



# Perception haptique d'images aux traits en relief par des individus aveugles et voyants

Samuel Lebaz

## ► To cite this version:

Samuel Lebaz. Perception haptique d'images aux traits en relief par des individus aveugles et voyants. Psychologie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2011. Français. <NNT : 2011TOU20128>. <tel-00678050>

**HAL Id: tel-00678050**

**<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00678050>**

Submitted on 12 Mar 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université  
de Toulouse

# THÈSE

En vue de l'obtention du  
**DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE**

**Délivré par :**

Université Toulouse 2 Le Mirail (UT2 Le Mirail)

**Discipline ou spécialité :**

Psychologie

---

**Présentée et soutenue par :**

LEBAZ Samuel

**le :** vendredi 9 décembre 2011

**Titre :**

Perception haptique d'images aux traits en relief par des individus aveugles et voyants

---

**Ecole doctorale :**

Comportement, Langage, Education, Socialisation, COgnition (CLESCO)

**Unité de recherche :**

URI OCTOGONE EA 4156 - ECCD

**Directeur(s) de Thèse :**

PICARD Delphine, PR, Université Toulouse 2-Le Mirail, Institut Universitaire de France  
JOUFFRAIS Christophe (co-directeur), CR-CNRS, Université Toulouse 3

**Rapporteurs :**

GENTAZ Edouard, DR-CNRS, Université Pierre Mendès France, Grenoble  
GYSELINCK Valérie, MCF-HDR, Université Paris Descartes, Paris

**Autre(s) membre(s) du jury**

KAPPERS Astrid, PR, Université d'Utrecht, Pays-Bas



## Résumé

Ce travail de thèse porte sur la perception haptique d'images aux traits en relief par des individus aveugles et voyants. Il se présente sous la forme de quatre chapitres. Le chapitre 1 (Introduction) s'articule autour d'une revue des principales études portant sur l'identification d'images aux traits en relief. La question du rôle central de l'expérience visuelle et de l'imagerie visuelle dans la perception et l'identification des images aux traits en relief traitées par la modalité haptique y est posée. Cette question constitue la question de recherche qui motive le travail de thèse.

Le chapitre 2 (Perception d'images non figuratives) présente deux études utilisant une tâche de reconnaissance d'images simples (patterns géométriques). Dans l'étude 1, nous montrons qu'il n'existe pas de différence de performance entre des voyants, des aveugles précoces et des aveugles tardifs dans une tâche de reconnaissance de ces patterns. Des différences dans les stratégies mnésiques utilisées sont observées, mais elles ne sont pas corrélées aux performances. Dans l'étude 2, nous testons si l'âge d'apparition de la cécité totale affecte le traitement ainsi que la reconnaissance haptique des patterns. Nous y introduisons un nouvel indice intéressant à considérer : la proportion de temps de vie sans expérience visuelle, qui apparaît comme un indice plus fin que l'âge d'occurrence de la cécité. Nous observons que le traitement haptique d'images tactiles non figuratives peut être efficacement réalisé avec différents niveaux d'expérience visuelle et en utilisant différentes stratégies par des adultes aveugles. Nous y montrons aussi une interaction entre le type de stratégie utilisé et la proportion de temps de vie sans expérience visuelle.

Le chapitre 3 (Perception d'images figuratives) présente deux études utilisant des tâches de classification et d'identification d'images plus complexes (visages expressifs, objets communs). Dans l'étude 3, nous montrons que des adultes aveugles de naissance sont capables de classer des dessins de visages selon les émotions exprimées avec un niveau d'exactitude qui n'est pas différent de celui des adultes voyants. Dans l'étude 4, nous montrons que des adultes voyants et faibles en imagerie visuospatiale se montrent moins performants que des adultes forts en imagerie visuospatiale dans une tâche d'identification d'images tactiles d'objets communs. Ce résultat suggère que l'imagerie visuospatiale joue un rôle dans l'identification de dessins aux traits en relief.

Le chapitre 4 (Conclusions et perspectives) présente les conclusions sur notre question de recherche en fonction des résultats des 4 études expérimentales. Nous concluons que la perception haptique des images tactiles, figuratives ou non, est globalement possible sans le recours de l'expérience visuelle ou de l'imagerie visuelle. En effet, nos résultats suggèrent que l'imagerie visuelle ne constitue pas une condition *sine qua non* au traitement des images tactiles ; les formes d'imagerie mentale impliquées dans la compréhension des images tactiles sont plurielles, et dépendent des individus (de leur statut visuel, de leur degré d'expérience visuelle, de leur aptitude d'imagerie visuospatiale). Nous proposons finalement des perspectives de recherches portant sur le contrôle du matériel expérimental (complexité des images tactiles) ainsi que sur l'utilisation de techniques nouvelles (*finger tracking system*) pour mesurer certains paramètres des mouvements d'exploration des images tactiles.

**Mots-clés : haptique, images aux traits en relief, perception, expérience visuelle, imagerie visuelle**

## **Haptic perception of raised-line pictures by blind and sighted people**

### **Abstract**

The present thesis work is about haptic perception of raised-line pictures by blind and sighted subjects. It is structured in four chapters. In Chapter 1 (Introduction) we present a review of the literature studies on raised-line picture identification. The issue of the potentially central role of visual experience and visual imagery in the perception and identification of raised-line pictures by the haptic modality is addressed. This question is the key issue of the present research.

In Chapter 2 (Perception of nonfigurative pictures) we present two experimental studies using a simple pictured pattern recognition task (geometrical patterns). In study 1, we show that there is no difference in performance between sighted, early blind and late blind in this pattern recognition task. Differences in memory strategies are present, but they don't appear to correlate with performance. In study 2, we test whether age at onset of total blindness affects haptic processing and the recognition of raised-line patterns. We then introduce a new parameter, the proportion of life-time without visual experience, a more precise parameter than the usual parameter of age at onset of blindness. We find that haptic processing of raised-line non-figurative pictures by blind can be effective whatever the level of visual experience and by using different strategies. We also show an interaction between the strategy used and the proportion of life-time without visual experience.

Chapter 3 (Perception of figurative pictures) presents two studies using respectively a classification and an identification task involving more complex pictures (expressive faces, common objects). In study 3, we show that early blind adults can classify face drawings according to the expressed emotion, with an exactitude level comparable to sighted adults. In study 4, we show that, in an identification task of common objects, sighted adults with low visuospatial imagery abilities are less efficient than high visuospatial imagers. This result suggests that visuospatial imagery plays a role in the identification of raised-line drawings.

Chapter 4 (Conclusion and perspectives) presents the conclusions on the research question taking into account the results of our 4 studies. We conclude that haptic perception of tactile pictures, whether figurative or not, is possible without recourse to visual experience nor visual imagery. Our results suggest that visual imagery does not constitute a *sine qua non* condition to the processing of tactile pictures ; there are different kinds of visual imagery implicated in understanding of tactile pictures, and they are subject-dependent (i.e., they vary according to subjects' visual status, degree of visual experience, visuospatial imagery capacities). We finally propose research perspectives regarding the control of experimental material (tactile complexity of pictures) and the use of new technologies (finger tracking system) to assess some motion parameters involved in tactile picture exploration.

**Keywords: haptic, raised-line pictures, perception, visual experience, visual imagery**

Ce travail de thèse a été préparé dans le laboratoire OCTOGONE-ECCD :

Equipe Cognition Communication Développement (ECCD)

URI OCTOGONE- EA 4156

Pavillon de la recherche

5 allées Antonio Machado

31058 Toulouse Cedex



en collaboration avec l'IRIT-CNRS :

Equipe Elipse – IRIT – UMR 5505

Université Paul Sabatier

118 route de Narbonne

31062 Toulouse Cedex 9



La thèse a été réalisée grâce à un Contrat Doctoral Unique (CDU), cofinancé par la Région Midi-Pyrénées et le PRES de Toulouse pour la période d'octobre 2009 à octobre 2012



## SOMMAIRE

<b>Chapitre I : INTRODUCTION</b>	<b>8</b>
<b>I. 1. Les images tactiles</b>	<b>10</b>
<b>I. 2. Le débat sur les images tactiles</b>	<b>11</b>
<b>I. 3. Les études sur l'identification haptique d'images d'objets communs</b>	<b>13</b>
<b>I.3.1. Corpus de publications</b>	<b>14</b>
<b>I.3.2. Description des 15 études</b>	<b>17</b>
<b>I.3.4. Facteurs de variation des performances</b>	<b>24</b>
<b>I.4. Question de recherche et hypothèses</b>	<b>26</b>
<b>Chapitre II : PERCEPTION HAPTIQUE D'IMAGES NON FIGURATIVES</b>	<b>30</b>
<b>II. PRESENTATION</b>	<b>32</b>
<b>II. 1. ETUDE 1- RECONNAISSANCE HAPTIQUE D'IMAGES NON FIGURATIVES (PATTERNS 2D) PAR DES ADULTES AVEUGLES PRECOCES, AVEUGLES TARDIFS ET VOYANTS</b>	<b>33</b>
<b>II.1.1. Introduction</b>	<b>34</b>
<b>II.1.2. Méthode</b>	<b>37</b>
<i>II.1.2.1. Participants</i>	37
<i>II.1.2.2. Matériel</i>	39
<i>II.1.2.3. Procédure</i>	41
<b>II.1.3. Résultats</b>	<b>42</b>
<i>II.1.3.1. Performance en reconnaissance haptique</i>	42
<i>II.1.3.2. Stratégies mnésiques rapportées</i>	44
<i>II.1.3.3. Relations entre stratégies et performance en reconnaissance haptique</i>	46
<i>II.1.3.4. Corrélations entre scores d'imagerie mentale et performance</i>	46
<b>II.1.4. Discussion</b>	<b>48</b>
<b>II.2. ETUDE 2- RECONNAISSANCE HAPTIQUE D'IMAGES NON-FIGURATIVES (PATTERNS 2D) CHEZ L'AVEUGLE : LA PROPORTION DE TEMPS DE VIE SANS EXPERIENCE VISUELLE JOUE-T-ELLE ?</b>	<b>52</b>
<b>II.2.1. Introduction</b>	<b>53</b>

