servant des grillages/dômes JVP ont également démontré une diminution de l'acuité spatiale.

Tremblay et coll. (2000; 2003), Sathian, Zangaladze, Green, Vitek & DeLong (1997) et Wohlert (1996) ont tous conclu que la capacité à résoudre l'orientation du grillage sur l'index ou sur la lèvre est grandement diminuée chez les personnes âgées, avec des seuils (largeurs de sillons) passant du double au triple de ceux retrouvés chez les jeunes adultes.

Conséquences neurobiologiques du vieillissement

Lors du vieillissement, plusieurs changements surviennent au niveau du système nerveux périphérique et du système nerveux central. En périphérie, les changements s'observent au niveau du derme et des mécanorécepteurs (Bruce, 1980; Bruce & Sinclair, 1980; Fenske & Lober, 1986). Woodward (1993) a examiné, par exemple, la relation entre les seuils de discrimination spatiale et les propriétés mécaniques de la peau (souplesse, flexibilité) dans différents groupes d'âge. Ces résultats montraient que la souplesse du derme (mesurée en terme de distance d'indentation en mm) n'était que faiblement corrélée avec les seuils d'acuité spatiale mesurés à l'index. L'auteur concluait que des facteurs, autres que mécaniques, liés au système nerveux devaient expliquer les réductions d'acuité dans le vieillissement. Dans une étude plus récente, Vega-Bermudez et Johnson (2004) arrivaient à la même conclusion en mesurant le niveau de conformité de la pulpe de l'index au moment de l'application de dômes JVP chez des sujets jeunes et âgés. Leurs résultats montraient que la conformité de la peau au stimulus était similaire dans les deux groupes d'âge et ne pouvait donc rendre compte du déclin lié à l'âge. En somme, ces données indiquent que le déclin de l'acuité spatiale est un phénomène attribuable surtout à des changements au niveau neural et non pas à des changements au niveau du derme.

Dans une revue de la littérature sur les effets de l'âge sur la peau, Fenske & Lober (1986) faisaient remarquer que, outre les changements notés au niveau du derme (i.e., réduction des glandes endocrines, ralentissement de la régénération cellulaire), des changements majeurs affectaient aussi l'innervation cutanée. Par exemple, les corpuscules de Meissner et les corpuscules de Pacini diminuent d'environ un tiers de leur densité initiale entre la deuxième et la neuvième décennie. Les auteurs mentionnent également la présence des changements au niveau de la forme et de la grosseur de ces récepteurs cutanés chez les personnes âgées. Une étude réalisée par Bruce (1980) a pu établir un lien entre la diminution de l'innervation mécanoréceptive, et tout spécialement des récepteurs de Meissner (RA), et la perte de sensibilité cutanée dans les doigts. Outre la perte de récepteurs, la transmission sensorielle par les afférences mécanoréceptives serait aussi moins efficace (Goransson, Mellgren, Lindal, & Omdal, 2004).

Au niveau central, on note aussi des changements liés à l'âge dans la substance blanche ainsi que dans le cortex, susceptibles d'affecter le traitement de l'information sensorielle. Plusieurs auteurs (Flood & Coleman, 1988; Peters, Morrison, Rosene, & Hyman, 1998) font remarquer cependant que ces changements morphologiques seraient variables d'un individu à l'autre et affecteraient différemment les régions du cortex. Au-delà des altérations morphologiques, les modifications affectant l'efficacité des circuits synaptiques (i.e., altérations neurochimiques affectant les connexions), pourraient aussi intervenir dans le déclin perceptif et cognitif notés avec l'âge. Ainsi, la réduction des capacités mnésiques serait possiblement attribuable à des altérations structurelles et moléculaires affectant des circuits spécifiques. Par exemple, la diminution de la densité des récepteurs NMDA (N-méthyl-D-aspartate) dans l'hippocampe affecterait

l'innervation cholinergique et serait impliquée dans le déclin mnésique noté dans le vieillissement (Morrison & Hof, 1997). Greenwood (2000), dans une revue de la question, a examiné l'hypothèse suivant laquelle le déclin cognitif/perceptif noté avec l'âge serait surtout lié à des changements morphologiques affectant les lobes frontaux (i.e., vieillissement frontal). L'auteur réfutait cette hypothèse sur la base que les fonctions indépendantes (par ex., attention visuospatiale, mémoire implicite) étaient affectées au même titre que celles dépendantes (par ex., mémoire de travail) de l'intégrité frontale, et soutenait que le déclin résultait plutôt des changements dans l'efficacité des connexions liant les différentes régions associatives corticales dans les différents lobes du cerveau.

En somme, tant les changements périphériques que centraux pourraient interférer avec la capacité des personnes âgées à discriminer des formes au moyen du contact tactile.

Sommaire de la revue de la littérature

En résumé, les études antérieures sur les mécanismes neurophysiologiques et psychophysiques de la discrimination spatiale tactile permettent de mieux comprendre les changements reliés au déclin de la perception de formes survenant lors du vieillissement.

La neurophysiologie de la discrimination spatiale illustre l'importance des afférences SAI et RAI nécessaires pour transmettre fidèlement les aspects spatiaux des objets en contact avec la peau. Ces informations sont ensuite analysées au niveau du cortex cérébral de façon hiérarchique. L'analyse implique les aires de SI (aires 3b, 1 et 2), les régions intrapariétales somatosensorielles associatives, soit une portion des gyri angulaire et supramarginale, selon la complexité de la forme touchée par le doigt et les

régions frontales inférieure et supérieure polaire. Le degré de participation des systèmes périphériques et centraux pour la perception de formes tactile chez les personnes âgées n'est pas encore connu.

La psychophysique utilisant les dômes JVP et les lettres en relief sont des stimuli spatiaux valides pour évaluer la discrimination spatiale. Les dômes JVP constituent un stimulus de formes simples, tandis que les lettres produisent un stimulus de formes complexes. La discrimination de l'orientation des grillages (dômes JVP) a permis de mesurer la capacité de résolution sur l'index chez les personnes âgées et ce seuil se trouve doublé et même triplé de celui des jeunes adultes. Aucune étude ne s'est penchée sur la performance d'identification des lettres en relief chez la population âgée.

Chapitre III

Méthodes, appareillage et procédures

Éthique

Le comité d'éthique de la recherche en Sciences de la Santé et Sciences de l'Université d'Ottawa a jugé que les procédures utilisées dans cette étude étaient conformes aux normes de l'éthique (certificat joint à l'annexe A). Chaque sujet a fourni un consentement éclairé avant de participer.

Sujets

Pour déterminer comment le vieillissement affecte le déclin de la perception tactile des formes, 45 sujets ont été recrutés pour cette étude. Les sujets étaient répartis en deux groupes d'âge: jeune (n=20) et âgé (n=25). Les jeunes adultes ont été recrutés parmi la population étudiante sur le campus de l'Université d'Ottawa. Les personnes âgées ont été recrutées dans un centre communautaire pour personnes âgées (Club 60 de Vanier, dans la région d'Ottawa-Carleton). Pour participer à cette étude, les sujets devaient être en bonne santé et exempt des problèmes suivants: syndrome du tunnel carpien, neuropathie, dystonie focale, problèmes cardiaques ou respiratoires, diabète, paralysie, accident cérébro-vasculaire, maladie de Parkinson, arthrite sévère, sclérose en plaques et/ou conditions dermatologiques. Un questionnaire de santé (voir annexe B) a été administré afin d'évaluer ces conditions de santé et les facteurs occupationnels pouvant affecter le niveau de fonction et la capacité de discrimination tactile chez les gens. Environ 5 minutes ont été prises afin de compléter ce questionnaire. Tous étaient en bonne santé et aucun ne présentait d'antécédents susceptibles d'affecter la performance dans les tests. La présence possible de neuropathie non diagnostiquée, notamment dans le groupe âgé, a été éliminée car tous les sujets présentaient des seuils de détection

vibratoire (apophyse styloïde et phalange distale de l'index) correspondant aux normes établies pour le test du diapason de Rydel-Seiffer (voir le tableau 1). Les caractéristiques communes des deux groupes sont résumées dans le tableau 1. Les sujets ont reçu une indemnité pour leur temps et leur déplacement.

Processus de sélection et administration du test de détection à la vibration

Outre le questionnaire de santé, les sujets potentiels ont été sélectionnés sur la base du test de détection à la vibration afin d'éliminer ceux pouvant présenter des signes de neuropathies avancées. Le diapason gradué de Rydel-Seiffer de 64Hz (US Neurologicals; Kirkland, WA) a été utilisé à cette fin. Cet outil permet de déterminer les seuils de détection de vibration sur plusieurs proéminences osseuses et de les comparer avec des données normatives selon les groupes d'âge. Un triangle et une échelle arbitraire imprimés sur les poids calibrés aux extrémités (0= score minimum à la base et 8= score maximum au sommet) permettent d'estimer le seuil de détection à la vibration. En vibrant, les triangles apparaissent double et ainsi indique de façon exponentielle l'amplitude décroissante des fourchettes sur l'échelle (0 vers 8). Le seuil est mesuré lorsque le sujet indique que la vibration n'est plus ressentie. Selon les auteurs, les gens âgés de moins de 40 ans devraient obtenir un seuil supérieur à 6.5/8, les gens âgés entre 41-85 ans devraient avoir un seuil supérieur à 6.0/8 et les gens de 85 ans et plus devraient obtenir un seuil supérieur à 5.5/8 lorsque le membre supérieur est évalué (Martina, van Koningsveld, Schmitz, van der Meche, & van Doorn, 1998). Également, Pestronk et coll. (2004) ont montré que la somme des seuils normaux au niveau de l'index chez les gens de moins de 60 ans et chez ceux de plus de 60 ans est de 13.4 ± 0.3 et 11.8 ± 0.5

respectivement en utilisant un diapason de même fréquence. Pour être admis dans l'étude (voir annexe C), les sujets devaient présenter un seuil d'au moins 6.0/8 dans le groupe âgé et un seuil $> 6.5/8$ chez les jeunes adultes au test de perception de vibration au niveau de la surface dorsale de l'articulation interphalangienne distale de l'index et du processus styloïde de l'ulna. Tous les sujets examinés ont présenté des seuils répondant aux normes pour leur groupe d'âge et ne présentaient donc pas de signes de neuropathies au membre supérieur.

Stimuli pour évaluer la reconnaissance tactile des formes

Afin d'évaluer la discrimination spatiale de formes simples et complexes, des dômes JVP et des lettres en relief ont été utilisés. Les dômes JVP (JVP domes, Stoelting Instruments; Wood Dale, IL) consistent en des grillages façonnés sur une surface convexe (20 mm de diamètre) montée sur un embout cylindrique (30 mm de longueur) (voir annexe D). Chaque dôme à grillage comporte des rainures et sillons de largeur similaires. La série comporte huit largeurs de grillages (3.0, 2.0, 1.5, 1.2, 1.0, 0.75, 0.50, 0.35 mm de rainure) auxquelles des largeurs additionnelles ont été ajoutées (4.0, 3.5, 2.5 mm) afin d'améliorer la sensibilité d'évaluation chez les personnes âgées (Tremblay et al., 2003).

Les lettres en relief ont été obtenues à partir d'un processus de reproduction d'images sur des plaques photosensibles de nylon flexible (dimensions; hauteur: 6mm, largeur: 0.5-7mm, relief: 1 mm). Les lettres de police Stewardson ont d'abord été imprimées à haute résolution (600 pp) à partir d'une imprimante laser. Ensuite, des négatifs ont été produits à partir de ces copies dans un centre de photographie et

d'imprimerie. Par la suite, les négatifs ont été expédiés dans un centre de photogravure (Productions CML; Montréal, PQ) afin de procéder au moulage des lettres sur le nylon flexible. Chaque lettre a ensuite été taillée et montée individuellement sur des blocs rectangulaires de 2.5 cm³ afin de faciliter leur présentation (voir annexe E).

Procédure d'administration des tests

Test de reconnaissance de formes simples: discrimination de l'orientation de grillages

Le premier test était la discrimination d'orientation des grillages (dômes JVP) afin d'évaluer l'habileté à reconnaître des formes simples. La procédure a déjà été décrite ailleurs (voir Tremblay et al., 2000; Tremblay et al., 2003). Brièvement, les sujets étaient assis dans une pièce silencieuse, le membre supérieur dominant positionné en supination sur une table pour présenter la pulpe de l'index vers le haut tout en le gardant immobile. Une boîte placée au-dessus de l'avant-bras permettait d'éliminer les indices visuels. Le sujet devait répondre immédiatement après l'application du dôme au centre de la pulpe de l'index si le dôme était présenté verticalement (en long) ou horizontalement (en large) selon l'axe du doigt. Après une explication claire et précise de la tâche à accomplir, une séance de pratique avec les dômes de 4 mm pour les personnes âgées et de 3 mm pour les jeunes adultes a eu lieu avant de procéder au test. Pour faciliter la tâche, un aide visuel démontrant les deux orientations possibles (en large ou en long) a été placée à proximité des sujets. Dans le cadre de ce projet, la performance de reconnaissance a été évaluée en pourcentage correct pour des dômes de largeur spécifique (jeunes: 0.75, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0 mm; âgés: 1.2, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 mm). Chaque dôme a été appliqué sur la pulpe de l'index

pour ~2 secondes selon l'une des deux orientations, soit « EN LARGE, », soit « EN LONG » par rapport à l'axe longitudinale de la phalange. Les deux orientations ont été appliquées alternativement, avec une probabilité égale, suivant un ordre aléatoire dans une série d'essais successifs ($n=50/d\acute{o}me$). La performance a été calculée en terme de pourcentage de reconnaissance d'orientation correct sur l'ensemble des essais (i.e., $N_{correct}/250 \times 100$). Le seuil de résolution spatiale correspondant à la largeur minimale de rainure discriminée avec une probabilité de 75% a été aussi mesuré pour chaque sujet dans les deux groupes.

Test de reconnaissance de formes complexes: identification de lettres en relief

Les sujets étaient assis confortablement, l'avant bras reposant sur une table d'examen. Pour assurer la fiabilité de la reconnaissance, les sujets ont d'abord été soumis à une période d'entraînement de 10-15 minutes. En premier lieu, ils étaient invités à inspecter d'abord visuellement, puis tactilement avec la pulpe de l'index, chacune des 26 lettres de l'alphabet. Une insistance était accordée sur les traits de formes spécifiques de chacune des lettres, telle la barre horizontale de la lettre « H » ou la queue de la lettre « Q » la distinguant du « O ». Ensuite, une série d'essais de pratique avec feedback visuel et verbal était effectuée en présentant un éventail de lettre allant de la faible probabilité de confusion, tel le « I » à une haute probabilité, tel le « Q » (souvent pris pour un « O »). Une fois que les sujets étaient familiers avec la tâche, la performance d'identification était testée formellement. La vue de la main dominante étant obstruée, les sujets exploraient la lettre en utilisant des mouvements de balayage avec la pulpe de l'index de la main dominante. Le sujet devait ensuite identifier la lettre présentée (paradigme de

choix forcé). Chaque lettre était présentée trois fois dans un ordre aléatoire pour un total de 78 présentations par sujets (3 X 26). La performance a été déterminée en calculant le pourcentage d'identification correcte de lettres sur l'ensemble (i.e., $N_{\text{correct}}/78 \times 100$). La performance de reconnaissance a également été comparée dans les groupes jeune et âgé utilisant une matrice stimulus-réponse (matrice de confusion 26 X 26) afin d'analyser les patrons de confusion (i.e., combien de fois la lettre « A » est prise pour un « H », et vice-versa) pour chaque lettre individuelle (voir Vega-Bermudez et al., 1991). Chaque entrée (par ex., dans la rangé i et colonne j), représente le nombre de fois que le stimulus S_i provoque la réponse R_j . La colonne de droite représente le nombre total de présentation de chaque lettre. Le nombre sous chaque colonne représente le nombre total de fois que la lettre a été donnée comme réponse. La ligne diagonale encadrée représente les réponses correctes.

La procédure d'administration de tous les tests s'étalait environ sur 1h30.

Analyses des données

Des analyses descriptives (moyenne \pm écart-type; étendue) ont été réalisées avec les différentes variables obtenues aux tests de détection vibratoire à l'index et à l'ulna, au seuil de détection d'orientation des grillages et à la performance aux tests de reconnaissance de formes simples et complexes afin de comparer les deux groupes.

Plusieurs analyses statistiques ont été réalisées. La première est une analyse de variance univariée (ANOVA) à mesures répétées. Le pourcentage global respectif de reconnaissance correcte déterminé dans les tâches de discrimination de formes simples (dômes JVP) et de reconnaissance de lettres ont été entrés dans une ANOVA à mesures

répétées avec le type de forme comme facteur intra-sujets (simple vs. complexe), tandis que le groupe d'âge (âgé vs. jeune) et le genre (féminin vs. masculin) étaient des facteurs entre sujets. Afin de faire le suivi de l'interaction significative de l'ANOVA, un test-t pairé a été réalisé pour comparer la performance de reconnaissance des formes simples vs. complexes à l'intérieur des deux groupes d'âge. Finalement, deux régressions linéaires ont été réalisées. La première a été effectuée afin d'évaluer l'effet de la résolution spatiale tactile sur la performance d'identification de lettres pour les deux groupes d'âge combinés. La deuxième régression linéaire a été réalisée afin d'évaluer l'effet de l'âge sur la performance de reconnaissance tactile pour les deux tâches à l'intérieur des deux groupes d'âge. Considérant la correction de Bonferroni, seulement les valeurs de $p < 0.01$ étaient considérées comme significatives. Toutes les analyses statistiques ont été exécutées au moyen du logiciel SPSS v. 12.0.0 pour Windows.

Enfin, des analyses qualitatives ont été effectuées afin de comparer les matrices de confusion stimulus-réponse et les patrons de confusion des lettres entre les deux groupes d'âge. D'abord, la séquence de lettres en ordre séquentiel croissant a été établie selon le pourcentage de réponses correctes pour toutes les lettres dans les deux groupes d'âge. Ensuite, le taux d'erreur et les patrons de lettres stimulus-réponse ont été comparés pour déterminer les patrons d'erreur spécifiques entre les groupes.

Les graphiques ont été préparés avec les logiciels SPSS v. 12.0.0 et GraphPad Prism v. 4.0 pour Windows (GraphPad Software, San Diego, CA, USA, <http://www.graphpad.com>).

Chapitre IV

Résultats

I-Analyse comparative au plan quantitatif de la performance globale pour la reconnaissance tactile de formes simples et complexes en fonction de l'âge

Des quarante-cinq sujets recrutés, quarante-quatre ont complété les tests sans grandes difficultés. Cependant, un sujet du groupe jeune a éprouvé des difficultés de concentration lors du test de reconnaissance de lettres, forçant son élimination. Celui-ci exprimait de la fatigue lors du test d'identification de lettres causée par son emploi au cours de la journée. Ainsi, au total, les analyses statistiques ont porté sur 19 sujets dans le groupe jeune et 25 dans le groupe âgé.

Performance globale pour la reconnaissance tactile de formes

La figure 1 illustre les différences notées dans les niveaux de performance individuels pour les deux tâches de reconnaissance (A: Orientation de grillages, B: Identification de lettres) dans les deux groupes. Pour l'orientation de grillages (Figure 1 A), on peut constater que la performance globale des sujets du groupe âgé était, en moyenne, inférieure à celle du groupe jeune ($70 \pm 7\%$ vs. $77 \pm 8\%$) respectivement, bien que la gamme des grillages testées était plus large que celle du groupe jeune (1.2-3.0 mm vs. 0.75-2.0 mm). Cette différence pour la discrimination de l'orientation de grillages était reflétée aussi dans les seuils d'acuité spatiale déterminés pour les deux groupes (jeune: 1.2 ± 0.3 mm; âgé: 2.4 ± 0.6 mm).

En ce qui a trait à l'identification tactile de lettres, le groupe jeune a également obtenu une meilleure performance ($88 \pm 8\%$) que le groupe âgé ($53 \pm 20\%$), tel

qu'illustré dans la figure 1 B. Une analyse détaillée de la performance pour chaque lettre a fait ressortir quelques différences qualitatives importantes entre les deux groupes (Figure 2). Par exemple, alors que les lettres « A » et « G » étaient aisément reconnues dans le groupe jeune (>90% correct), ces même lettres affichaient des performances de reconnaissance nettement inférieures dans le groupe âgé (56 et 57 %, respectivement). Par contre, les lettres « H », « M » et « N » étaient parmi celles les plus souvent confondues autant pour le groupe jeune (taux de reconnaissance, 67, 33 et 65%) que le groupe âgé (taux de reconnaissance, 32, 31 et 33%). Les différences qualitatives dans la tâche d'identification de lettres seront illustrées plus en détails dans la prochaine section.

Les résultats de l'analyse de variance ont confirmé le fait que le facteur « groupe d'âge » constituait la principale source ($F_{(1,40)}=32.31, p<0.001$) de la variabilité observée dans la performance de reconnaissance tactile pour les formes. En effet, la différence d'âge expliquait 45% de la variance de la performance selon le type de forme. L'analyse statistique a également révélé une interaction significative entre le type de forme (grillages vs. lettres) et le groupe d'âge (forme*groupe, $F_{(1,40)}=22.33, p<0.001$), indiquant l'existence de différence des performances entre les deux tâches à l'intérieur de chaque groupe. Ainsi, le groupe jeune a obtenu une meilleure performance à la tâche de reconnaissance de lettres ($88 \pm 8\%$) comparativement aux orientations de grillages ($77 \pm 8\%$) de façon significative ($t_{(19)}=-6.86, p<0.001$). Par contre, le groupe âgé a obtenu une meilleure performance pour l'orientation de grillages par rapport à la reconnaissance de lettres (grillages, $70 \pm 7\%$ vs. lettres, $53 \pm 20\%$; $t_{(24)}=4.23, p<0.001$). Aucun autre effet ou interaction ne sont ressortis avec les autres variables.