<b>II.2.2. Méthode</b>	<b>54</b>
<i>II.2.2.1. Participants</i>	54
<i>II.2.2.2. Matériel</i>	54
<i>II.2.2.3. Procédure</i>	55
<b>II.2.3. Résultats</b>	<b>55</b>
<b>II.2.4. Discussion</b>	<b>57</b>
<b>Chapitre III : PERCEPTION HAPTIQUE D'IMAGES FIGURATIVES</b>	<b>60</b>
<b>III. PRESENTATION</b>	<b>62</b>
<b>III.1. ETUDE 3- CLASSIFICATION HAPTIQUE D'IMAGES FIGURATIVES (VISAGES EXPRESSIFS) : COMPARAISON ENTRE ADULTES AVEUGLES DE NAISSANCE ET VOYANTS.</b>	<b>63</b>
<b>III.1.1. Introduction</b>	<b>64</b>
<b>III.1.2. Méthode</b>	<b>66</b>
<i>III.1.2.1. Participants</i>	66
<i>III.1.2.2. Matériel</i>	67
<i>III.1.2.3. Procédure</i>	68
<b>III.1.3. Résultats</b>	<b>68</b>
<i>III.1.3.1. Performance de classification haptique</i>	69
<i>III.1.3.2. Temps de réponse</i>	70
<i>III.1.3.3. Matrices des confusions Stimulus-Réponses</i>	71
<b>III.1.4. Discussion</b>	<b>72</b>
<b>III.2. ETUDE 4 – IDENTIFICATION HAPTIQUE D'IMAGES FIGURATIVES (OBJETS COMMUNS) CHEZ DES ADULTES VOYANTS : LES CAPACITES D'IMAGERIE VISUOSPATIALE JOUENT-ELLES ?</b>	<b>77</b>
<b>III.2.1. Introduction</b>	<b>78</b>
<b>III.2.2. Méthode</b>	<b>81</b>
<i>III.2.2.1. Participants</i>	81
<i>III.2.2.2. Matériel</i>	82
<i>III.2.2.3. Procédure</i>	84
<b>III.2.3. Résultats</b>	<b>84</b>
<i>III.2.3.1. Performance d'identification haptique</i>	86
<i>III.2.3.2. Temps de réponse</i>	88



<i>III.2.3.3. Analyse des corrélations sur les items</i>	90
<b>III.2.4. Discussion</b>	<b>91</b>
<b>Chapitre IV : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b>	<b>96</b>
<b>IV.1. Conclusions sur la question de recherche</b>	<b>98</b>
<b>IV.2. Perspectives de poursuite du travail</b>	<b>104</b>
<b>IV.2.1. Mesurer la complexité des images tactiles</b>	<b>104</b>
<b>IV.2.2. Mesurer les paramètres des mouvements d'exploration</b>	<b>108</b>
<b>Références</b>	<b>113</b>
<b>Annexe 1. Questionnaire de vivacité d'imagerie (VIQ)</b>	121
<b>Annexe 2. Test d'imagerie visuospatiale (<i>Revised Minnesota Paper Form Board - MPFB</i>)</b>	123

# Chapitre I

## INTRODUCTION



Les images font partie intégrante de notre environnement. Nous les utilisons comme support de communication sociale. Elles présentent une nature duelle (DeLoache, 1987 ; Jolley, 2008) : elles sont à la fois des objets particuliers parce qu'en deux dimensions (2D), et à la fois des représentations d'objets de la réalité, concrets ou abstraits. Ces images sont habituellement visuelles. Mais elles peuvent également être tactiles, c'est-à-dire perceptibles aux doigts de la main.

## I. 1. Les images tactiles

Les « images tactiles » (Eriksson, 1998) sont des images dont les traits sont en relief (environ 1 mm) qui peuvent être scannés avec les doigts de la main. Plusieurs techniques permettent d'obtenir des images aux traits en relief. L'utilisation d'un film sensible à la pression (e.g., papier Mylar<sup>1</sup>) ou d'un papier sensible à la chaleur (e.g., papier Swell<sup>2</sup>) sont les deux procédés les plus couramment utilisés dans le cadre des recherches. Ces procédés permettent de créer des images avec un seul niveau de relief, mais il existe d'autres procédés<sup>3</sup> (dont certains donnent lieu à des images à plusieurs niveaux de relief). A partir de ces procédés, le contenu des images peut varier : il est possible de trouver des images tactiles d'objets communs (voitures, fleurs, outils) (e.g., Magee & Kennedy, 1980), mais aussi des cartes tactiles (e.g., Espinoza & Ochaita, 1998), des graphiques tactiles (e.g., Jehoel, Ungar, McCallum, & Rowell, 2005 ; Lederman & Campbell, 1983) ou encore des formes et patterns géométriques (e.g., Bailes & Lambert, 1986) figurant ou non des objets signifiants.

Ces images tactiles bien que simplifiées sont souvent un copier/coller d'images visuelles et la question de l'accessibilité de ces images au système haptique fait débat. Le système haptique, comme le rappellent Hatwell, Streri, et Gentaz (2000, p.2), renvoie à « *des perceptions kinesthésiques issues des mouvements qui sont nécessairement liées aux perceptions purement cutanées pour former un ensemble indissociable appelé perception tactilo-kinesthésique ou haptique* ». Les spécialistes du toucher ont longtemps avancé que le sens du toucher était essentiellement approprié pour la compréhension des objets

---

<sup>1</sup> Papier Mylar : dans le procédé de type Mylar, un film plastique est placé sur une surface en mousse ce qui permet, lorsqu'une pointe est appuyée sur le film, d'obtenir un embossage sur le verso.

<sup>2</sup> Papier Swell : permet d'imprimer les lignes ou surfaces voulues avec de l'encre noire sur un papier spécial sensible à la chaleur. Après impression, lorsque ce papier est placé dans un four, l'encre d'impression gonfle et crée ainsi un relief.

<sup>3</sup> Autres procédés : parmi les plus fréquents, on trouve le thermoformage qui permet de presser une feuille plastique à haute température et autorise plusieurs niveaux de relief. Le gaufrage permet aussi d'obtenir plusieurs niveaux de reliefs ainsi que des lignes et des points en relief sur du papier par compression de la feuille.

tridimensionnels (3D) et des qualités de surface de ces objets (e.g., [Lederman & Klatzky, 1987](#) ; [Revesz, 1950](#)). Toutefois d'autres chercheurs ont montré que des personnes aveugles pouvaient dans une certaine mesure comprendre et produire des dessins tactiles d'objets communs (e.g., [Heller, 1989](#) ; [Kennedy, 1993](#)).

Les mécanismes engagés dans la perception et l'identification des images tactiles par le sens du toucher sont discutés et font l'objet d'un débat toujours d'actualité. La question de ces mécanismes est la question de recherche qui motive cette thèse. Cette question est importante à la fois pour ses enjeux théoriques et pratiques. D'un point de vue théorique, la question ici ciblée est au cœur de débats contemporains sur le rôle de l'imagerie mentale et des processus de médiation visuelle dans la représentation d'objets 2D tactiles (e.g., [Kennedy, 1980, 1993](#) ; [Lederman, Klatzky, Chataway, & Summers, 1990](#)), ainsi que la nature des représentations mentales qui sous-tendent la perception (e.g., [Biederman, 1987](#) ; [Tarr & Bülthoff, 1995](#)) et l'imagerie mentale (e.g., [Kosslyn, 1994](#) ; [Pylyshyn, 2003](#)). D'un point de vue pratique, la question ici ciblée s'avère centrale pour le design d'images variées aux traits en relief à l'usage de personnes aveugles. Il s'agit en particulier de s'interroger sur le caractère approprié du système de représentation graphique utilisé dans les images tactiles (e.g., [Thompson & Chronicle, 2006](#)).

## I. 2. Le débat sur les images tactiles

Le débat sur les images tactiles prend son origine dans des résultats contradictoires issus de la littérature scientifique sur les capacités des individus aveugles et voyants à traiter des images tactiles. Les études comparant les capacités d'identification d'images tactiles d'objets communs chez des personnes aveugles précoces<sup>4</sup> (AP), aveugles tardives<sup>5</sup> (AT), et voyantes travaillant sans voir (V), conduisent à des résultats divergents. Certaines études rapportent des différences significatives en défaveur des personnes AP par comparaison avec des personnes V ([Lederman et al., 1990](#) ;  $AP < V$ ). D'autres, au contraire, montrent une supériorité de performance en faveur des personnes AT sur les autres groupes ([Heller, 1989](#) ;  $AT > AP = V$ ). D'autres enfin montrent une supériorité de performance chez les personnes AT

---

<sup>4</sup> Aveugles précoces : nous utiliserons le terme aveugle précoce comme traduction de l'anglais *early blind*. Cette terminologie inclura les aveugles congénitaux, les aveugles de naissance, ainsi que les personnes devenues aveugles durant leur prime enfance avant la fin de la période d'amnésie infantile. Dans nos études, nous avons considéré comme aveugles précoces, les personnes dont l'apparition de la cécité totale allait jusqu'à trois ans, cela correspond en général à l'âge retenu dans la littérature.

<sup>5</sup> Aveugles tardifs : nous utiliserons le terme aveugle tardif (*late blind*) pour les personnes dont la cécité totale est apparue après trois ans. Cette apparition de la cécité peut prendre une forme brutale ou évolutive et être causée par maladie ou accident.

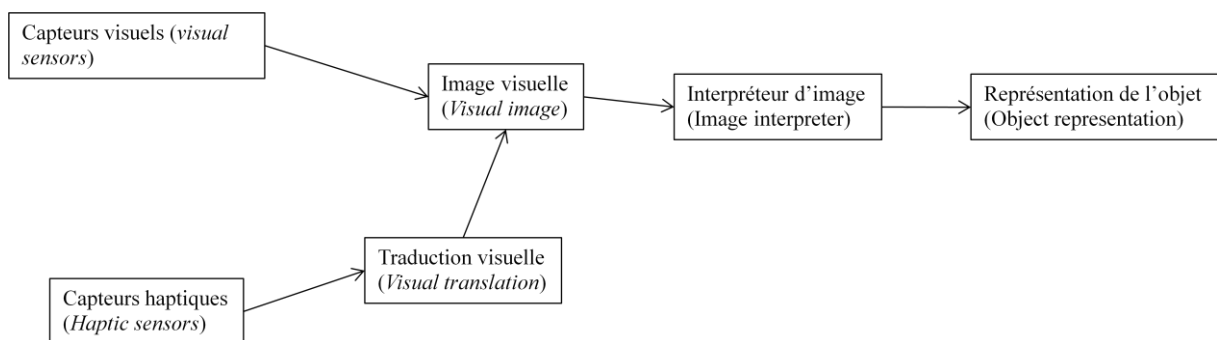
et V par rapport aux personnes AP (Heller, Calcaterra, Burson & Tyler, 1996 ; Thompson, Chronicle & Collins, 2006 ; AT=V>AP). Cette divergence dans les résultats expérimentaux entretient le débat qui oppose deux théories sur l'identification d'images via la modalité haptique. Ce débat porte essentiellement sur le rôle de l'expérience visuelle et de l'imagerie visuelle dans la perception d'images tactiles. Il oppose deux points de vue théoriques, le point de vue « optimiste » et le point de vue « pessimiste » (voir Kennedy & Bai, 2002).

Le point de vue optimiste. En accord avec une première théorie, supportée par Kennedy (1993), l'expérience visuelle n'est pas nécessaire pour interpréter des images tactiles : les images sont « universelles » et disponibles par principe à la fois à la vision et au toucher. L'identification de dessins aux traits en relief impliquerait un traitement amodal dans la mesure où la trace graphique représente des changements abrupts dans le relief d'un objet, et que ces changements sont lisibles autant par le système haptique que par le système visuel. Plusieurs études de Kennedy et Heller convergent pour montrer que l'imagerie visuelle n'est pas nécessaire aux personnes aveugles pour comprendre (et produire) des images tactiles (voir e.g., Heller, McCarthy & Clark, 2005). De ce point de vue, les taux faibles d'identification observés dans les études se justifient principalement par une faible expérience de la modalité haptique avec les dessins aux traits en relief. Cette position peut également expliquer les plus forts taux de performance observés par Heller (1989) chez les individus AT : les individus AT bénéficient d'une plus grande expérience tactile que les individus V, et d'une plus grande familiarité avec les conventions graphiques (*depiction rules*) que les individus AP.