Relations entre les deux tâches de reconnaissance tactile

La figure 3, A et B, illustre la relation entre le seuil de résolution spatiale dérivé de la performance avec les grillages et le pourcentage correct d'identification de lettres pour les deux groupes. Dans la figure 3 A, l'acuité spatiale tactile a été divisée arbitrairement en trois catégories; soit bonne (seuils <1.5 mm), moyenne (seuils 1.5-2.5 mm) et pauvre (seuils > 2.5 mm) selon les seuils de résolution spatiale estimés chez les sujets. On peut remarquer que le groupe jeune affichait dans l'ensemble une très bonne résolution spatiale au niveau de l'index tandis que le groupe âgé exhibait des seuils plus variables allant de moyen à pauvre. La figure illustre bien le lien évident entre l'acuité spatiale mesurée avec les dômes grillagés et la capacité à identifier les lettres tactilement. De même, on voit bien que dans le groupe âgé, le degré de déclin dans l'acuité spatiale s'accompagne d'une plus grande difficulté à identifier les lettres. La capacité des seuils de résolution spatiale à prédire la performance dans la reconnaissance de lettres est confirmée par la valeur hautement significative du coefficient de détermination calculé à partir de la régression linéaire entre les deux variables (Figure 3 B). En somme, ces résultats démontrent bien l'existence d'un lien étroit entre, d'une part, les seuils de résolution spatiale estimés au moyen des dômes JVP et, d'autre part, l'aptitude à identifier des lettres tactilement avec le bout du doigt.

Impact relatif de l'âge sur la performance de reconnaissance tactile

La figure 4 (A-D) illustre les relations observées entre les performances respectives de reconnaissance pour l'orientation de grillages (A et C) et pour l'identification de lettres (B et D) en fonction de l'âge des sujets dans les deux groupes.

On peut constater en A et C que la capacité à discriminer l'orientation de grillages ne variait que faiblement avec l'âge dans les deux groupes ($r^2 < 0.1$). Par contre, la performance d'identification de lettres (B et D) semblait plus affectée par les variations dans l'âge. Cependant, cette relation n'était significative que dans le cas du groupe âgé, où la variation en âge expliquait une proportion très significative ($r^2 = 0.34$, $p < 0.01$) de la variance dans la reconnaissance de lettres. En somme dans le groupe âgé, l'avancement en âge affectait différemment la performance de reconnaissance tactile de formes simples vs. celle de formes complexes.

En résumé, le groupe âgé a démontré un déclin de la résolution spatiale tactile au test de discrimination d'orientation de grillages, et un déclin encore plus évident au niveau de la reconnaissance tactile de lettres comparativement au groupe jeune. Également, il existe un lien étroit entre les seuils de résolution spatiale estimés avec des grillages et la capacité à identifier des lettres tactilement avec le bout du doigt. L'avancement en âge affecte beaucoup plus la performance de reconnaissance tactile de formes complexes que de formes simples.

II-Analyse comparative au plan qualitatif de la performance pour la reconnaissance tactile de lettres

Matrices de confusion stimulus-réponse

La figure 2 montre les deux matrices de confusion stimulus-réponse obtenues aux fins de comparaison entre les deux groupes (A: Groupe jeune; B: Groupe âgé). En examinant ces matrices de confusion, on remarque que le groupe âgé a fait

considérablement plus d'erreurs d'identifications de lettres que le groupe jeune. On constate également que certains patrons d'erreurs ressortent dans chacun des groupes.

À partir des matrices de confusion, on peut calculer un taux d'erreur relatif ($Taux_{ER}$) pour chacune des lettres, par exemple pour la lettre A :

$$Taux_{ER} = (N_{A_{total}} - N_{A_{correcte}}) \div n_A \times 100\% ; \text{Où}$$

$N_{A_{total}}$ = Nombre total de fois que la lettre « A » est donnée comme réponse,

$N_{A_{correcte}}$ = nombre de fois que la lettre « A » est donnée comme bonne réponse,

n_A = nombre de fois que la lettre « A » a été présentée.

En raison de la très grande disparité dans la performance, ce taux est évidemment différent entre les deux groupes. Ainsi, alors que le groupe jeune exhibait un $Taux_{ER}$ moyen de 12 % (i.e., 182 erreurs /1482), celui du groupe âgé était environ quatre fois plus élevé à 47% (915 erreurs/1950). Des différences qualitatives ressortent aussi lorsque les lettres sont placées en ordre séquentiel croissant suivant leur $Taux_{ER}$ respectif (du plus bas au plus élevé). Dans le groupe jeune, la séquence était formée des lettres suivantes :

« G I L O C J Q U A E X W Y D K P T V F S R B Z H N M » ;

alors que dans le groupe âgé, la séquence était constituée des lettres suivantes :

« O I Q J L U C W T G A D Y Z B P K X E S V N H F M R » .

Ainsi, alors que les lettres « O » et « I » sont aisément identifiées dans les deux groupes, il est surprenant de voir que le « G » est toujours reconnu par le groupe jeune ($Taux_{ER} = 0\%$), alors que la même lettre mène à un $Taux_{ER}$ moyen de 40% dans le groupe âgé. On peut faire le constat pour le « X », avec un $Taux_{ER} < 10\%$ chez les jeunes (11^e dans l'ordre) comparativement à 60% chez le groupe âgé (18^e ordre). Ces différences qualitatives et quantitatives dans la performance sont illustrées plus clairement à la figure

5, laquelle compare les taux relatifs d'identification correcte (i.e., $Taux_{IR}$ correspondant à la réciproque du $Taux_{ER}$) pour chacune des lettres dans les deux groupes. On constate que la majorité des lettres se retrouvent à la droite de la diagonale du fait de la meilleure performance des sujets jeunes par rapport à ceux âgés. Il est intéressant de constater que seulement deux des 26 lettres, soit « M » et « O », à chacun des bouts du spectre de performance, ont conduit à des $Taux_{IR}$ comparables dans les deux groupes (jeune: $Taux_{IR}$ « M » 33%, $Taux_{IR}$ « O » 100%; âgé: $Taux_{IR}$ « M » 31%, $Taux_{IR}$ « O » 93%).

Patrons de confusion spécifiques

Tel que mentionné auparavant, des différences qualitatives ont été observées entre les sujets âgés et les sujets jeunes quant à la capacité à reconnaître tactilement les lettres. En analysant plus spécifiquement les profils de stimulus-réponse, il est possible de faire ressortir certains patrons d'erreurs entre les groupes en ce qui a trait notamment à des couples de lettres aisément confondus (par ex., combien de fois « A » est pris pour « R »). La figure 6 A compare, dans un premier temps, les taux d'erreur absolu ($Taux_{EA}$) calculées pour chacune des lettres dans chacun des deux groupes de la façon suivante (exemple de la lettre « A »):

$$Taux_{EA} = (N_{A \text{ total}} - N_{A \text{ correcte}}) \div N \times 100\% ; \text{Où}$$

$N_{A \text{ total}}$ = Nombre total de fois que la lettre « A » est donnée comme réponse,

$N_{A \text{ correcte}}$ = nombre de fois que la lettre « A » est donnée comme bonne réponse,

N = nombre total d'erreurs de chaque groupe; jeune ($N = 182$), âgé ($N = 915$).

On peut y voir que trois lettres, soit « H », « M » et « N » ont été plus souvent confondues que les autres dans le groupe jeune. Dans le groupe âgé, l'agglomération des lettres ensembles illustre le fait que ces sujets ont commis des erreurs sur un plus grand éventail de lettres et diminuant ainsi le taux d'erreur absolu pour chacune des lettres.

Dans la figure 6 B, on compare les Taux ER respectifs mesurés pour des couples de lettres souvent confondues (par ex., « B » et « D ») dans chacun des groupes. Vu leur excellente performance, les sujets du groupe jeune exhibaient nécessairement moins de couples de confusion (20 sur une possibilité de 325) par rapport au groupe âgé (83/325). Néanmoins, les couples « stimulus-réponse »: « BD », « MN » et « ZX » étaient plus spécifiquement confondus dans le groupe jeune, tandis que le groupe âgé, vu leur mauvaise performance, exhibait toute une variété de couples de confusion, les plus fréquents étant les couples: « DO », « GC », « MH », « NH », « VY ».

Enfin, le groupe âgé a eu une plus grande difficulté à identifier tactilement les lettres comparativement au groupe jeune. Cette difficulté est démontrée par les nombreuses erreurs dans les matrices stimulus-réponse autant qualitativement que quantitativement avec un taux d'erreur plus élevé et les multiples patrons de confusion spécifiques à cette population.

Chapitre V

Discussion

Cette étude est l'une des premières à tenter de décrire et de comprendre comment le vieillissement affecte la perception tactile des formes. De manière générale, les résultats ont montré que l'avancement en âge affectait sensiblement la capacité des personnes âgées à discriminer et reconnaître des formes au niveau de la pulpe des doigts. Le groupe âgé exhibait en effet des performances globales très inférieures comparativement au groupe jeune. Les données ont permis de mettre aussi en évidence le fait que le déclin dans la perception spatiale avec l'âge était affecté différemment selon la complexité des formes à discriminer. Dans la discussion qui suit, nous allons tenter dans un premier temps de mieux cerner la signification de ces résultats en insistant notamment sur l'importance des différences observées dans la performance entre les deux groupes d'âge. Ensuite, nous examinerons les mécanismes sensoriels possiblement impliqués dans le déclin de l'acuité spatiale tactile pour les formes chez la population âgée.

Performance globale de reconnaissance tactile dans les deux tâches

L'analyse de la performance globale dans les deux tâches a montré que les sujets jeunes exhibaient une facilité nettement plus grande à discriminer les formes tactilement par rapport aux sujets âgés. Les seuils de résolution spatiale pour les grillages mesurés chez les jeunes, notamment, étaient en moyenne 2X inférieur (1.2 ± 0.3 mm) à ceux retrouvés dans le groupe âgé (2.4 ± 0.6 mm). Incidemment, ces seuils de résolution correspondent aux normes déjà établies dans les études antérieures pour des populations dans les mêmes groupes d'âge (Tremblay et al., 2003; Vega-Bermudez & Johnson, 2001, 2004). En ce qui a trait à la tâche d'identification de lettres, la performance de reconnaissance du groupe jeune se démarquait aussi nettement de celle du groupe âgé. À

cet égard, le Taux_{IR} approchant les 90% correct contraste avec les travaux antérieurs du groupe de Vega-Bermudez et coll. (Phillips, Johnson, & Browne, 1983; Vega-Bermudez & Johnson, 2001, 2002; Vega-Bermudez et al., 1991). Ces derniers rapportaient des taux variant entre 42% à 75% selon les dimensions des lettres et la méthode d'exploration utilisée (toucher actif vs. toucher passif). La meilleure performance de nos sujets jeunes s'explique par plusieurs facteurs. Premièrement, le groupe était d'abord très homogène en terme d'âge, étant constitué uniquement de très jeunes adultes (21-26 ans). Ensuite, la taille et le relief légèrement plus grands des caractères utilisés ont contribué à faciliter la tâche. Enfin, et contrairement aux autres études, aucune restriction n'était imposée quant à la durée de l'exploration et quant au mode d'exploration (toucher actif) pour identifier la lettre présentée. Tous ces facteurs ont certes contribué à optimiser la performance d'identification de lettres des sujets jeunes.