Le point de vue pessimiste. En accord avec une seconde théorie, proposée par Lederman et al. (1990), le système haptique ne serait pas bien adapté à la lecture d'images. D'abord, les dessins aux traits en relief représentent des stimuli appauvris en raison de la quantité réduite d'information qui y est présente (comparés aux objets réels, les dessins aux traits en relief n'offrent que des informations de forme). Ensuite, l'extraction lente et séquentielle de l'information structurelle par le toucher impose une forte charge en mémoire de travail (Loomis, Klatzky & Lederman, 1991). Cela ne veut pas dire pour autant que l'identification d'images par le toucher est impossible, cependant cela représente une tâche complexe. De ce point de vue, l'identification haptique de dessins aux traits en relief est principalement supportée par l'imagerie visuelle. L'observateur doit transformer l'arrangement spatial tactile en une image visuelle qui puisse être identifiée grâce à l'expérience visuelle. Une telle position peut expliquer pourquoi des adultes AP (sans aucune expérience visuelle ou souvenir visuel conscient) présentent plus de difficultés à identifier des

images tactiles que des individus AT et V (qui eux peuvent utiliser leur expérience visuelle et imagerie) (Lederman et al. 1990).

Selon le modèle de médiation visuelle proposé par Lederman (voir Figure I.1), il y a quatre étapes dans l'identification de dessins d'objets communs aux traits en relief : l'exploration haptique (Etape 1), le transfert ou la traduction de l'information haptique en une image visuelle (Etape 2), l'identification du concept (Etape 3), et la récupération du nom de l'objet (Etape 4). A l'étape 2, les individus doivent extraire les segments locaux du contour, les intégrer sous forme de représentation, et comparer les représentations ainsi créées avec ce qu'ils savent de la description d'objets communs. L'imagerie visuelle est donc censée jouer un rôle clé dans la construction d'une représentation interne de ce qui est traité haptiquement. Lederman et al. (1990) soutiennent que « *les sujets adoptent le modèle de médiation visuelle, dans lequel les données haptiques sont traduites en images visuelles, qui sont par la suite traitées par le système visuel* » (p. 58). Il est important de noter que les auteurs ne voient pas l'imagerie visuelle comme le seul moyen de représentation, mais comme le plus efficace.



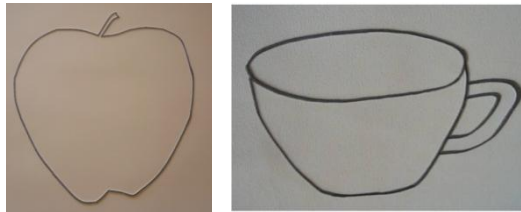
**Figure I.1.** Modèle de médiation visuelle (Klatzky & Lederman, 1987 ; Lederman et al., 1990)

### I. 3. Les études sur l'identification haptique d'images d'objets communs

Le modèle de médiation visuelle de Lederman et al. (1990) vise à rendre compte des mécanismes (perceptivo-moteurs et cognitifs) engagés dans la perception haptique d'images aux traits en relief d'objets communs. Un enjeu de cette thèse est de tester la validité de ce modèle. Dans la partie qui suit nous allons faire le point sur les études qui ont eu recours à des tâches d'identification haptique d'images aux traits en relief d'objets communs (ou dessins tactiles). Une particularité des ces études est d'avoir donné lieu à des résultats assez

divergents, en ce qui concerne la facilité avec laquelle les individus parviennent à résoudre des tâches de dénomination de dessins tactiles. De larges variations dans les taux moyens d'identification et les temps de réponses émergent au sein de ces études.

Identifier des dessins d'objets communs aux traits en relief (voir Figure I.2.) par le toucher est loin d'être une tâche aisée. Les individus doivent engager des mouvements exploratoires actifs afin de détecter et suivre la ligne en relief, puis la segmenter en unités représentationnelles significatives. Cette tâche est à la fois consommatrice de temps et de ressources cognitives et attentionnelles pour les aveugles, spécialement pour ceux n'ayant pas ou peu de connaissances antérieures des conventions graphiques visuelles. Un succès à la tâche n'est donc pas garanti.



**Figure I.2.** Images tactiles d'une pomme (informations 2D seulement) et d'une tasse (informations 3D incluses)

### **I.3.1. Corpus de publications**

Une recherche dans des bases de données comme Pubmed et Science Direct fait ressortir 15 articles publiés au cours des 30 dernières années correspondant à nos critères d'inclusion. Nous avons utilisé les critères suivants : publication dans un journal, utilisation de dessins aux traits en relief d'objets communs comme stimuli, utilisation d'une tâche d'identification d'images (avec double consigne d'exactitude dans les réponses et de vitesse), des participants aveugles et/ou voyants, et des mesures de réussite et/ou de temps de réponse. Comme présenté dans le Tableau I.1, les études sélectionnées proviennent d'un large panel de pays : les Etats-Unis, le Canada, l'Australie, le Royaume-Uni, les Pays-Bas et l'Italie.



**Tableau I.1.** Sélection d'articles de recherche sur l'identification de dessins tactiles.

Année de publication	Auteur(s)	Pays	Journal
1-1980	Magee & Kennedy	Canada	<i>Nature</i>
2-1989	Heller	Etats-Unis	<i>Perception</i>
3-1990	Lederman et al.	Canada/Etats-Unis	<i>Perception &amp; Psychophysics</i>
4-1991	Loomis et al.	Etats-Unis	<i>Perception</i>
5-1993	Klatzky et al.	Etats-Unis/Canada	<i>Perception &amp; Psychophysics</i>
6-1996	Heller et al.	Etats-Unis	<i>Perception &amp; Psychophysics</i>
7-1998	D'Anguilli et al.	Italie/Canada	<i>Scandinavian Journal of Psychology</i>
8-2000	Symmons & Richardson	Australie	<i>Perception</i>
9-2002	Kennedy & Bai	Canada	<i>Perception</i>
10-2003	Thompson et al.	Royaume- Uni	<i>Perception</i>
11-2006	Thompson et al.	Royaume-Uni	<i>European Psychologist</i>
12-2007	D'Anguilli	Canada	<i>Journal of Visual Impairment &amp; Blindness</i>
13-2008	Wijntjes et al.	Pays-Bas	<i>Perception</i>
14-2008	Wijntjes et al.	Pays-Bas	<i>Acta Psychologica</i>
15-2009	Scocchia et al.	Italie/Etats-Unis	<i>Perception</i>

Un examen détaillé de ce corpus (Tableau I.2) nous fournit un total de 44 valeurs pour les taux de réussite en identification d'images (en %), de 30 valeurs pour les temps de réponse (en s) (certaines études ne fournissent pas les temps de réponse). De larges variations sont observées pour ces deux mesures de performance. En général, la réussite moyenne est de 42% (écart-type = 21 ; min-max = 9-85) et le temps de réponse moyen de 58 s (écart-type = 21 ; min-max = 24-99).

Comme résumé dans le Tableau I.2, les études diffèrent en fonction d'un nombre potentiellement important de variables, cela inclut :

- le nombre de participants (1-36),
- le statut visuel (voyants vs aveugles),
- le set d'images (set personnel ou récupéré dans la base de données de [Snodgrass & Vanderwart, 1980](#)),
- le nombre d'images à identifier (3-20),
- le type de papier utilisé pour les images tactiles (film plastique ou papier Swell),
- le type d'image (avec seulement des informations 2D vs avec des informations 3D comme par exemple l'occlusion ou la perspective),
- la taille maximale de l'image (8.5-35 cm sur l'axe le plus long),
- le type d'information donnée à propos de l'image (peu ou aucune vs information sémantique préalable),
- le temps d'exploration (limité vs illimité), et
- le mode exploratoire (libre vs contraint).

**Tableau I.2.** Résumé des données des 15 études sélectionnées utilisant une tâche d'identification d'images tactiles

Etude	Nb. part.	Statut Visuel	Set d'im.	Nb. d'im.	Type papier	Type. d'imag e	Taille (cm)	Info donné e	Temps d'expl o.	Mode d'expl o	Réussite (%)	TR (s)
1	20	V	P	8	P	2D	15,0	M1	I	Libre	12	-
	20	V	P	8	P	2D	15,0	M1	I	C3	26	-
	8	V	P	12	P	2D	15,0	M1	I	Libre	17	-
	8	V	P	12	P	2D	15,0	M1	I	C3	26	-
2	11	V	P	12	P	3D	11,0	M1	I	Libre	13	84
	11	AP	P	12	P	3D	11,0	M1	I	Libre	9	63
	11	AT	P	12	P	3D	11,0	M1	I	Libre	36	81
	11	V	P	12	P	3D	11,0	I1	I	Libre	60	58
	11	AP	P	12	P	3D	11,0	I1	I	Libre	49	37
	11	AT	P	12	P	3D	11,0	I1	I	Libre	82	44
3	44	V	S	11	P	3D	15,2	M2	L 120	Libre	26	99
	44	V	S	11	P	2D	15,2	M2	L 120	Libre	41	83
	7	V	S	22	P	3D	15,2	M2	L 120	Libre	27	-
	7	AP	S	11	P	3D	15,2	M2	L 120	Libre	10	-
	7	AP	S	11	P	2D	15,2	M2	L 120	Libre	10	-
4	50	V	S	24	S	3D	15,9	M2	L 120	C1	44	96
	50	V	S	24	S	3D	15,9	M2	L 120	C2	48	90
5	10	V	P	35	S	3D	15,0	M1	L 120	C1	19	90
	10	V	P	35	S	3D	15,0	M1	L 120	C4	31	74
6	10	V	S	15	P	2D	10,0	M1	I	Libre	25	53
	10	V	S	15	P	2D	10,0	I2	I	Libre	63	30
	10	V	S	15	P	2D	10,0	I2	I	Libre	57	37
	10	AP	S	15	P	2D	10,0	I2	I	Libre	37	38
	10	AT	S	15	P	2D	10,0	I2	I	Libre	71	24
7	7	AP	P	8	P	3D	16,5	M1	L 120	Libre	45	-
	7	V	P	8	P	3D	16,5	M1	L 120	Libre	9	-
	7	V	P	8	P	3D	16,5	M1	L 120	C3	35	-
8	11	V	P	3	P	2D	8.5	M1	L 90	Libre	85	52
9	12	V	P	8	P	2D	22,5	M1	L 120	Libre	61	-
10	13	V	S	10	S	2D	15,0	M2	L 90	Libre	57	35
	13	V	S	10	S	2D	15,0	M2	L 90	Libre	68	25
11	14	V	S	8	S	3D	15,0	M2	L 90	Libre	50	72
	14	V	S	8	S	2D	15,0	M2	L 90	Libre	56	56
	14	AP	S	8	S	3D	15,0	M2	L 90	Libre	13	66
	14	AP	S	8	S	2D	15,0	M2	L 90	Libre	50	59
	14	AT	S	8	S	3D	15,0	M2	L 90	Libre	44	49
	14	AT	S	8	S	2D	15,0	M2	L 90	Libre	69	46
12	1	AP	P	8	P	3D	16.5	M1	I	Libre	63	-
13	28	V	P	12	S	2D	10,0	M1	I	Libre	77	47
	28	V	P	12	S	2D	35,0	M1	I	Libre	84	49
14	20	V	P	20	S	2D	25,7	M1	L 45	C4	50	-
	20	V	P	20	S	2D	25,7	M1	L 45	C5	59	-
15	36	V	S	18	S	3D	15,9	M2	L 90	C4	43	48
	36	V	S	18	S	3D	15,9	M2	L 90	C4	32	54

**Nb. part** = nombre de participants. **Statut visuel** : V = voyants, AP = aveugles précoces, AT = aveugles tardifs. **Set d'im.** : P = set personnel, S = set d'images de Snodgrass. **Nb. d'im.** = nombre d'images. **Type papier** : P = film plastique, S = papier Swell. **Type d'images** : 2D = information sur deux dimensions uniquement, 3D = information d'une troisième dimension incluse. **Taille (cm)** = taille maximum des images dans leur axe le plus long (en cm). **Info Donnée** : M = minimum (1-pas d'information spécifique, 2-taille min et max de l'image), I = information donnée sur les images (1-liste d'objets, 2-catégorie). **Temps d'explo** : I = temps d'exploration illimité, L = temps d'exploration limité (45, 90, or 120 s). **Mode d'explo** : L = Exploration libre, C = exploration contrainte (1-index seulement, 2-index et majeur, 3-index guidé, 4-unimanuelle, 5-bimanuelle). **Réussite (%)** = pourcentage moyen d'images correctement identifiées. **TR (s)** = temps de réponse moyens en secondes.

### I.3.2. Description des 15 études

**Etude 1- Magee et Kennedy (1980)** demandent, dans une première expérience, à 20 adultes V d'identifier 8 images tactiles d'objets communs dans une condition d'exploration 'active' où les sujets décident eux-mêmes des mouvements d'exploration des images. Un second groupe de 20 adultes V identifie ces mêmes images dans une condition d'exploration 'passive' où ils sont guidés au niveau de leur index dans l'exploration des images (la direction, l'étendue, et la vitesse du mouvement sont contrôlées). Les images utilisées sont des images en 2D, de taille maximale 15 cm, produites sur papier plastique Mylar, et issues d'un corpus d'images propre aux auteurs. Le pourcentage d'identification des images est de 12% dans le groupe V en condition 'active' et 26% en condition 'passive', la différence de performance entre les deux groupes est significative. Dans une seconde expérience, les auteurs proposent à des sujets V d'identifier 12 images tactiles d'objets communs (papillon, bateau, couronne, poisson, verre à pied, marteau, main, corps, lapin, parapluie, cygne, et fleur) dans une condition d'exploration 'active' (n = 8 sujets) ou 'guidée' où ils explorent chaque image en scannant la ligne dans un sens horaire sans se répéter (n = 8 sujets). Les résultats montrent que le groupe 'guidé' obtient de meilleurs scores d'identification (26% d'identifications correctes) que le groupe 'actif' (17% d'identifications correctes). D'après [Magee et Kennedy \(1980\)](#), l'acte de planifier les mouvements d'exploration de l'image impose une forte demande sur les ressources limitées du système haptique, expliquant pourquoi une exploration guidée des images est plus efficace qu'une exploration libre.

**Etude 2- Heller (1989)** montre, dans une première expérience, qu'il n'y a pas de différence entre groupes (AP, AT, V) dans une tâche de discrimination tactile, bien que les sujets aveugles répondent plus vite que les sujets V à la tâche. Dans une seconde expérience, il demande à des sujets AP, AT et V d'identifier 12 images tactiles d'objets communs (clé, ciseaux, montre, pile, tampon encreur, cintre, téléphone, bouteille, visage, personne, parapluie, cane). Ces images sont issues d'un corpus propre à l'auteur, elles incluent pour certaines des informations 3D, sont produites sur du papier plastique Mylar, et sont de taille maximale 11 cm. Aucune limite de temps n'est imposée, de même l'exploration est libre. Les AT obtiennent des scores d'identification significativement supérieurs (36%) à ceux des AP (9%) et des V (13%), sans différence significative entre les deux derniers groupes. Par la suite, [Heller](#) donne la liste des noms des objets décrits dans les images aux sujets avant la tâche d'identification. Avec cette information préalable, les scores obtenus sont les suivants : 82% d'identification correcte pour les AT, 49% pour les AP et 60% pour les V, montrant une

amélioration globale des scores liée aux informations données, et à nouveau la supériorité des AT sur les autres groupes. D'après [Heller \(1989\)](#), l'expérience visuelle n'est pas nécessaire à la perception d'images tactiles ; l'avantage des AT peut s'expliquer par le fait que ces sujets bénéficient d'expérience visuelle (par rapport aux AP) et ont une expérience accrue en matière d'exploration d'images tactiles (par rapport aux V).

**Etude 3-** [Lederman et al. \(1990\)](#) montrent, dans une première expérience, que 44 sujets V obtiennent de meilleurs scores d'identification de 12 images tactiles d'objets communs lorsque ces images sont des représentations 2D des objets (41%) (pull, crayon, chaussette, ampoule, peigne, enveloppe, raquette de tennis, vis, carotte, clé, batte de baseball) plutôt que des représentations 3D (26%) (bol, bougie, tournevis, tasse, marteau, prise, cravate, cadenas, livre, sifflet, cendrier). Ces images étaient issues de la base de données de [Snodgrass et Vanderwart \(1980\)](#), étaient produites sur du papier plastique, et de taille maximale 15.2 cm. Les sujets étaient informés de la taille minimale et maximale des objets décrits dans les images ; ils étaient libres de leur exploration haptique mais devaient identifier les images en temps limité (120 sec maximum). Dans une expérience suivante, 7 sujets Aveugles de Naissance (AN) devaient identifier 11 images 2D et 11 images 3D, dans des conditions similaires à celles des sujets V de l'expérience précédente. Les résultats montrent que, comparés à des sujets V qui identifient 27% des images, les sujets AN parviennent à identifier seulement 10% des images proposées, que ces images incluent ou non des informations 3D. [Lederman et al \(1990\)](#) concluent qu'un processus de translation visuelle des informations haptiques est opéré par les sujets V pour faire sens aux images tactiles ; par comparaison, les sujets AN ne bénéficiant pas d'imagerie visuelle ont des difficultés majeures à traiter les images tactiles.

**Etude 4-** [Loomis et al. \(1991\)](#) dans leur expérience principale demandent à 50 adultes V d'identifier 24 images dans des conditions d'exploration contraintes soit avec l'index seulement, soit avec l'index et le majeur. Dans les deux conditions, le temps d'exploration est limité à 120 secondes et les sujets sont informés de la taille minimale et maximale des objets décrits dans les images. Les images sont issues du set de [Snodgrass et Vanderwart \(1980\)](#), imprimées sur du papier Swell, de taille maximale 15.9 cm. Ces images incluent des informations 3D. Les taux de réussite observés avec un doigt (44%) ne diffèrent pas significativement de ceux observés avec deux doigts (48%). Toutefois ces performances sont inférieures à des performances obtenues dans la modalité visuelle (80%), sauf lorsque la taille du champ perceptif visuel est volontairement réduite (utilisation d'une fenêtre de taille

contrôlée) à celle du toucher (50%). Les auteurs concluent que la difficulté à identifier des images par le toucher peut être attribuée au champ perceptif limité dans la modalité tactile.

**Etude 5-** [Klatzky et al. \(1993\)](#) comparent dans une première expérience l'identification d'objets réels et d'images représentant ces objets vus du dessus créées par les auteurs pour cette expérience. Ces images sont imprimées sur du papier Swell et leur taille maximale est de 15 cm. Les images sont des représentations d'objets réels et comportent des indices 3D. Dans cette expérience, les 10 participants V devaient identifier 35 dessins dans deux conditions différentes (avec l'index, avec cinq doigts). Le temps d'exploration était limité à 120 secondes. Les sujets disposaient uniquement d'information sur l'orientation (vue du dessus). Contrairement à l'étude de [Loomis et al. \(1991\)](#) les résultats montrent qu'en augmentant la taille du champ perceptif (condition 5 doigts) les images sont mieux identifiées. En effet dans la condition index seulement, le taux de réussite observé (18.75%) est inférieur à celui de la condition cinq doigts (31.25%). Les auteurs concluent que l'utilisation de plusieurs doigts permet de percevoir avec une plus grande surface et donc pourrait augmenter la taille du champ perceptif tactile, mais ils n'écartent pas l'idée que l'utilisation de plusieurs doigts ait pu favoriser l'identification en guidant l'exploration malgré une fenêtre perceptive réduite.

**Etude 6-** [Heller et al. \(1996\)](#) testent l'influence des informations catégorielles et de l'expérience visuelle sur l'identification d'images tactiles. Ils pensent que l'identification de telles images est possible sans expérience visuelle. Pour cela, ils mettent en place plusieurs expériences dans lesquelles ils utilisent les mêmes stimuli, 15 images issues du set de [Snodgrass et Vanderwart \(1980\)](#), dessinées en relief sur un film plastique, dont la taille maximale est 10 cm. Les dessins utilisés dans cette expérience ne comportent pas ou très peu d'indices 3D. Dans chaque expérience le temps d'exploration n'est pas limité, et le mode d'exploration est libre. Dans l'expérience 1, 20 sujets V devaient identifier les 15 images, la moitié des sujets disposait d'information sur la catégorie des objets avant d'avoir à les identifier, alors qu'un groupe contrôle ne disposait d'aucune information particulière. Les résultats montrent un taux de réussite supérieur pour le groupe avec information catégorielle (63.3%) que pour le groupe sans information catégorielle (24.7%). Dans l'expérience 2, un nouveau groupe de 20 sujets V passe l'expérience mais, cette fois-ci, les informations catégorielles sont fournies entre l'exploration des dessins et la réponse par les sujets. Les auteurs rapportent des résultats similaires à l'expérience 1. Dans l'expérience 3, afin de tester l'influence du statut visuel sur l'identification, les auteurs font passer une tâche d'identification avec le même matériel et comparent les résultats d'un groupe de 10 sujets V,

un groupe de 10 sujets AP et un groupe de 10 sujets AT. Comme dans l'expérience 1, des informations sur la catégorie de l'objet sont fournies. Les résultats montrent des taux de réussites de 56.7% pour les sujets V, 37.3% pour les sujets AP, et 70.7% pour les sujets AT, avec une supériorité des taux en faveur des V et AT par rapport aux AP. Les auteurs concluent que le manque d'expérience avec les images qu'elles soient tactiles ou visuelles (majoritairement le cas chez les AP) peut expliquer les résultats en défaveur des individus AP.