En ce qui concerne le groupe âgé, les résultats ont montré que la discrimination tactile des formes, simples ou complexes, était une tâche ardue, mais que la reconnaissance de lettres s'avérait particulièrement difficile, et ce, malgré les conditions optimales pour la discrimination (cf. ci-dessus). À notre connaissance, une seule étude a déjà fait référence à l'influence de l'âge pour la reconnaissance de lettres. Vega-Bermudez et Johnson (2002) ont comparé la performance d'identification chez un groupe d'adultes amputés d'un doigt (32-67 ans, n=15) avec celle de sujets contrôles du même âge (34-68 ans, n=15). Les résultats montraient l'absence de différence entre les groupes, mais les auteurs notaient que le taux de reconnaissance était significativement plus élevée chez les sujets avec un âge médian inférieur à 46 ans par rapport aux sujets plus vieux (48% vs. 37%; respectivement). Bien que cette observation portent sur un nombre limité

de sujets âgés ($n=8$), elle concorde néanmoins avec les présentes données indiquant un Taux_{IR} de lettres significativement plus bas dans le groupe âgé par rapport aux jeunes (53% vs. 88%, respectivement).

Effet relatif de l'âge sur les tâches de reconnaissance tactile

Les résultats de l'ANOVA ont démontré que l'âge exerçait un impact très significatif sur les deux tâches de reconnaissance tactile et que, par conséquent, les deux étaient en mesure d'évaluer le déclin de la perception des formes par le toucher associé au vieillissement. De fait, les présentes données ont permis d'établir l'existence d'une association étroite entre, d'une part, les seuils de résolution spatiale déterminés à partir des dômes grillagés et, d'autre part, la capacité à identifier les lettres tactilement. L'existence de cette association reflète le fait que les deux tâches reposent sur des mécanismes sensoriels similaires et évaluent la même modalité d'acuité tactile sur le plan perceptif. Cependant, et tel que décrit ci haut, la différence dans la performance de reconnaissance était nettement plus marquée dans le cas de la tâche d'identification de lettres. La corrélation inverse établie dans le groupe âgé entre l'identification des lettres et l'avancement en âge (Figure 4 D) a renforcé le fait que cette tâche était davantage affectée par le déclin associé au vieillissement. Ce résultat inédit constitue une trouvaille importante dans le contexte de la présente étude avec des répercussions potentielles pour l'évaluation de l'acuité tactile chez les personnes âgées. Dans l'ensemble, ces données démontrent bien que la reconnaissance de formes complexes sur la pulpe du doigt requiert non seulement une bonne résolution spatiale, tel que déterminée avec les dômes JVP, mais aussi des ressources supplémentaires au plan sensori-discriminatif afin de

construire une représentation centrale cohérente à partir des détails spatiaux de la forme explorée. Les mécanismes sensoriels pouvant expliquer le déclin de la reconnaissance tactile avec le vieillissement seront discutés dans une prochaine section.

Différences qualitatives dans la reconnaissance de lettres en fonction de l'âge

L'analyse qualitative d'identification tactile de lettres a permis de faire ressortir des différences entre les deux groupes. On retrouve quelques différences lorsque l'on compare l'ordre séquentiel de lettres. Par contre, on y retrouve également des ressemblances dans cette séquence. Par exemple, les lettres « I », « L », « O », « C », « J », « Q » et « U » étaient plus faciles à identifier, tandis que le « F », « S », « R », « B », « H », « N », et « M » étaient plus difficiles à identifier tactilement dans les deux groupes. Les lettres « V » et « Z » sont des lettres qui sont retrouvées à une différente place dans l'ordre séquentiel à l'intérieur des deux groupes et ces lettres sont difficilement reconnues par le groupe âgé. Phillips et coll. (1983) avait déjà noté que certaines lettres étaient plus faciles que d'autres à identifier. Ainsi, les lettres « I », « J », « L », « A », « T », « W » et « P » étaient plus faciles, tandis que les lettres « G », « B », « Q », « M », « N », « R » et « S » étaient plus difficiles à identifier tactilement. Tel que mentionné auparavant, le fait que nos sujets aient utilisé une exploration tactile active sans limite de temps dans notre étude pourrait expliquer la différence du degré de difficulté d'identification tactile des lettres « A », « G », « P », « Q », « T » et « W ». Le type de caractère et le matériel (métal vs. plastique souple) pourraient aussi expliquer la différence de performance des lettres dans cette étude.

En comparaison du groupe jeune, le groupe âgé éprouvait des difficultés majeures lors de l'identification des lettres « E », « G » et « X ». Les sujets confondaient souvent la lettre « G » pour un « C » et les lettres « E » et « X » pour un « K » (Figure 2 B). Ces différences qualitatives dans l'identification des lettres entre les deux groupes d'âge pourraient s'expliquer par une aptitude différente pour apprécier les détails spatiaux distinguant les différentes lettres. Les sujets jeunes font peu d'erreurs parce qu'ils seraient en mesure de se représenter fidèlement les détails spatiaux propre à chacune des lettres en raison de leur fine capacité de résolution spatiale tactile. Par contre, le déclin de la résolution spatiale chez les sujets plus âgés entraînerait une difficulté à élaborer une représentation fidèle des détails spatiaux spécifiques aux différentes lettres. Dans ce cas, leur stratégie d'identification serait par défaut fondée sur la représentation du pourtour de la lettre créant ainsi de multiples possibilités de confusions stimulus-réponse, tel que nous l'avons observé (par ex., couples « AR », « DO », « GC », « MH », « NH », « VY »). Toutefois, le fait que certains sujets âgés aient éprouvé des difficultés majeures pour reconnaître les lettres en ayant néanmoins conservés une bonne résolution spatiale (telle que mesuré avec les dômes grillagés), implique des facteurs, autre que périphériques, et probablement centraux, sont aussi en cause pour expliquer la contre-performance du groupe âgé.

Il est à se demander si l'identification de lettres peut être expliquée par des mécanismes autres que sensoriels. Ainsi, un biais cognitif pourrait expliquer la performance d'identification tactile des lettres et les différences qualitatives notées entre les deux groupes d'âge. La question à savoir si la reconnaissance tactile des lettres est influencée par un biais lié à la fréquence de certaines lettres dans la langue écrite a été

examinée par Vega-Bermudez (1991). Ces auteurs n'ont pu établir l'existence d'un tel biais cognitif et ils ont montré en fait que la performance reposait plutôt sur les limites des mécanismes sensoriels à représenter les idiosyncrasies propres à chaque lettre.

En somme, les différences montrées au niveau qualitatif entre les deux groupes d'âge font bien ressortir la difficulté éprouvée par les sujets âgés pour la reconnaissance tactile de lettres. Ces différences pourraient ainsi nous donner des indices afin d'établir l'origine périphérique et/ou central pour le déclin de la perception tactile de formes complexes chez les personnes âgées.

Mécanismes sensoriels du déclin pour la reconnaissance tactile des formes avec le vieillissement

La reconnaissance tactile des formes est rendue possible grâce à des mécanismes sensoriels. Tel que développé dans l'introduction, on sait que le système SAI joue un rôle critique dans la résolution tactile des formes simples et complexes permettant de résoudre des détails spatiaux très fins (Phillips & Johnson, 1981). Ce système comprend les mécanorécepteurs cutanés à adaptation lente associés aux récepteurs de Merkel et liés aux fibres afférentes SAI. Ces fibres projettent de façon dense et massive au cortex dans l'aire 3b via le système des colonnes dorsales (Amaral, 2000). La perception spatiale requiert que les détails encodés en périphérie (SAI) soit transmis jusqu'au cortex fidèlement afin d'établir une représentation optimale de l'image et/ou de l'objet explorés. Les différences de la perception spatiale notées entre les deux groupes d'âge peuvent refléter des altérations soit au niveau des mécanismes périphériques, soit au niveau des mécanismes centraux.

Déclin dans la perception des formes simples

Nos résultats ont montré que la discrimination de formes simples, soit l'orientation de grillages, était significativement affectée par l'âge. La perception tactile de formes simples pourrait être affectée en grande partie par des changements périphériques lors du vieillissement. Les études ont montré en effet que la discrimination de grillages sur la pulpe du doigt reposait sur la capacité à apprécier la structure spatiale des rainures pour détecter l'orientation du dôme (Johnson & Hsiao, 1992; Johnson & Phillips, 1981; Phillips & Johnson, 1981; Van Boven & Johnson, 1994a). Les afférences SAI disposent de petits champs récepteurs et d'une densité d'innervation très élevée sur la pulpe du doigt rendant possible la discrimination fine. En outre, le système SAI exhibe des propriétés de suppression de pourtour (Johnson & Yoshioka, 2001) permettant d'accroître la sensibilité aux discontinuités spatiales (i.e., pointes, rebords et courbes) lorsque la pulpe du doigt entre en contact avec un objet (par ex., dômes grillagés). Ensemble, ces propriétés du système SAI permettent de construire une représentation neurale isomorphe (i.e., de forme identique) du stimulus touché (Johnson & Hsiao, 1992; Johnson & Yoshioka, 2001; Phillips & Johnson, 1981; Van Boven & Johnson, 1994a). Cette image isomorphe, transmise centralement, permettrait d'apprécier la structure spatiale des rainures pour détecter l'orientation du dôme grillagé (Johnson & Phillips, 1981; Van Boven & Johnson, 1994a).

Comme la résolution spatiale est dictée par la capacité des mécanorécepteurs cutanés à détecter les détails spatiaux des formes en périphérie, il apparaît clair que le déclin observé pour la discrimination de formes chez les sujets âgés ayant une pauvre résolution spatiale découle d'une détérioration de la représentation davantage au niveau

périphérique que central. En outre, et tel que décrit auparavant (voir Chapitre II), il est peu probable que des changements affectant les propriétés du derme expliquent le déclin de l'acuité tactile spatiale chez la population âgée (Vega-Bermudez & Johnson, 2004; Woodward, 1993). La difficulté à reconnaître des formes chez ces sujets reflèterait donc des changements neuraux en périphérie. D'après plusieurs auteurs, il existerait une diminution de la densité des mécanorécepteurs de Merkel, de Meissner et de Pacini lors du vieillissement (Bruce, 1980; Bruce & Sinclair, 1980; Fenske & Lober, 1986). Goransson et coll. (2004) ont montré à l'aide d'une régression linéaire que la densité des petites fibres nerveuses épidermiques était dépendante de l'âge et du genre. Ainsi, la densité de ce type de fibre diminue avec un accroissement en âge et serait inférieure chez les hommes comparativement aux femmes. Une atteinte aux fibres afférentes pourrait également diminuer la vitesse, la quantité et la qualité de la conduction nerveuse chez la population âgée (Brown & Sainsbury, 2000; Verdu, Ceballos, Vilches, & Navarro, 2000). Ces changements au niveau de la densité des différents types de mécanorécepteurs et dans la transmission des signaux tactiles diminueraient la capacité d'apprécier les détails de la forme touchée pour ainsi créer une perception tactile moins définie chez les personnes âgées. En somme, le mécanisme le plus probable pour expliquer le déclin de la résolution spatiale pour les grillages serait lié à une diminution de la densité des mécanorécepteurs cutanés affectant particulièrement le système SA1.

Déclin dans la perception des formes complexes

Nous avons vu que l'âge exerçait un effet plus marqué au niveau de la performance de reconnaissance de lettres par rapport à la résolution des grillages. Les

données ont aussi montré que la performance d'identification de lettres était inversement reliée à l'avancement en âge, de sorte que les sujets plus âgés éprouvaient davantage de difficultés avec la tâche (Figure 4 D). Enfin, des différences qualitatives ont été notées aussi dans les patrons de confusion. Toutes ces observations tendent à indiquer que la tâche de reconnaissance de lettres représentait une tâche manifestement plus difficile que les dômes pour les sujets âgés, impliquant probablement davantage de ressources neurales au niveau du traitement central.