**Etude 7-** [D'Angiulli, Kennedy, et Heller \(1998\)](#) testent l'hypothèse que les enfants aveugles auront plus de facilité que les enfants voyants à identifier des images tactiles, alors qu'ils n'en ont jamais rencontré auparavant, et cela en raison de leur plus grande familiarité avec les supports tactiles comme le Braille par exemple. Pour cela, ils utilisent un set personnel de 8 images tactiles, issu des mêmes dessins utilisés dans [Heller et al. \(1989\)](#), imprimé sur du plastique type Mylar. Les dimensions maximales des dessins sont de 16.5 cm. Une partie des dessins comporte des informations 3D. Les auteurs demandent à trois groupes d'enfants âgés de 8 à 13 ans d'identifier ces images sans leur donner d'information particulière et en leur laissant un temps maximum d'exploration de 120 secondes. Le premier groupe d'enfants comporte 7 AP et doit explorer librement les images, le second groupe comporte 7 enfants V et doit explorer librement les images, tandis que le troisième groupe dispose d'une consigne légèrement différente puisqu'il doit explorer les images de manière passive, l'index étant guidé par l'expérimentateur. Les taux d'identification sont significativement supérieurs pour les enfants AP (45%) par rapport aux enfants V en condition exploration libre (9%) ainsi qu'en faveur des enfants V en condition exploration passive (35%) par rapport aux enfants V en exploration active. Les auteurs concluent sur l'importance du guidage dans l'exploration des images tactiles et que les aveugles parviennent plus facilement à identifier les images tactiles grâce à l'expérience acquise dans ce domaine.

**Etude 8-** [Symmons et Richardson \(2000\)](#) demandent à 11 adultes V d'explorer librement 3 images tactiles représentant des objets en 2D. Les images aux traits en relief sont imprimés sur du film plastique de type Mylar et ont une dimension maximale de 8.5 cm. Les 3 stimuli sont propres aux auteurs, extrêmement simples et représentent un sapin de Noël, le mot KEY, ainsi qu'un visage aux traits simplifiés. Aucune information sur le contenu des images n'est donnée aux participants. Ils peuvent explorer l'image pour une durée maximale de 90 secondes. Les auteurs obtiennent un taux de reconnaissance fort (85%). Ils analysent les stratégies qu'emploient librement les participants et concluent que l'exploration avec l'index seulement est fréquente et ne semble pas moins efficace que l'exploration multi-digitale.

**Etude 9-** Kennedy et Bai (2002), dans leur première expérience, demandent à 12 adultes V d'identifier 8 images tactiles issues des images utilisées précédemment dans d'autres expériences (D'Angiulli et al., 1998 ; Heller, 1989 ; Kennedy, 1974 ; Richardson, Symmons & Kennedy, 1998). Les images sont produites sur des films plastiques Mylar, en 2D (bonhomme, clé, marteau, parapluie, fourchette, brosse à dents, cygne, paire de ciseaux), de dimension maximale 22.5 cm. Les participants disposent d'un temps d'exploration maximum de 120 secondes et aucune consigne particulière ne leur est donnée. Les auteurs rapportent un taux d'identification de 61%.

**Etude 10-** Thompson, Chronicle, et Collins (2003) demandent à un premier groupe de 13 adultes V d'identifier 10 dessins aux traits en relief sans indices 3D, issus du corpus de Snodgrass et Vanderwart (1980) et imprimés sur du papier Swell. La dimension maximale des dessins est de 15 cm. Les auteurs ne donnent pas d'information particulière sur le contenu des objets décrits aux sujets, mais une information sur les dimensions des objets qui sont mises à l'échelle. Les sujets disposent de 90 secondes maximum pour explorer librement les dessins. Un second groupe de 13 adultes V doit réaliser exactement la même tâche mais les dessins sont présentés cette fois-ci texturés. Les auteurs montrent que le taux d'identification des dessins texturés est significativement supérieur (68%) à celui des dessins aux traits en relief (57%). Les auteurs concluent que l'introduction d'indices de texture dans le dessin augmente les taux d'identification parce que les images texturées favoriseraient un traitement holistique plutôt qu'analytique de l'image.

**Etude 11-** Thompson et al. (2006) montrent que, dans une première condition d'identification d'images aux traits en reliefs visuellement réalistes sans indice 3D issus du corpus de Snodgrass et Vanderwart (1980), il apparaît une différence de taux d'identification entre des adultes V (50%), adultes AP (13%) et adultes AT (44%). Dans une seconde condition, les mêmes participants doivent identifier des images tactiles de type Taxyform, c'est-à-dire des images 2D comportant des indices de profondeur différents des conventions graphiques visuelles classiques. Les auteurs montrent qu'avec ces nouveaux stimuli, il n'y a pas de différence significative entre les taux d'identification des participants V (56%), AP (50%) et AT (69%). Ces taux sont par ailleurs meilleurs pour les images de type Taxyform que pour les images tactiles classiques quel que soit le statut visuel des participants. Dans cette expérience, les images sont imprimées sur du papier de type Swell, leur taille maximale est de 15 cm. Les participants peuvent explorer les images librement pendant une durée maximale de 90 secondes. Ils étaient simplement informés de la taille minimale et maximale des objets représentés. Les auteurs concluent que, contrairement aux images visuellement

réalistes avec indices de profondeur, les images Taxyform ne nécessiteraient pas le recours à la médiation visuelle pour être identifiées, ce qui faciliterait leur traitement par le système haptique et par les personnes aveugles. La représentation mentale élaborée à partir des images Taxyform serait également plus proche d'une description structurale (Biederman, 1987 ; Pathak & Pring, 1989) que les adultes aveugles possèderaient à propos des objets décrits dans les images.

**Etude 12-** D'Angiulli (2007) réalise une étude de cas d'un enfant de 13 ans AP. Il lui demande d'identifier 8 dessins aux traits en relief imprimés sur un film plastique de type Mylar. Les dessins ne font pas partie d'un corpus particulier mais sont récupérés dans plusieurs études antérieures de l'auteur et de ses collègues ; ils représentent une pomme, une tasse, une paire de ciseaux, un téléphone, une clé, un visage, une bouteille et une table et certains comportent des indices 3D. Leur dimension maximale est 16.5 cm. Le temps d'exploration des images n'est pas limité, l'exploration est libre. L'auteur montre que ce garçon AP obtient un taux d'identification de 63%.

**Etude 13-** Wijntjes, van Lienen, Verstijnen, et Kappers (2008a) montrent que 28 participants V identifient mieux des dessins aux traits en reliefs de dimension 35 cm (taux d'identification = 84%) que de dimension 10 cm (77%). Dans cette expérience, les dessins étaient dérivés des dessins personnels utilisés par Kennedy et Bai (2002). Le set comprenait 12 dessins sans indices 3D, imprimés sur du papier de type Swell (enveloppe, hache, pièce de puzzle, bateau, parapluie, clé de mécanique, drapeau, voiture, canard, marteau, ampoule, paire de ciseaux). Les participants disposaient d'un temps d'exploration illimité, l'exploration était libre et aucune information particulière n'était donnée concernant le contenu des dessins. Les auteurs concluent que l'identification des images est facilitée par des stimuli de grande taille par comparaison à des stimuli de plus petite taille traditionnellement utilisés. Les images de grandes tailles induiraient des mouvements exploratoires plus adaptés à ce genre de tâche.

**Etude 14-** Wijntjes, van Lienen, Verstijnen, et Kappers (2008b) demandent à 20 participants V d'identifier 20 dessins aux traits en relief. Dans une seconde phase, les participants doivent dessiner ce qu'ils ont perçu lors de leur exploration haptique. L'exploration haptique est contrainte : dans la moitié des essais, seule une main peut être utilisée, dans l'autre moitié des essais, les deux peuvent être utilisées. Les auteurs trouvent un taux d'identification supérieur lorsque les deux mains peuvent être utilisées (59%) plutôt qu'une seule (50%). Pour cette étude les 20 dessins aux traits en relief étaient imprimés sur de papier de type Swell. La dimension des dessins ne dépassait pas 25.7 cm. Les dessins ne comportaient pas d'indices 3D et étaient issus d'un ensemble de dessins d'études antérieures



(voir [Wijntjes et al., 2008a](#) : une enveloppe, une hache, une pièce de puzzle, un bateau, un parapluie, une clé de mécanique, un drapeau, une voiture, un canard, un marteau, une ampoule, une paire de ciseaux plus pour cette étude : une ancre de bateau, un papillon, un batteur électrique, un revolver, le sigle handicap, un jerrycan, une guitare). Le temps d'exploration était limité à 45 secondes. Les auteurs montrent que le fait de dessiner bénéficie à l'identification des dessins a priori difficiles et suggèrent que l'externalisation et la visualisation des informations spatiales par le procédé de dessin permet de transformer une description mentale sérielle et difficile à identifier en une description plus simultanée et dès lors plus facile à identifier. Ils montrent aussi que l'utilisation des deux mains, en augmentant le champ perceptif, permet une meilleure identification des images.

**Etude 15-** [Scocchia, Stucchi, et Loomis \(2009\)](#) demandent à 36 participants V d'identifier 18 dessins aux traits en relief dérivés du corpus de [Snodgrass et Vanderwart \(1980\)](#). Les dessins sont imprimés sur du papier de type Swell et comprennent des indices 3D (peigne, carotte, cuillère, pince à linge, tasse, clé, couteau, marteau, fourchette, gant, cintre, vis, ampoule, crayon, enveloppe, tournevis, verre, paire de ciseaux). La dimension maximale des dessins est de 15.9 cm. Les participants peuvent explorer les dessins durant 90 secondes maximum et uniquement avec la main droite. Les informations données aux sujets concernent la taille minimum et maximum des objets représentés. Les auteurs font varier l'axe du regard des participants par rapport à la position du dessin. Soit le dessin est placé dans un axe identique au regard du participant (45° vers la gauche par rapport à l'axe normal du regard), soit il est placé dans un angle de 90° par rapport au regard du participant (le participant a le regard tourné à 45° vers la droite par rapport à l'axe normal du regard et le dessin est orienté à 45° vers la gauche par rapport à l'axe normal du regard). Les auteurs montrent que les taux d'identification des dessins alignés dans l'axe des participants (43%) étaient significativement supérieurs aux taux d'identification de dessins désaxés (32%). Les auteurs concluent que l'imagerie visuelle faciliterait l'identification haptique d'images tactiles 2D par les individus voyants. Ils avancent que l'imagerie visuelle serait plus vivace et détaillée lorsque l'espace représentationnel est aligné avec la position de la tête et du regard c'est-à-dire un point de vue égocentrique. Mais aussi que l'imagerie visuelle faciliterait davantage l'identification haptique lorsque l'image visuelle induite lors de l'exploration haptique est congruente dans l'espace avec le stimulus.