La relation établie entre les seuils déterminés par les dômes et la performance pour les lettres a montré que la capacité à reconnaître les lettres était liée en partie à la résolution spatiale mesurée en périphérie. Chez ~50% des sujets âgés (13/25), on notait que la pauvre performance pour les lettres correspondait aussi à une pauvre acuité spatiale telle que mesurée avec les dômes (i.e., seuils >2.5 mm). Chez ces sujets, il est fort probable que la contre-performance pour la reconnaissance de lettres s'explique en grande partie du fait du déclin périphérique dans l'innervation mécanoréceptive, tel que discuté ci haut. Noter que cette explication n'exclut pas la possibilité que les mêmes sujets aient présenté aussi des détériorations au niveau central, mais stipule seulement que la perte en périphérie oblitère toute possibilité de révéler une atteinte centrale. Par contre, pour environ l'autre moitié des sujets âgés (12/25) dont la résolution spatiale était de bonne à modérée (seuils: 1-2.3 mm), la contre-performance pour les lettres s'explique difficilement uniquement en termes de déclin périphérique. Chez ces sujets, la contre-performance pour les lettres pourrait représenter une manifestation à la fois d'une atteinte des mécanismes sensoriels en périphérie mais aussi et surtout au niveau central.

Au niveau central, le traitement de l'information spatiale se baserait également sur le principe d'isomorphisme comme en périphérie. L'information spatiale de la forme en provenance de la périphérie atteindrait le cortex, via le système des colonnes dorsales-*lemniscus* médian, au niveau d'abord de l'aire 3b afin de construire une image neurale isomorphe de la forme touchée (Johnson & Phillips, 1981; Van Boven & Johnson, 1994a). Les neurones de l'aire 3b répondraient sélectivement à des stimuli ayant des patrons spatiaux particuliers en raison de leurs propriétés d'excitation et d'inhibition du pourtour reflétant celles des champs récepteurs en périphérie (Johnson & Yoshioka, 2001). Comme la perception spatiale repose sur la préservation d'une image neurale fidèle de la forme à tous les stades de traitement, une détérioration au niveau sous-cortical ou cortical pourrait affecter plus significativement la capacité à reconnaître des formes complexes, telle une lettre, chez les personnes âgées. En accord avec cette hypothèse, Scialfa (2002) soulignait que les élévations notées au niveau des seuils sensoriels (par ex., dans la perception visuelle) chez la population âgée pouvaient difficilement s'expliquer uniquement par des facteurs périphériques lorsque les stimuli étaient supraliminaires (i.e., au-delà de la simple détection). Or, la taille des lettres (6 mm) dans cette étude était nettement au-delà des seuils de détection (Taux $IR > 85\%$ correct, sujets jeunes). Puisque les stimuli (lettres) étaient en eux-mêmes aisément identifiables, la contre-performance d'au moins la moitié des sujets âgés pour cette tâche nous amène à chercher au niveau central l'origine du problème.

La nature des changements liés à l'âge et pouvant affecter le traitement central de l'information tactile reste méconnue, cependant, mais on peut penser que les modifications notées dans les aires sensorielles primaires seraient impliquées (Scialfa,

2002; Tadin & Blake, 2005). Les changements notés dans le système visuel par exemple pourraient être analogues à ceux affectant le système tactile. La presbytie est un exemple d'atteinte du système visuel lors du vieillissement (Hills, 2002; Scialfa, 2002). La presbytie se manifeste par une diminution de l'acuité visuelle et un déclin de l'accommodation lors de changements de distance et de luminosité dans l'environnement. Cette baisse d'acuité s'explique en partie en périphérie par un ralentissement du mouvement des lentilles, des muscles ciliaires et des pupilles et également par une diminution des bâtonnets dans la rétine (Scialfa, 2002). Néanmoins, des modifications au niveau central sont également responsables pour la baisse d'acuité visuelle avec le vieillissement, telle une diminution dans la densité des neurones dans V1, un déclin de l'inhibition du pourtour des neurones intacts et une diminution de la ségrégation fonctionnelle des aires pour recréer l'image dans le cortex visuel chez les personnes âgées (Faubert, 2002; Scialfa, 2002; Tadin & Blake, 2005).

Une interprétation du déclin de la perception visuelle chez les personnes âgées, lorsque confronté à une tâche avec une image complexe, pourrait aider à expliquer l'atteinte de la perception tactile avec ce type de formes. Ces deux systèmes, visuel et tactile, fonctionneraient de façon semblable et hiérarchique (Faubert, 2002), lors du traitement de l'information au niveau périphérique et central. Une recension des écrits par Faubert (2002) a exploré les conséquences du vieillissement normal sur les capacités perceptives visuelles. Il a été démontré que plusieurs fonctions perceptives sont affectées par le vieillissement, surtout celles impliquant des traitements complexes nécessitant un plus grand réseau de neurones; comme les attributs de mouvement, de texture, de profondeur et la comparaison simultanée de formes. Ainsi, plusieurs études soutiennent

que la perception d'une image définie par des propriétés complexes impliquent un plus grand réseau de neurones. Des études d'imagerie par résonances magnétiques ont illustré une activation des aires V1 et V5 pour des stimuli simples et une activation supplémentaire des aires V3 et V4 lors de stimuli complexes. Ce même type d'étude a montré une activation additionnelle des régions corticales pour une même tâche visuelle simple chez les personnes âgées. Ce même phénomène a été montré au niveau du cortex préfrontal dorso-latéral, avec une activation à droite chez les sujets jeunes et bilatérale chez les sujets âgés, pour une tâche de reconnaissance d'images (Rossi et al., 2004). Ce surplus d'activation suggère une réorganisation ou une compensation des aires atteintes pour traiter l'information sensorielle. Ceci permettrait aux sujets âgés d'atteindre un niveau de performance semblable aux sujets jeunes pour les formes simples, mais ceux-ci atteindraient un seuil critique maximal créant des difficultés d'analyse et du traitement des formes complexes. De ce fait, le vieillissement affecte particulièrement la capacité de percevoir des objets normalement traités par un système plus complexe à cause de la saturation. On peut alors supposer que le déclin du traitement perceptuel causé par le vieillissement deviendrait plus évident lorsque les tâches demandent un niveau de complexité plus accrue même si les tâches demeurent cognitivement simples, tout comme l'identification tactile de lettres dans cette étude.

Sommairement, le déclin de la perception tactile de formes complexes serait en partie périphérique, mais également en partie centrale. Afin d'expliquer la détérioration pour la reconnaissance tactile de lettres chez les sujets âgés ayant conservé une aptitude à discriminer les formes simples, on peut alors concevoir des études sur les atteintes du système visuel pour tenter d'élucider les mécanismes responsables. Ces changements

structuraux et comportementaux dans le cortex pourraient en théorie affecter le traitement des informations somatosensorielles et affecter la reconnaissance tactile avec le vieillissement. Bref, ces résultats démontreraient que la reconnaissance de formes complexes sur la pulpe du doigt requiert non seulement une bonne résolution spatiale en périphérie, mais aussi des ressources supplémentaires au plan sensori-discriminatif cortical afin de construire une représentation centrale cohérente à partir des détails spatiaux de la forme explorée.

Pour des recherches futures, le chronométrage du temps nécessaire pour identifier chacune des lettres permettrait d'explorer quantitativement un degré de difficulté pour chacune des lettres et ainsi comparer la performance à l'intérieur des groupes. Finalement, le degré d'importance et la contribution des systèmes nerveux périphériques et centraux pour l'analyse et la perception tactile des formes de différentes complexités restent encore à élucider, mais il apparaît évident qu'une représentation centrale des formes complexes se détériore avec le vieillissement.

Chapitre VI

Conclusion

L'hypothèse de travail est partiellement supportée par les données de cette étude (référence à la figure 3A). La perception tactile des formes requiert que les détails spatiaux de l'objet touché soient transmis fidèlement de la périphérie jusqu'au cortex cérébral. L'utilisation de formes simples, tels les grillages, ou complexes, telles les lettres, nous a donc fournis des stimuli adéquats pour évaluer la capacité de résolution spatiale des formes. Dans l'ensemble, ces données démontrent bien que la reconnaissance de formes complexes sur la pulpe du doigt requiert non seulement une bonne résolution spatiale, tel que déterminée avec les dômes grillagés, mais aussi des ressources supplémentaires au plan sensori-discriminatif afin de construire une représentation centrale cohérente à partir des détails spatiaux de la forme explorée. Les sujets âgés ayant préservé une acuité spatiale moyenne pour discriminer des formes simples (par ex., orientation de grillages) ont présenté des difficultés lorsque confrontés à une tâche de reconnaissance de formes complexes (par ex., lettres en relief). Chez ces sujets, le déclin de l'aptitude à discriminer les formes complexes pourrait représenter un indice de détérioration au niveau du traitement central de l'information spatiale plutôt qu'au niveau périphérique. À l'opposé, les sujets âgés dont l'aptitude à discriminer des formes simples est pauvre, ont encore moins bien discriminer les formes complexes. Chez ces derniers sujets, le déclin de l'acuité spatiale serait largement attribuable à une réduction de l'innervation mécanoréceptive en périphérie.

En conclusion, les résultats ont montré que la discrimination tactile des formes, simples ou complexes, était une tâche ardue pour la population âgée, mais que la reconnaissance de lettres s'avérait particulièrement plus difficile et ce, malgré des conditions optimales. Ces données démontrent bien que la reconnaissance de formes

complexes sur la pulpe du doigt requiert non seulement une bonne résolution spatiale, tel que déterminée avec les dômes grillagés, mais aussi des ressources supplémentaires au plan sensori-discriminatif afin de construire une représentation centrale cohérente à partir des détails spatiaux de la forme explorée. Ces résultats constituent une trouvaille importante ayant des répercussions potentielles pour l'évaluation de l'acuité tactile chez les personnes âgées.

Références

- Amaral, D. G. (2000). The Functional Organization of Perception and Movement. In E. R. Kandel, J. H. Schwartz & T. M. Jessell (Eds.), *Principles of Neural Science* (4th ed., pp. 337-348). New York: McGraw-Hill Health Professions Division.
- Bodegård, A., Geyer, S., Grefkes, C., Zilles, K., & Roland, P. E. (2001). Hierarchical Processing of Tactile Shape in the Human Brain. *Neuron*, 31(2), 317-328.
- Brown, L. N., & Sainsbury, R. S. (2000). Hemispheric equivalence and age-related differences in judgments of simultaneity to somatosensory stimuli. *J Clin Exp Neuropsychol*, 22(5), 587-598.
- Bruce, M. F. (1980). The relation of tactile thresholds to histology in the fingers of elderly people. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 43(8), 730-734.
- Bruce, M. F., & Sinclair, D. C. (1980). The relationship between tactile thresholds and histology in the human finger. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 43(3), 235-242.
- Burton, H., & Sinclair, R. J. (1994). Representation of tactile roughness in thalamus and somatosensory cortex. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 72, 546-557.
- Carlson, M. (1981). Characteristics of sensory deficits following lesions of Brodmann's areas 1 and 2 in the postcentral gyrus of *Macaca mulatta*. *Brain Res*, 204(2), 424-430.
- Carlson, M. (1985). Significance of single or multiple cortical areas for tactile discrimination in primates. *Experimental Brain Research, Suppl.* 10, 1-16.
- Carlson, M., & Burton, H. (1988). Recovery of tactile function after damage to primary or secondary somatic sensory cortex in infant *Macaca mulatta*. *J Neurosci*, 8(3), 833-859.
- Caselli, R. J. (1993). Ventrolateral and dorsomedial somatosensory association cortex damage produces distinct somesthetic syndromes in humans. *Neurology*, 43(4), 762-771.
- Craig, J. C. (1999). Grating orientation as a measure of tactile spatial acuity. *Somatosens Mot Res*, 16(3), 197-206.
- Craig, J. C., & Rollman, G. B. (1999). Somesthesia. *Annu Rev Psychol*, 50, 305-331.

- Darian-Smith, I., & Kenins, P. (1980). Innervation density of mechanoreceptive fibres supplying glabrous skin of the monkey's index finger. *J Physiol*, *309*, 147-155.
- Deibert, E., Kraut, M., Kremen, S., & Hart, J., Jr. (1999). Neural pathways in tactile object recognition. *Neurology*, *52*(7), 1413-1417.
- Faubert, J. (2002). Visual perception and aging. *Can J Exp Psychol*, *56*(3), 164-176.
- Fenske, N. A., & Lober, C. W. (1986). Structural and functional changes of normal aging skin. *J Am Acad Dermatol*, *15*(4 Pt 1), 571-585.
- Flood, D. G., & Coleman, P. D. (1988). Neuron numbers and sizes in aging brain: comparisons of human, monkey, and rodent data. *Neurobiol Aging*, *9*(5-6), 453-463.
- Goransson, L. G., Mellgren, S. I., Lindal, S., & Omdal, R. (2004). The effect of age and gender on epidermal nerve fiber density. *Neurology*, *62*(5), 774-777.
- Greenwood, P. M. (2000). The frontal aging hypothesis evaluated. *J Int Neuropsychol Soc*, *6*(6), 705-726.
- Hills, G. A. (2002). The Changing Realm of the Senses. In C. Bernstein Lewis (Ed.), *Aging: The Health-Care Challenge* (4th ed., pp. 83-103). Philadelphia: F.A. Davis Company.
- Iwamura, Y., & Tanaka, M. (1978). Postcentral neurons in hand region of area 2: their possible role in the form discrimination of tactile objects. *Brain Res*, *150*(3), 662-666.
- James, T. W., Humphrey, G. K., Gati, J. S., Servos, P., Menon, R. S., & Goodale, M. A. (2002). Haptic study of three-dimensional objects activates extrastriate visual areas. *Neuropsychologia*, *40*(10), 1706-1714.
- Jeka, J. J., & Lackner, J. R. (1995). The role of haptic cues from rough and slippery surfaces in human postural control. *Experimental Brain Research*, *103*, 267-276.
- Johansson, R. S., & Vallbo, A. B. (1983). Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand. *Trends in Neurosciences*, 27-32.
- Johnson, K. O. (2001). The roles and functions of cutaneous mechanoreceptors. *Curr Opin Neurobiol*, *11*(4), 455-461.

- Johnson, K. O., & Hsiao, S. S. (1992). Neural mechanisms of tactual form and texture perception. *Annual Reviews of Neurosciences*, *15*, 227-250.
- Johnson, K. O., & Lamb, G. D. (1981). Neural mechanisms of spatial tactile discrimination: neural patterns evoked by braille-like dot patterns in the monkey. *J Physiol (Lond)*, *310*, 117-144.
- Johnson, K. O., & Phillips, J. R. (1981). Tactile spatial resolution. I. Two-point discrimination, gap detection, grating resolution, and letter recognition. *J Neurophysiol*, *46*(6), 1177-1192.
- Johnson, K. O., & Yoshioka, T. (2001). Neural Mechanisms of Tactile Form and Texture Perception. In R. J. Nelson (Ed.), *The Somatosensory System: Deciphering the Brain's Own Body Image* (pp. 73-101). Washington, D.C.: CRC Press.
- Johnson, K. O., Yoshioka, T., & Vega-Bermudez, F. (2000). Tactile functions of mechanoreceptive afferents innervating the hand. *J Clin Neurophysiol*, *17*(6), 539-558.
- Kaas, J. H., & Collins, C. E. (2001). The organization of sensory cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, *11*(4), 498-504.
- LaMotte, R. H., & Srinivasan, M. A. (1987a). Tactile discrimination of shape: responses of rapidly adapting mechanoreceptive afferents to a step stroked across the monkey fingerpad. *J Neurosci*, *7*(6), 1672-1681.
- LaMotte, R. H., & Srinivasan, M. A. (1987b). Tactile discrimination of shape: responses of slowly adapting mechanoreceptor afferents to a step stroked across the monkey fingerpad. *J Neurosci*, *7*(6), 1655-1671.
- LaMotte, R. H., & Srinivasan, M. A. (1993). Responses of cutaneous mechanoreceptors to the shape of objects applied to the primate fingerpad. *Acta Psychol (Amst)*, *84*(1), 41-51.
- LaMotte, R. H., & Srinivasan, M. A. (1996). Neural encoding of shape: responses of cutaneous mechanoreceptors to a wavy surface stroked across the monkey fingerpad. *J Neurophysiol*, *76*(6), 3787-3797.
- LaMotte, R. H., Srinivasan, M. A., Lu, C., & Klusch-Petersen, A. (1994). Cutaneous neural codes for shape. *Can J Physiol Pharmacol*, *72*(5), 498-505.

- Leveque, J.-L., Dresler, J., Ribot-Ciscar, E., Roll, J.-P., & Poelman, C. (2000). Changes in Tactile Spatial Discrimination and Cutaneous Coding Properties by Skin Hydration in the Elderly. *J Invest Dermatol*, *115*(3), 454-458.
- Loomis, J. M. (1990). A model of character recognition and legibility. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, *16*(1), 106-120.
- Martina, I. S., van Koningsveld, R., Schmitz, P. I., van der Meche, F. G., & van Doorn, P. A. (1998). Measuring vibration threshold with a graduated tuning fork in normal aging and in patients with polyneuropathy. European Inflammatory Neuropathy Cause and Treatment (INCAT) group. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, *65*(5), 743-747.
- Morrison, J. H., & Hof, P. R. (1997). Life and death of neurons in the aging brain. *Science*, *278*(5337), 412-419.
- Murray, E. A., & Mishkin, M. (1984). Relative contributions of SII and area 5 to tactile discrimination in monkeys. *Behav Brain Res*, *11*(1), 67-83.
- Nolan, M. F. (1982). Two-point discrimination assessment in the upper limb in young adult men and women. *Phys Ther*, *62*(7), 965-969.
- Oldfield, S. R., & Phillips, J. R. (1983). The spatial characteristics of tactile form perception. *Perception*, *12*(5), 615-626.
- O'Sullivan, B. T., Roland, P. E., & Kawashima, R. (1994). A PET study of somatosensory discrimination in man. microgeometry versus macrogeometry. *Eur J Neurosci*, *6*(1), 137-148.
- Pasterkamp, E. (1999). Mechanoreceptors in the glabrous skin of the human hand. *Arch Physiol Biochem*, *107*(4), 338-341.
- Pestronk, A., Florence, J., Levine, T., Al-Lozi, M. T., Lopate, G., Miller, T., et al. (2004). Sensory exam with a quantitative tuning fork: rapid, sensitive and predictive of SNAP amplitude. *Neurology*, *62*, 461-464.
- Peters, A., Morrison, J. H., Rosene, D. L., & Hyman, B. T. (1998). Feature article: are neurons lost from the primate cerebral cortex during normal aging? *Cereb Cortex*, *8*(4), 295-300.
- Phillips, J. R., Johansson, R. S., & Johnson, K. O. (1990). Representation of braille characters in human nerve fibers. *Experimental Brain Research*, *81*, 589-592.

- Phillips, J. R., Johansson, R. S., & Johnson, K. O. (1992). Responses of human mechanoreceptive afferents to embossed dot arrays scanned across fingerpad skin. *J Neurosci*, *12*(3), 827-839.
- Phillips, J. R., & Johnson, K. O. (1981). Tactile spatial resolution. II. Neural representation of Bars, edges, and gratings in monkey primary afferents. *J Neurophysiol*, *46*(6), 1192-1203.
- Phillips, J. R., Johnson, K. O., & Browne, H. M. (1983). A comparison of visual and two modes of tactual letter resolution. *Percept Psychophys*, *34*(3), 243-249.
- Phillips, J. R., Johnson, K. O., & Hsiao, S. S. (1988). Spatial pattern representation and transformation in monkeys somatosensory cortex. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, *85*, 1317-1321.
- Randolph, M., & Semmes, J. (1974). Behavioral consequences of selective subtotal ablations in the postcentral gyrus of *Macaca mulatta*. *Brain Res*, *70*(1), 55-70.
- Rossi, S., Miniussi, C., Pasqualetti, P., Babiloni, C., Rossini, P. M., & Cappa, S. F. (2004). Age-related functional changes of prefrontal cortex in long-term memory: a repetitive transcranial magnetic stimulation study. *J Neurosci*, *24*(36), 7939-7944.
- Sathian, K. (1989). Tactile sensing of surface features. *Trends Neurosci*, *12*(12), 513-519.
- Sathian, K., & Zangaladze, A. (1996). Tactile spatial acuity at the human fingertip and lip: bilateral symmetry and interdigit variability. *Neurology*, *46*(5), 1464-1466.
- Sathian, K., Zangaladze, A., Green, J., Vitek, J. L., & DeLong, M. R. (1997). Tactile spatial acuity and roughness discrimination: impairments due to aging and Parkinson's disease. *Neurology*, *49*(1), 168-177.
- Sathian, K., Zangaladze, A., Hoffman, J. M., & Grafton, S. T. (1997). Feeling with the mind's eye. *Neuroreport*, *8*(18), 3877-3881.
- Scialfa, C. T. (2002). The role of sensory factors in cognitive aging research. *Can J Exp Psychol*, *56*(3), 153-163.
- Servos, P., Lederman, S., Wilson, D., & Gati, J. (2001). fMRI-derived cortical maps for haptic shape, texture, and hardness. *Brain Res Cogn Brain Res*, *12*(2), 307-313.
- Sinclair, R. J., & Burton, H. (1991). Tactile discrimination of gratings: psychophysical and neural correlates in human and monkey. *Somatosens Mot Res*, *8*(3), 241-248.