### I.3.4. Facteurs de variation des performances

Notre préoccupation principale sera ici d'examiner les facteurs qui peuvent être responsables des variations observées sur les deux indices de performance (réussite, temps de réponse) selon les études. Pour cela, après avoir rassemblé les données sur les variables d'intérêt précitées (voir Tableau I.2), nous avons mené des analyses de régression multiple pas à pas (*stepwise forward regression analyses*) pour estimer les variables qui affectent chaque mesure de performance (réussite et temps de réponse).

Pour les mesures de réussite, nous avons obtenu un  $R^2$  multiple significatif bien que faible de 0.45,  $F(5, 38) = 6.23$ ,  $p < 0.001$  (erreur standard d'estimation = 16.77). L'équation de régression était :

$$\text{Réussite (\%)} = 53.03 - 0.92 \text{ Nombre d'images} + 7.48 \text{ Set d'images} + 26.46 \text{ Type de papier} + 13.14 \text{ Type d'image} + 25.95 \text{ Information donnée.}$$

Des betas significatifs étaient obtenus pour le Nombre d'images ( $\beta = -0.29$ ,  $t(38) = -2.14$ ,  $p < 0.05$ ), Type de papier ( $\beta = 0.62$ ,  $t(38) = 4.16$ ,  $p < 0.001$ ), Type d'image ( $\beta = 0.31$ ,  $t(38) = 2.49$ ,  $p < 0.05$ ), et Information donnée ( $\beta = 0.45$ ,  $t(38) = 3.36$ ,  $p < 0.01$ ).

Une observation plus fine des données indique que la réussite :

-diminuait avec le nombre d'images,

-était plus forte lorsque les images étaient imprimées sur du papier Swell (moyenne = 50%, écart-type = 19,  $n = 18$ ) plutôt que sur film plastique (moyenne = 36%, écart-type = 22,  $n = 26$ ),

-était plus forte pour les dessins 2D (moyenne = 50%, écart-type = 23,  $n = 22$ ) que pour les 3D (moyenne = 33%, écart-type = 16,  $n = 22$ ), et

-était plus forte lorsque de l'information (eg., sur la catégorie, la dimension) était donnée (moyenne = 53%, écart-type = 14,  $n = 7$ ) plutôt que pas (moyenne = 44%, écart-type = 18,  $n = 37$ ).

Pour les temps de réponse, nous avons obtenu un  $R^2$  multiple significatif fort de 0.83,  $F(8, 21) = 13.16$ ,  $p < 0.001$  (erreur standard d'estimation = 10.25). L'équation de régression était :

$$\text{Temps de réponse (s)} = 27.81 + 1.01 \text{ Nombre de participants} + 2.86 \text{ Nombre d'images} - 0.18 \text{ Statut visuel} - 20.25 \text{ Type de papier} - 23.31 \text{ Type d'image} - 26.80 \text{ Information donnée} - 21.19 \text{ Temps d'exploration} + 60.02 \text{ Mode d'exploration.}$$

Des betas significatifs étaient obtenus pour le Nombre d'images ( $\beta = 0.97, t(21) = 4.42, p < 0.001$ ), Type de papier ( $\beta = -0.48, t(21) = -3.52, p < 0.01$ ), Type d'image ( $\beta = -0.55, t(21) = -4.98, p < 0.001$ ), Information donnée ( $\beta = -0.54, t(21) = -4.35, p < 0.001$ ), Temps d'exploration ( $\beta = -0.50, t(21) = -3.30, p < 0.01$ ) et Mode d'exploration ( $\beta = 1.14, t(21) = 3.74, p < 0.01$ ).

En lien avec les résultats obtenus pour la réussite, nous avons trouvé que les temps de réponse étaient plus courts :

- lorsque les images étaient limitées en nombre,
- lorsque les images étaient imprimées sur du papier Swell,
- lorsqu'elles décrivaient des objets 2D,
- lorsqu'une information était donnée,
- lorsque les participants n'avaient pas de limite de temps d'exploration (moyenne = 50s, écart-type = 18,  $n = 13$ ) plutôt que lorsque le temps était limité (moyenne = 65s, écart-type = 22,  $n = 17$ ), et
- lorsque les participants pouvaient explorer librement les dessins (moyenne = 54s, écart-type = 20,  $n = 24$ ), comparé avec une exploration contrainte (moyenne = 76s, écart-type = 21,  $n = 6$ ).

Notre analyse confirme que des facteurs comme l'information sémantique présentée a priori (voir [Heller et al., 1996](#)) et la manière dont les objets sont dépeints (2D vs 3D) (voir [Lederman et al., 1990](#)) sont pertinents pour l'identification de dessins tactiles. Plus important, notre analyse révèle de nouveaux facteurs de variation, jusqu'alors méconnus. Tout d'abord, deux facteurs sous-estimés affectent la performance : le type de papier utilisé pour produire les stimuli et le nombre d'images à identifier. Le papier de type Swell apparaît meilleur que le film plastique, sans doute parce qu'il amène à une meilleure résolution et qualité de ligne. Un plus grand nombre de stimuli rend la tâche plus difficile pour les lecteurs, sans doute à cause de la saturation des canaux tactiles et des interférences entre traces mnésiques. Ensuite, de manière assez inattendue, lorsqu'une contrainte est imposée sur le temps d'exploration, cela réduit le temps de résolution de la tâche par les individus. D'un côté, on peut penser que les individus prennent le temps complet lorsque celui-ci est prédéfini, patientant jusqu'au bout pour être réellement certains de leur réponse. D'un autre côté, on peut penser que limiter le temps d'exploration rend la tâche plus stressante, et empêche les individus de choisir la procédure d'exploration optimale pour encoder les stimuli.

Etonnamment, ce que nous pourrions considérer comme des paramètres de bas niveau (papier, quantité de stimuli, limite de temps) apparaissent comme des facteurs pertinents pour l'identification de dessins tactiles, alors que le statut visuel (et par là même les différences dans la possibilité d'utiliser une imagerie visuelle performante) n'apparaît pas comme un facteur significatif des variations de performances entre les études ! Que le statut visuel ne sorte pas de l'analyse peut être dû au fait que finalement peu de données sur les aveugles sont disponibles. De plus, dans nos analyses, nous avons regroupé sous une seule catégorie les individus AP et AT. Cela peut avoir écrasé les différences liées au statut visuel. Malgré tout, cette absence d'effet significatif du statut visuel sur les mesures de performance demande de creuser la question du rôle du statut visuel (i.e., de l'expérience visuelle et des capacités d'imagerie visuelle des individus) sur le traitement des images tactiles.

#### **I.4. Question de recherche et hypothèses**

D'une manière générale, la question de recherche de ce travail tient à la nature des mécanismes engagés dans le traitement d'images tactiles par le sens du toucher. Nous avons présenté plus haut le modèle de « médiation visuelle » proposé par [Lederman et al. \(1990\)](#). Ce modèle est intéressant car il propose de rendre compte des mécanismes engagés dans la perception haptique de dessins aux traits en relief (l'exploration haptique, le transfert ou la traduction de l'information haptique en une image visuelle, l'identification du concept, et la récupération du nom de l'objet). Nous avons vu que le rôle central du mécanisme de translation visuelle des informations prises haptiquement est controversé puisque certains auteurs avancent que l'identification peut se faire sur la base unique des informations haptiques sans translation visuelle. L'objectif de ce travail sera de tester la validité du modèle de médiation visuelle de [Lederman et al. \(1990\)](#).

Pour cela, nous ferons **l'hypothèse générale (ou hypothèse de recherche) que l'expérience visuelle et l'imagerie visuelle jouent un rôle central dans la perception et l'identification haptique d'images tactiles**. Afin de tester par les faits cette hypothèse de recherche, nous procéderons de trois manières différentes mais complémentaires :

1. En comparant les capacités de traitement d'images tactiles chez des individus différant du point de vue de leur expérience visuelle et de leur possibilité d'avoir recours à l'imagerie visuelle : des individus aveugles précoces (AP), aveugles tardifs (AT) et des voyants (V). Si notre hypothèse de recherche est valide, alors on peut s'attendre à ce que :

- **Hypothèse n°1** : les capacités de traitement d'images tactiles soient moins bonnes chez des individus aveugles, en particulier les AP, que chez des individus voyants ;

- **Hypothèse n°2** : par ailleurs, on peut s'attendre à ce que, chez les aveugles, les capacités de traitement soient inversement liées à la précocité de la cécité.

2. En analysant les stratégies mnésiques utilisées par des individus AP, AT, et V pour traiter des images tactiles, et l'impact de ces stratégies sur les performances. Si notre hypothèse de recherche est valide, alors on peut s'attendre à ce que :

- **Hypothèse n°3** : il existe des différences importantes en matière d'imagerie mentale selon les individus, avec un recours massif à l'imagerie visuelle chez les V, et certains AT, versus un usage de stratégies non visuelles chez les AP ;

- **Hypothèse n°4** : le type de stratégie ait un impact important sur les performances, avec de meilleures performances chez les sujets ayant recours à une imagerie visuelle que chez les sujets utilisant des images mentales non visuelles.

3. En mesurant les capacités d'imagerie visuelle des sujets (voyants uniquement), et en testant leur impact sur les performances. Pour mesurer les capacités d'imagerie visuelle, deux types de tests sont utilisés : le premier questionnaire mesure la vivacité (subjectivement perçue par le sujet lui-même ; voir Annexe 1 p. 121) de l'imagerie visuelle, le second test mesure (objectivement) les capacités d'imagerie visuospatiale. Si notre hypothèse de recherche est valide, alors on peut s'attendre à ce que :

- **Hypothèse n°5** : il existe une relation positive entre la vivacité de l'imagerie visuelle des sujets et leur capacité à traiter des images tactiles ;

- **Hypothèse n°6** : les sujets forts en imagerie visuospatiale obtiennent de meilleures performances que les sujets faibles en imagerie visuospatiale.

Ces différentes hypothèses spécifiques sont testées au sein de 4 études expérimentales, qui diffèrent selon le type d'image utilisé (patterns géométriques, dessins de visages expressifs, dessins d'objets communs) que nous classons par la suite en deux catégories, les dessins figuratifs et non figuratifs. Les 4 études expérimentales diffèrent aussi selon le type de tâche (reconnaissance, classification, identification) demandé. Cette distinction entre dessins non figuratifs et figuratifs se retrouve dans l'organisation des chapitres II et III de la partie expérimentale.

Dans un premier temps (Chapitre II), nous présentons 2 études portant sur la perception haptique d'images non figuratives (tâche de reconnaissance). Bien que notre intérêt se porte essentiellement sur le traitement d'images tactiles significatives pour le sujet en termes de représentations d'objets, et leur utilisation potentielle chez les personnes aveugles,

il nous a paru nécessaire d'étudier au préalable le traitement d'images plus simples, non figuratives, correspondant à des configurations géométriques sans signification particulière. Ce détour s'impose comme préalable puisqu'il doit nous permettre de neutraliser l'effet lié aux connaissances des conventions visuelles de dessin. En effet, les aveugles présentent par rapport aux voyants une moindre expérience visuelle (voir une absence totale d'expérience visuelle) mais également une moindre connaissance (voir une méconnaissance totale) des conventions visuelles de dessin. Les images non figuratives ne demandent pas, pour être traitées, de connaissance particulière sur les conventions visuelles de dessin, contrairement à la plupart des images figuratives. Ainsi avec des images non figuratives, il nous est possible de procéder à une comparaison entre aveugles et voyants pour tester l'effet de l'expérience visuelle et de l'imagerie visuelle sur le traitement des images tactiles. Cela nous permet dans un second temps au Chapitre III de présenter 2 études portant sur la perception d'images figuratives, la première comprenant une tâche de classification des visages expressifs, et la seconde une tâche d'identification d'objets communs.