- Srinivasan, M. A., & LaMotte, R. H. (1987). Tactile discrimination of shape: responses of slowly and rapidly adapting mechanoreceptive afferents to a step indented into the monkey fingerpad. *J Neurosci*, *7*(6), 1682-1697.
- Stevens, J. C., Alvarez-Reeves, M., Dipietro, L., Mack, G. W., & Green, B. G. (2003). Decline of tactile acuity in aging: a study of body site, blood flow, and lifetime habits of smoking and physical activity. *Somatosens Mot Res*, *20*(3-4), 271-279.
- Stevens, J. C., & Choo, K. K. (1996). Spatial acuity of the body surface over the life span. *Somatosens Mot Res*, *13*(2), 153-166.
- Stevens, J. C., & Cruz, L. A. (1996). Spatial acuity of touch: ubiquitous decline with aging revealed by repeated threshold testing. *Somatosens Mot Res*, *13*(1), 1-10.
- Stevens, J. C., & Patterson, M. Q. (1995). Dimensions of spatial acuity in the touch sense: changes over the life span. *Somatosens Mot Res*, *12*(1), 29-47.
- Tadin, D., & Blake, R. (2005). Motion Perception Getting Better with Age? *Neuron*, *45*, 325-327.
- Tremblay, F., Cuenco, A., Backman, A., Vant, K., & Wassef, M.-A. (2000). Assessment of spatial acuity at the fingertip with grating (JVP) domes: Validity for use in an elderly population. *Somatosensory & Motor Research*, *17*(1), 61-66.
- Tremblay, F., Mireault, A. C., Letourneau, J., Pierrat, A., & Bourrassa, S. (2002). Tactile perception and manual dexterity in computer users. *Somatosens Mot Res*, *19*(2), 101-108.
- Tremblay, F., Wong, K., Sanderson, R., & Cote, L. (2003). Tactile spatial acuity in elderly persons: assessment with grating domes and relationship with manual dexterity. *Somatosens Mot Res*, *20*(2), 127-132.
- Vallbo, A. B., & Johansson, R. S. (1984). Properties of cutaneous mechanoreceptors in the human hand related to touch sensation. *Hum Neurobiol*, *3*(1), 3-14.
- Vallbo, A. B., Olsson, K. A., Westberg, K. G., & Clark, F. J. (1984). Microstimulation of single tactile afferents from the human hand. Sensory attributes related to unit type and properties of receptive fields. *Brain*, *107* (Pt 3), 727-749.
- Van Boven, R. W., & Johnson, K. O. (1994a). The limit of tactile spatial resolution in humans: grating orientation discrimination at the lip, tongue, and finger. *Neurology*, *44*(12), 2361-2366.

- Van Boven, R. W., & Johnson, K. O. (1994b). A psychophysical study of the mechanisms of sensory recovery following nerve injury in humans. *Brain*, *117*(Pt 1), 149-167.
- Vega-Bermudez, F., & Johnson, K. O. (1999). SA1 and RA receptive fields, response variability, and population responses mapped with a probe array. *J Neurophysiol*, *81*(6), 2701-2710.
- Vega-Bermudez, F., & Johnson, K. O. (2001). Differences in spatial acuity between digits. *Neurology*, *56*(10), 1389-1391.
- Vega-Bermudez, F., & Johnson, K. O. (2002). Spatial acuity after digit amputation. *Brain*, *125*(Pt 6), 1256-1264.
- Vega-Bermudez, F., & Johnson, K. O. (2004). Fingertip skin conformance accounts, in part, for differences in tactile spatial acuity in young subjects, but not for the decline in spatial acuity with aging. *Percept Psychophys*, *66*(1), 60-67.
- Vega-Bermudez, F., Johnson, K. O., & Hsiao, S. S. (1991). Human tactile pattern recognition: active versus passive touch, velocity effects, and patterns of confusion. *J Neurophysiol*, *65*(3), 531-546.
- Verdu, E., Ceballos, D., Vilches, J. J., & Navarro, X. (2000). Influence of aging on peripheral nerve function and regeneration. *J Peripher Nerv Syst*, *5*(4), 191-208.
- Wohlert, A. B. (1996). Tactile perception of spatial stimuli on the lip surface by young and older adults. *J Speech Hear Res*, *39*(6), 1191-1198.
- Woodward, K. L. (1993). The relationship between skin compliance, age, gender and tactile discriminative thresholds in humans. *Somatosensory and Motor Research*, *10*, 63-67.
- Zangaladze, A., Epstein, C. M., Grafton, S. T., & Sathian, K. (1999). Involvement of visual cortex in tactile discrimination of orientation. *Nature*, *401*(6753), 587-590.

Tableau 1. Caractéristiques démographiques des sujets

Groupe	Âge (ans) $\bar{X} \pm E-T.$	Dominance	Genre	Seuil vibratoire* (étendue)	
				Index	Ulna
Jeune (n=19)	23.5 \pm 1.5	19 D	14 F, 5 M	7.2-8.0	6.8-8.0
Âgé (n=25)	67.3 \pm 8.4	23 D, 2 G	18 F, 7M	6.0-8.0	6.0-8.0

*Seuil déterminé en utilisant le diapason de Rydel-Seiffer au niveau de l'articulation interphalangienne distale de l'index et sur le processus styloïde de l'ulna. \bar{X} , moyenne; D, droitier; G, gaucher; F, féminin; M, masculin.

LÉGENDE DES FIGURES

FIGURE 1: Représentation des performances individuelles des sujets dans leur groupe respectif (jeune, n=19; âgé, n=25). A: Performance de discrimination d'orientation des grillages (formes simples). B: Performance d'identification des lettres (formes complexes). La ligne horizontale indique la moyenne des performances à l'intérieur des groupes.

FIGURE 2: Matrice de confusion stimulus-réponse. A: Groupe jeune (n=19). B: Groupe âgé (n=25).

FIGURE 3: Relation entre la résolution spatiale tactile et le taux d'identification correcte de lettres. A: Divisé en trois catégories selon la résolution spatiale tactile. La ligne horizontale indique la moyenne d'identification correcte de lettres à l'intérieur des catégories. Les seuils moyens et les pourcentages de réussite d'identification de lettres dans les différentes catégories; bonne 1.1 mm, 85%; moyenne 2.0 mm, 66%; pauvre 2.9 mm, 46%. B: Régression linéaire de l'effet de la résolution spatiale sur la performance d'identification de lettres en combinant les deux groupes d'âge.

FIGURE 4: Relation entre l'âge et la performance dans les deux tâches de discrimination. A et B. Corrélations pour le groupe jeune. C et D. Corrélations pour le groupe âgé.

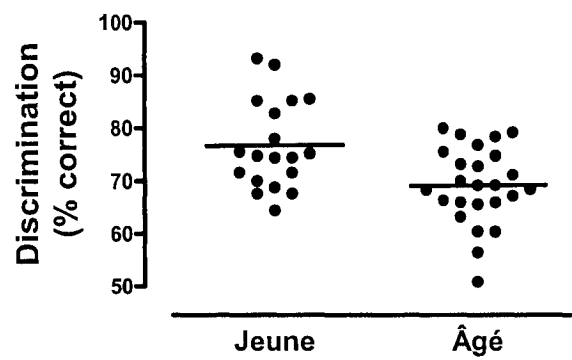
FIGURE 5: Relation entre le groupe jeune et le groupe âgé pour le taux d'identification correcte relatif des lettres individuelles. La ligne diagonale permet de comparer la performance des groupes. Ainsi, plus le point se trouve près de la diagonale, plus la performance est comparable.

FIGURE 6: Relation entre le groupe jeune et le groupe âgé pour le taux d'erreur des lettres. A: Taux d'erreur absolu pour chaque lettre. L'axe des x représente en pourcentage le taux d'erreur absolu pour le groupe jeune assigné à une réponse spécifique. L'axe des y représente les mêmes valeurs mais pour le groupe âgé. Par exemple, la lettre « F » a été faussement nommée 4 et 40 fois pour le groupe jeune et âgé, ce qui forme 2.20% (4/182) et 4.37% (40/915) de toutes les fausses réponses. B: Taux d'erreur relatif des paires de confusion de plus de 3% pour le groupe jeune et âgé. Chaque point représente le taux moyen en pourcentage d'une paire spécifique stimulus-réponse selon la lettre stimulus particulière. Certaines paires ont été identifiées : par ex., le point « NH » démontre que « N » a été identifié comme « H » 19.30% (11/57) lors de la présentation de « N » pour le groupe jeune et 24.00% (18/75) lors de la présentation de « N » pour le groupe âgé. La ligne diagonale permet de comparer la performance des groupes. Ainsi, plus le point se trouve près de la diagonale, plus la performance est comparable.

FIGURE 1

A

Orientation de grillages



B

Identification de lettres

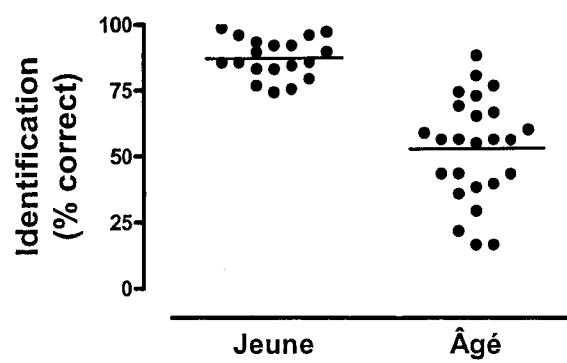


FIGURE 2

A

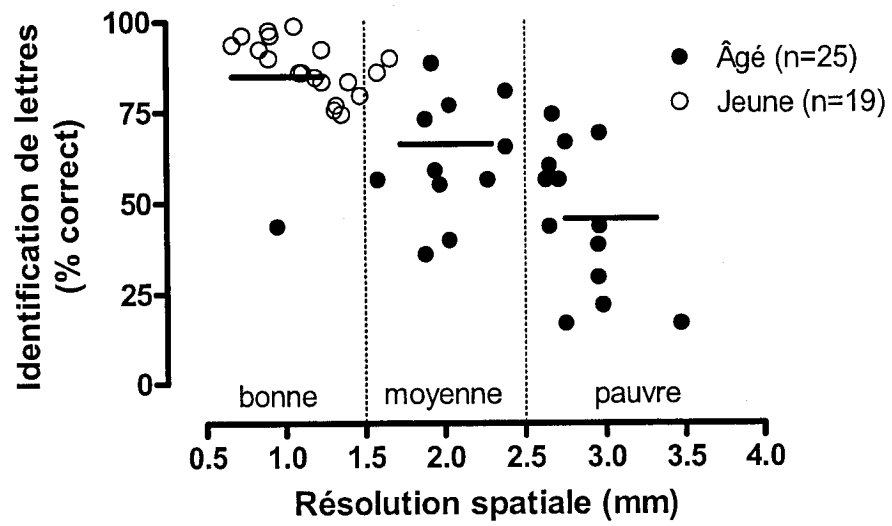
		Réponse																												
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	n		
Stimulus	A	54																		3									57	
	B		44								1										1									57
	C			56					1																					57
	D				52													5												57
	E					54																								57
	F						49																							57
	G							57																						57
	H								38																					57
	I									57																				57
	J										56																			57
	K											51																		57
	L												57																	57
	M													19	21															57
	N														7	37														57
	O																57													57
	P																	51												57
	Q																		56											57
	R																			46										57
	S																				49									57
	T																					49								57
	U																						51							57
	V																							55						57
	W																								50					57
	X																									53				57
	Y																										54			57
	Z																											53		57
TOTAL		61	51	57	62	55	53	63	63	59	57	59	57	37	69	62	53	57	53	55	55	55	54	57	67	66	45	1482		

B

		Réponse																												
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	n		
Stimulus	A	42	2																										75	
	B		33	1																										75
	C			51																										75
	D				38																									75
	E					28																								75
	F						23																							75
	G							43																						75
	H								24																					75
	I									66																				75
	J										53																			75
	K											32																		75
	L												55																	75
	M													23	15															75
	N														12	25														75
	O																70													75
	P																	33												75
	Q																		62											75
	R																			22										75
	S																				27									75
	T																					45								75
	U																						53							75
	V																							27						75
	W																								4					75
	X																									3				75
	Y																										9			75
	Z																											37		75
TOTAL		65	75	75	63	59	63	84	80	111	88	101	72	56	85	98	75	81	74	51	69	76	47	86	65	84	67	1950		

FIGURE 3

A



B

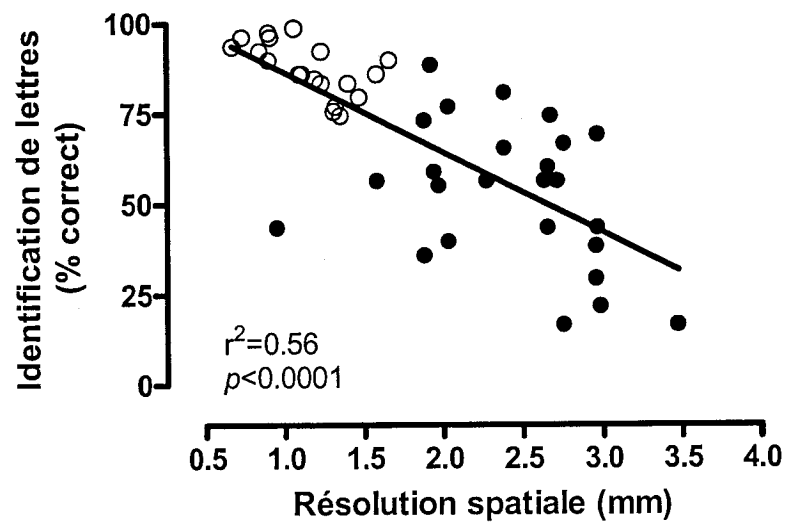
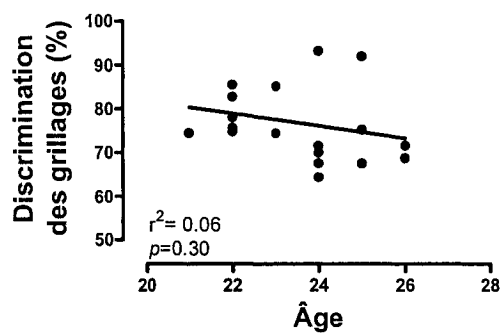


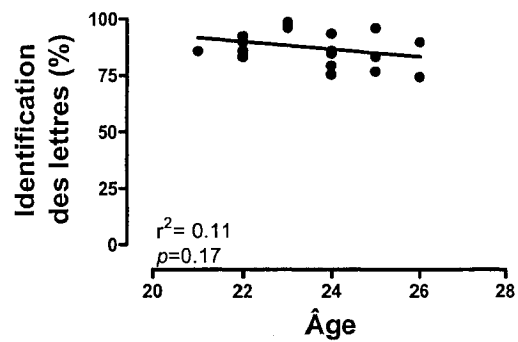
FIGURE 4

GROUPE JEUNE

A

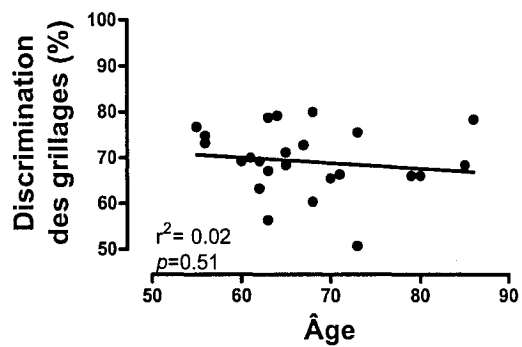


B



GROUPE ÂGÉ

C



D

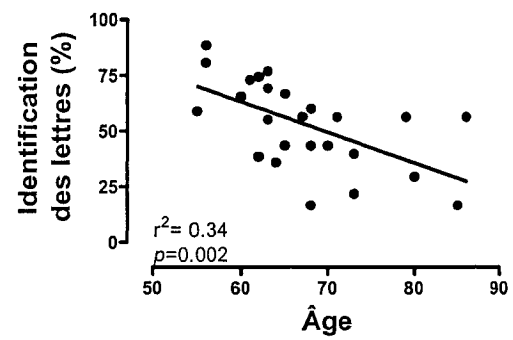
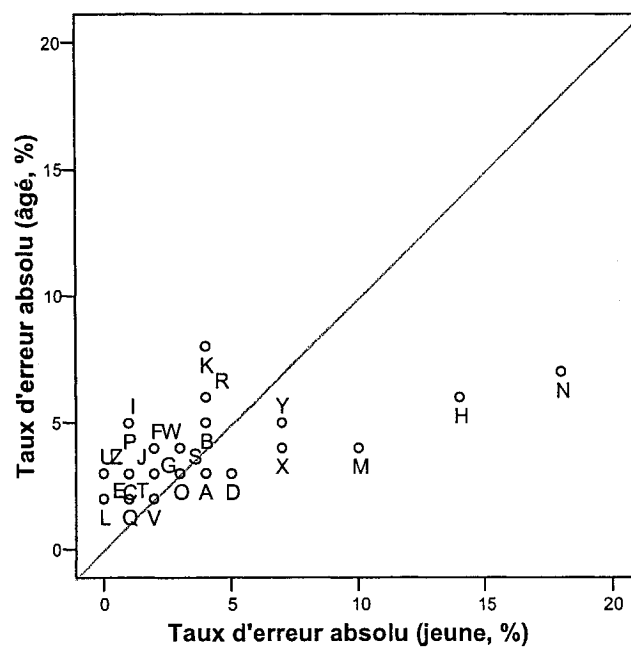
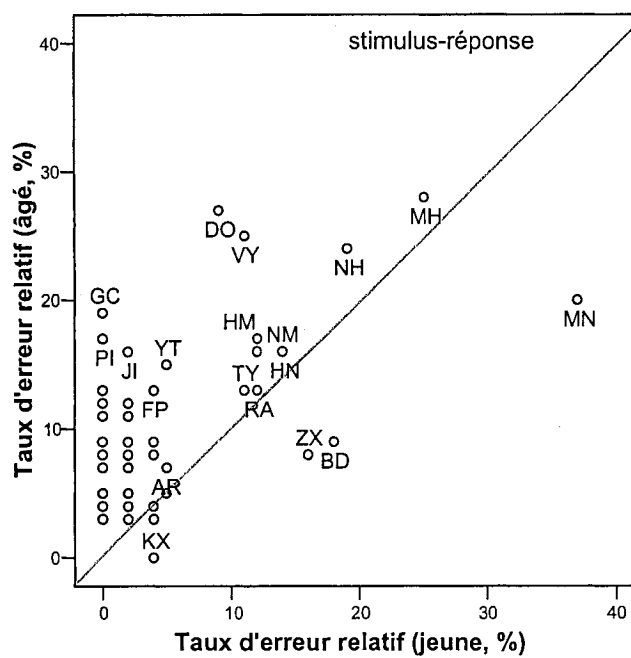


FIGURE 6

A



B



ANNEXE B

QUESTIONNAIRE ÉTAT DE SANTÉ/HEALTH STATUS
--

Examineur/Examinator : _____

Sujet #/Subject # : _____ Date de naissance/Birth date : _____

Genre/Gender F • M •

Directives/Directions :

S.V.P. Lire les questions suivantes et répondre en cochant la case appropriée. Noter que toutes ces informations seront gardées strictement confidentielles.

Please read the following questions and check the appropriate answer. Note that all information will be kept strictly confidential.

Votre médecin vous a-t-il déjà parlé que vous aviez une maladie chronique (par ex., malaise cardiaque, problème respiratoire, arthrite, diabète, sclérose en plaques, paralysie, accident cérébro-vasculaire, Parkinson, condition dermatologique) pouvant nuire grandement à votre capacité de faire de l'activité physique ou des tâches domestiques?	OUI • NON •
Votre médecin vous a-t-il déjà parlé que vous aviez une maladie chronique du système nerveux (par ex., neuropathie, syndrome du tunnel carpien, dystonie focale) pouvant nuire à votre capacité de ressentir les objets avec vos mains ou une autre partie du corps en particulier? Si oui, veuillez spécifier la ou les régions atteintes:	OUI • NON •
Est-ce que votre métier ou passe-temps dans le passé ou présentement nécessitait l'utilisation de vos mains en performant des mouvements répétitifs ou l'utilisation d'outils à moteur? (par ex., ordinateur, perceuse, tricot...) Si oui, Quel type: _____ Heures/jour: _____ Nombre d'année: _____	OUI • NON •
Veuillez indiquer à quand remonte votre dernier examen médical complet?	
<i>Has your doctor ever said that you have a chronic condition (e.g., heart or respiratory diseases, diabetes, arthritis, multiple sclerosis, paralysis, stroke, Parkinson, dermatological condition) that could seriously interfere with your ability to perform physical activities or household tasks?</i>	YES • NO •
<i>Has your doctor ever said that you have a chronic condition (e.g., neuropathy, carpal tunnel syndrome, focal dystonia) that could interfere with your ability to feel objects with your hands or other body parts in particular?</i> <i>If yes, please specify the regions affected:</i>	YES • NO •
Does your previous or current occupation or leisure require you to use your hands by performing any repetitive movements or to use power tools? (e.g., computer, drill, knitting...) If yes, What type: _____ Hours/day: _____ Number of years: _____	YES • NO •
When was your last complete medical check-up?	

ANNEXE C

DÉTECTION DE VIBRATION DIAPASON GRADUÉ DE RYDEL-SEIFFER (64 Hz)
--

SUJETS # : _____ DATE DE NAISSANCE : _____
 GENRE F • M • _____
 EXAMINATEUR : _____ DATE DU TESTING : _____

DOMINANCE : D G

SITE D'APPLICATION : a) surface dorsale de l'articulation interphalangienne distale de l'index
 b) processus styloïde de l'ulna

POSITION : le sujet assis confortablement, le poignet en pronation, la main reposant sur un support cousiné et hors de la vue pour la session de l'évaluation

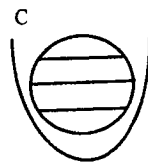
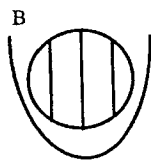
PROCÉDURE : permet au sujet de pratiquer avec feedback (visuel et verbal) sur la performance. Le protocole consiste à toucher l'articulation interphalangienne distale de l'index ou le processus styloïde de l'ulna du sujet avec le diapason perpendiculairement de façon aléatoire avec vibration maximale. **Le sujet doit ensuite rapporter lorsque la vibration n'est plus ressentie.** Faire 3 essais par région. Inscrive le seuil indiqué sur l'échelle (0-8) et calculer la moyenne des 3 essais pour chaque région.

TESTING DE DÉTECTION DE VIBRATION AVEC LE DIAPASON

Essai	INDEX		ULNA	
1		1		4
2		3		6
3		7		8
TOTAL/ MOYENNE		/8		/8

Exclusion si les seuils vibro-tactiles des sujets âgés <6.0/8 et sujets jeunes <6.5/8

ANNEXE D



ANNEXE E