# **Chapitre II**

## **PERCEPTION HAPTIQUE D'IMAGES NON FIGURATIVES**





## II. PRESENTATION

Cette partie traite de la perception d'images non figuratives. Deux études y sont présentées. L'Etude 1 aborde le rôle de l'expérience visuelle et de l'imagerie visuelle dans le traitement de patterns tactiles bidimensionnels (2D). Une comparaison des compétences entre aveugles précoces (AP), aveugles tardifs (AT) et voyants réalisant la tâche sous occlusion visuelle (V) y est faite. De plus nous examinons si la reconnaissance de patterns tactiles 2D dépend du type de stratégie mnésique utilisé par les participants AP, AT, et V pour répondre à la tâche. Aucune différence significative entre les groupes n'est trouvée en performance de reconnaissance, malgré des différences significatives dans les stratégies mnésiques auto-rapportées. La performance en reconnaissance ne varie pas significativement selon la stratégie, mais elle est corrélée aux capacités d'imagerie visuospatiale des participants voyants. Ces résultats suggèrent que les difficultés rencontrées par des aveugles lors du traitement d'images tactiles ne sont pas dues aux difficultés de traitement de patterns tactiles 2D.

L'Etude 2 teste si l'âge d'apparition de la cécité totale et la proportion de temps de vie sans expérience visuelle affectent le traitement ainsi que la reconnaissance haptique d'images tactiles chez un échantillon de 20 adultes aveugles. Nous examinons aussi le type de stratégie mentale (visuelle, non visuelle) utilisée pour réaliser cette tâche de reconnaissance haptique. Les résultats indiquent que le traitement haptique d'images tactiles non figuratives peut être efficacement réalisé avec différents niveaux d'expérience visuelle et en utilisant différentes stratégies par des adultes aveugles. Les résultats montrent aussi des interactions entre stratégie et proportion de temps de vie sans expérience visuelle.

## II. 1. ETUDE 1

### RECONNAISSANCE HAPTIQUE D'IMAGES NON FIGURATIVES (PATTERNS 2D) PAR DES ADULTES AVEUGLES PRECOCES, AVEUGLES TARDIFS ET VOYANTS<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> L'étude 1 est la traduction en français de l'article : [Picard, D., Lebaz, S., Jouffrais, C., & Monnier, C. \(2010\)](#). Haptic recognition of two-dimensional raised-line patterns by early blind, late blind and blindfolded sighted adults. *Perception*, 39, 224-235.

### II.1.1. Introduction

Les images sont partie intégrante de notre environnement quotidien, et de manière plus large, elles sont impliquées dans les communications sociales humaines. Jusqu'à présent, l'étude de la perception d'images a concerné la vision. Cependant, certains chercheurs ont récemment posé la question de la possibilité de récupérer des informations spatiales utiles, par le toucher, à partir d'images aux traits en relief. Ces « images tactiles » (Eriksson, 1998) peuvent être produites grâce à un matériau sensible à la chaleur (papier Swell), ou grâce à une feuille plastique sensible à la pression (papier Mylar par exemple). Dans les deux cas, la trace graphique apparaît en relief (1 mm) et de ce fait devient détectable par les doigts de la main. Les images tactiles, dans leur sens le plus large (i.e., qui inclut mais ne se limite pas aux dessins aux traits en relief) présentent potentiellement une grande utilité pour les aveugles. Elles peuvent leur permettre de récupérer des informations sur les objets, les emplacements, les espaces et les formes (Kennedy, 1993).

Plusieurs types d'images tactiles ont été créés et testés expérimentalement avec des adultes aveugles et voyants (servant de groupe contrôle). Beaucoup de ces recherches ont utilisé des dessins aux traits en relief d'objet communs (e.g., voiture, ciseaux, arbre, cendrier) comme matériel expérimental dans des tâches d'identification d'images (Heller, 1989 ; Heller, Calcaterra, Burson, & Tyler, 1996 ; Klatzky, Loomis, Lederman, Wake, & Fujita, 1993 ; Kennedy & Bai, 2002 ; Lederman, Klatzky, Chataway, & Summers, 1990 ; Loomis, Klatzky, & Lederman, 1991 ; Thompson, Chronicle, & Collins, 2003, 2006 ; Wijntjes, Lienen, Verstijnen, & Kappers, 2008a, 2008b ; voir aussi Heller, 2002 ; Heller, McCarty, & Clark, 2005 pour une revue). D'autres études ont évalué l'utilité de cartes tactiles (e.g., Caddeo, Fornara, Nenci, & Pirolidi, 2006 ; Espinoza & Ochaita, 1998 ; Ungar, Blades, & Spencer, 1993) et de graphiques tactiles (e.g., Jehoel, Ungar, McCallum, & Rowell, 2005) pour aveugles. Enfin, quelques études ont examiné la perception tactile des formes et patterns chez l'aveugle et/ou l'adulte voyant (e.g., Bailes & Lambert, 1986 ; Behrmann & Ewell, 2003 ; Heller, Brackett, Scroggs, Steffen, Heatherly, & Salik, 2002).

En général, ces études démontrent que la capacité des aveugles à percevoir des images tactiles varie fortement en fonction de la nature de l'image et de la tâche demandée. Bien que des formes géométriques tactiles simples (par exemple un rectangle) soient reconnues aisément (Heller, 1989 ; Millar, 1975), identifier un dessin aux traits en relief s'avère difficile pour un individu aveugle lorsque le dessin dépeint la structure tridimensionnelle de l'objet en suivant des conventions purement visuelles, ou du moins ce qui est le plus souvent admis

comme étant soit purement visuel, soit purement conventionnel, ou les deux (Lederman et al., 1990 ; Thompson & Chronicle, 2006). Un résultat récurrent mais non systématique (voir pour exception l'étude avec des enfants aveugles de D'Anguilli, Kennedy, & Heller, 1998) a montré que les Aveugles Tardifs (AT) et les Voyants (V) dépassent souvent les Aveugles Précoces (AP) en performance à diverses tâches de perception tactile d'images. Ce résultat appartient au débat actuel sur le rôle de l'expérience visuelle et de l'imagerie visuelle pour la perception d'images tactiles. Ce débat oppose deux théories de l'identification haptique d'images aux traits en relief. Celle de Lederman et al. (1990) défend que l'identification de dessin aux traits en relief est réalisée via l'imagerie visuelle. A l'inverse, Kennedy (1993) propose que l'identification d'image par le toucher est possible sans expérience visuelle préalable et sans imagerie visuelle, bien qu'étant difficile, et serait peut-être amodale.

Dans cette expérience, nous avons examiné le rôle de l'expérience visuelle et de l'imagerie visuelle dans le traitement de patterns tactiles non figuratifs bidimensionnels (2D à la suite dans le texte), c'est-à-dire des configurations spatiales qui n'incluent pas d'information dans la troisième dimension. De tels patterns 2D sont un type intéressant d'images tactiles pour la recherche expérimentale. En effet, comme les aveugles ont parfois des difficultés à identifier des images tactiles, ces patterns 2D sont utiles pour contrôler que ces difficultés ne sont pas le résultat d'une difficulté à traiter la configuration spatiale tactile *per se*. En effet, indépendamment de la difficulté supplémentaire à interpréter la signification de ce qui est perçu, on pourrait argumenter en avançant que les difficultés que rencontrent certains aveugles avec les images tactiles sont dues, même partiellement, à des représentations mentales ou à des stratégies mnésiques d'encodage des patterns tactiles inefficaces. La manière dont les patterns tactiles sont traités et stockés en mémoire de travail pourrait différer fortement en fonction du niveau d'expérience visuelle et cela pourrait avoir un impact direct sur la capacité à traiter des images tactiles.

Plusieurs études ont déjà montré que la manière dont l'information est encodée et maintenue en mémoire de travail varie en fonction de l'âge d'apparition de la cécité et de la demande de la tâche, et peut dans certains cas affecter la performance dans des tâches d'imagerie spatiale. En utilisant une tâche de mémoire visuospatiale active avec des matrices 2D décrites verbalement, Vanlierde et Wanet-Defalque (2004) observent que les individus AP, AT, et V atteignent des performances similaires bien qu'utilisant des stratégies différentes. Les sujets AP rapportent qu'ils utilisent des systèmes de coordonnées (x, y) pour encoder les matrices, alors que les AT et V génèrent des images mentales visuelles des matrices et ainsi tirent avantage d'une stratégie visuospatiale. Dans une étude récente

impliquant un plus large échantillon d'aveugles, Cornoldi et ses collègues ([Cornoldi, Tinti, Mammarella, Re, & Varotto, 2009](#)) ont montré que les sujets V, AP, et AT pouvaient utiliser une imagerie mentale spatiale, une stratégie verbale ou mixte lorsqu'il leur est demandé de générer une représentation mentale de matrices 2D décrites verbalement. Cependant, lorsque la tâche était complexifiée, le groupe AP réussissait moins bien que les autres groupes lorsqu'il employait une stratégie spatiale, mais pas lorsque la stratégie employée était verbale.

A notre connaissance, aucune étude n'a jusqu'à présent été menée avec des patterns tactiles non figuratifs 2D pour tester le lien entre stratégie et niveau de performance. Si nous voulons obtenir une compréhension plus complète des mécanismes sous-jacents à la perception d'images tactiles, il est important de déterminer si le manque d'expérience visuelle et d'imagerie visuelle impose une quelconque difficulté dans le traitement de patterns tactiles 2D. Nous devons aussi approfondir notre savoir sur la nature et l'efficacité des stratégies mnésiques utilisées par les sujets AP, AT, et V face à des patterns tactiles 2D. Nous avons donc mis au point cette étude pour examiner (1) dans quelle mesure les individus AP atteignent un niveau de performance inférieur à celui d'individus AT et V dans une tâche de reconnaissance de patterns tactiles 2D, (2) la nature des stratégies utilisées par les individus AP, AT, et V pour encoder et maintenir les patterns tactiles en mémoire, et (3) les relations précises entre stratégie et performance dans une tâche de reconnaissance haptique.

Nous avons utilisé des patterns non figuratifs en 2D construits à partir de plusieurs combinaisons de segments verticaux, horizontaux et obliques comme matériel pour une tâche de reconnaissance haptique. L'utilisation de tels patterns a permis d'éliminer la possibilité que des sujets AN soient désavantagés par les images et cela en raison d'une moindre connaissance des conventions graphiques visuelles (voir [Thompson & Chronicle, 2006](#)). De plus, l'usage d'un tel matériel a permis d'éliminer toute difficulté d'accès aux informations sémantiques du contenu des images tactiles (voir [Heller, 1989](#) ; [Heller et al., 1996](#)). Notre tâche de reconnaissance haptique incluait trois phases : phase 1, les participants doivent explorer un pattern tactile (phase d'encodage) ; phase 2, ils gardent les informations en mémoire durant 5 sec (délai de rétention) ; phase 3, ils explorent un second pattern et doivent décider si oui ou non le second est similaire au premier (phase test). L'introduction d'un délai de rétention de 5 secondes entre la phase d'encodage et la phase de test était destinée à favoriser l'utilisation de stratégies mnésiques chez les participants. En suivant l'exemple de [Cornoldi et al. \(2009\)](#), l'interview des participants a permis d'inférer les stratégies mnésiques utilisées par les participants.

Nos hypothèses étaient les suivantes : Si l'absence d'expérience visuelle et d'imagerie visuelle procure quelque difficulté dans le traitement de patterns tactiles 2D, alors les sujets AP doivent atteindre un niveau de performance plus bas que les sujets AT et V dans la tâche de reconnaissance haptique. A partir de résultats antérieurs de la littérature, nous avons émis l'hypothèse que les stratégies mnésiques varient en fonction du statut visuel et de l'âge d'apparition de la cécité : les AP doivent rapporter l'utilisation de stratégies spatiales, kinesthésiques, et/ou verbales (i.e., non visuelles), alors que seuls les AT et V doivent être capables de faire appel à des stratégies visuospatiales. Pour finir, si des stratégies mnésiques différentes se distinguent par leur niveau d'efficacité pour répondre à la tâche de reconnaissance de patterns tactiles 2D, alors les performances en reconnaissance haptique doivent varier en fonction des stratégies.

## **II.1.2. Méthode**

### *II.1.2.1. Participants*

Trente-six adultes français étaient volontaires. Ils étaient répartis en trois groupes en fonction de leur statut visuel : groupe AP ( $n = 12$ , 7 femmes, 5 hommes ; âge moyen 37 ans, écart-type 18 ans), groupe AT ( $n = 12$ , 4 femmes, 8 hommes ; âge moyen 37 ans, écart-type 10 ans), et groupe V contrôle ( $n = 12$ , 8 femmes, 4 hommes ; âge moyen 35 ans, écart-type 10 ans). Les participants du groupe AP ont tous perdu la vue (i.e., aucune perception des formes et positions des objets ou perception résiduelle lumineuse) avant 36 mois. L'âge d'apparition de la cécité pour les participants AT variait de 5 à 25 ans. Aucun des participants des groupes AP et AT ne présentait de dysfonction neurologique connue en association de leur cécité. Ils étaient ou avaient été membres de l'Institut des Jeunes Aveugles (Toulouse, France) et ont pris part à l'étude suite à un appel téléphonique ou un message électronique. Les participants du groupe V étaient recrutés sur l'Université de Toulouse (France). Le Tableau II.1.1 fournit une description plus détaillée des participants des groupes AP et AT.

**Tableau II.1.1.** Caractéristiques des participants AP et AT.

Participant	Age (année)	Sexe	Étiologie de la cécité	Lecteur Braille	Age de la cécité (année)
AP1	55	F	Glaucome congénital <sup>7</sup>	oui	naissance
AP2	49	F	Rétinoblastome <sup>8</sup>	oui	2
AP3	55	F	Rétinite pigmentaire <sup>9</sup>	oui	naissance
AP4	61	F	Maladie infectieuse	oui	naissance
AP5	38	F	Fibroplasie rétrolentale <sup>10</sup>	oui	naissance
AP6	56	M	Fibroplasie rétrolentale	oui	naissance
AP7	17	F	Fibroplasie rétrolentale	oui	1
AP8	18	M	Fibroplasie rétrolentale	oui	naissance
AP9	16	M	Tumeur	oui	naissance
AP10	38	M	Maladie infectieuse	oui	2
AP11	16	M	Glaucome congénital	oui	naissance
AP12	23	F	Rétinoblastome	oui	naissance
AT1	31	M	Glaucome	oui	8
AT2	49	M	Glaucome	oui	9
AT3	44	M	Décollement de la rétine	oui	12
AT4	23	F	Rétinite pigmentaire	oui	18
AT5	39	F	Rétinite pigmentaire	oui	5
AT6	42	M	Maladie infectieuse	oui	9
AT7	26	F	Glaucome	oui	12
AT8	45	M	Accident	oui	25
AT9	51	M	Maladie infectieuse	oui	20
AT10	42	F	Glaucome	oui	20
AT11	29	M	Accident	oui	14
AT12	18	M	Atrophie optique	oui	5

*Note.* F: féminin; M: masculin

<sup>7</sup> Glaucome congénital : Malformation de l'angle iridocornéen provoquant une hypertonie oculaire et une hypertrophie de l'œil ou buphtalmie à la naissance ou peu de temps après. ([Dictionnaire Académie Médecine](#))

<sup>8</sup> Rétinoblastome : Tumeur de la rétine hautement maligne qui atteint de façon préférentielle le nourrisson et le très jeune enfant (1/18 000 naissance). (DAM)

<sup>9</sup> Rétinite pigmentaire : Dégénérescence rétinienne lente, bilatérale, périphérique puis centrale. (DAM)

<sup>10</sup> Fibroplasie rétrolentale : rétinopathie du prématuré ; conséquence du développement anormal de la vascularisation immature de la rétine, favorisée par l'oxygène et la prématurité qui aboutit à la cécité. (DAM)

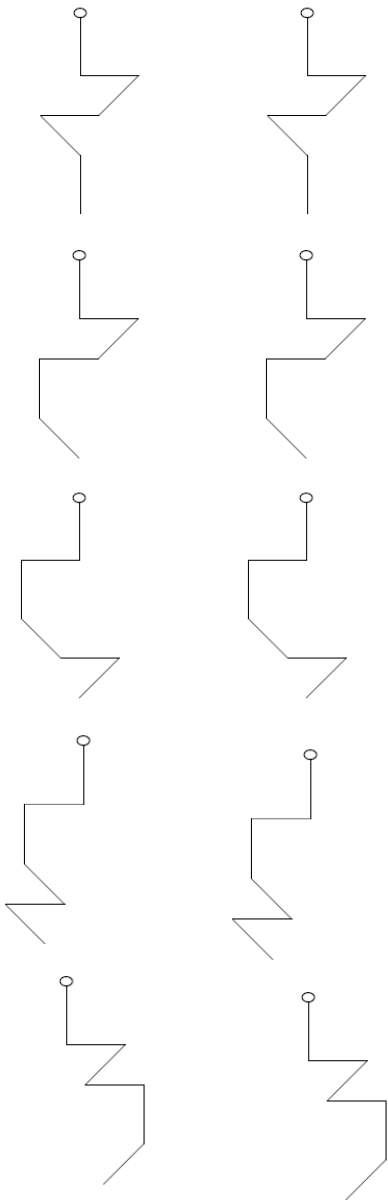


### *II.1.2.2. Matériel*

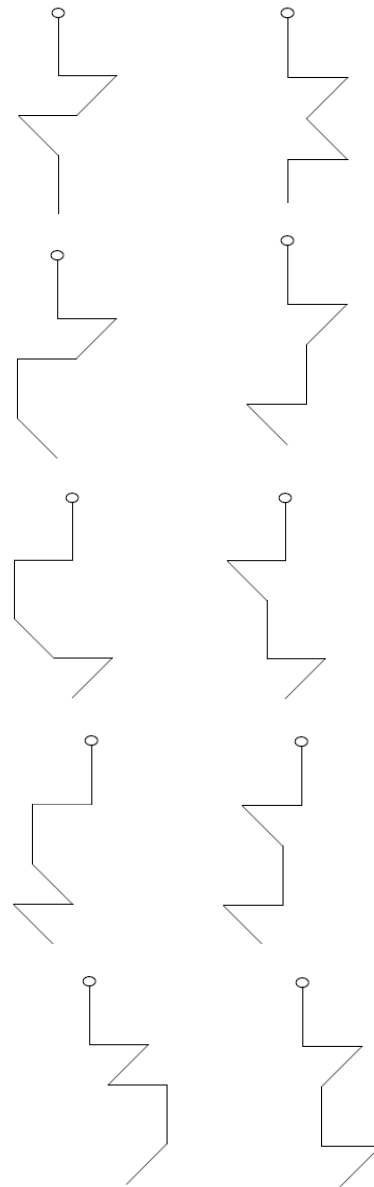
Les stimuli consistaient en 40 patterns 2D aux traits en relief (longueur 20 cm) conçus à partir d'une combinaison de 6 segments (2 horizontaux, 2 verticaux, et 2 obliques). Chaque stimulus a été imprimé sur une feuille de papier Swell puis chauffé afin que le trait prenne relief (1 mm de haut). Notre matériel comprenait des patterns de grande taille. Plusieurs études ([Kennedy & Bai, 2002](#) ; [Wijntjes et al., 2008a](#)) ont pointé une exploration plus aisée, une plus grande exactitude et une vitesse d'identification plus rapide des images de large taille (i.e., des images qui couvrent une aire de 21 x 29.7 cm) comparé aux images de plus petite taille (i.e., images de moitié de la taille) qui ont été utilisées dans des études antérieures.

Deux séries de 10 paires de stimuli étaient utilisées. Chaque série incluait 5 paires identiques et 5 paires différentes. La Figure II.1.1 présente les paires identiques et différentes utilisées dans la première série. Les paires différentes incluaient chacune une image cible et un distracteur ; le distracteur était construit en échangeant la position de deux segments successifs par rapport à l'image cible (soit les segments trois et quatre, soit les segments quatre et cinq). Ces variations de deux segments successifs étaient réalisées au centre des patterns afin d'éviter des effets de récence et de primauté lors de la reconnaissance ([Murdoch, 1962](#)). Chaque stimulus disposait d'un cercle en haut du segment initial qui servait de point de départ pour l'exploration haptique.

A. Paires identiques



B. Paires différentes



**Figure II.1.1.** Paires identiques (A) et différentes (B) de stimuli utilisées dans la première série.

### II.1.2.3. Procédure

L'étude était menée de manière individuelle. Selon l'exemple de Thompson (Thompson et al., 2003, 2006), chaque participant complétait le questionnaire de vivacité d'imagerie (*Vividness of Imagery Questionnaire*, VIQ ; voir Annexe 1 p. 121). Thompson nous a fourni sa version Anglaise du VIQ (adaptée du questionnaire d'imagerie mentale de Bett, Richardson, 1969), et nous l'avons traduit en langue française. Le questionnaire consiste en trois sous échelles (visuelle, tactile, kinesthésique), chacune incluant une série de cinq items. Les participants cotaient chaque item de 1 à 5, avec 1 indiquant «une image parfaitement claire et aussi vivace que l'expérience réelle », et 5 indiquant « il n'y a pas d'image présente, vous savez juste que vous pensez à un objet ». Pour chaque sous échelle, les scores s'étalaient de 5 (forte imagerie) à 25 (faible imagerie). Les sujets V complétaient les trois sous échelles. Les sujets AP et AT complétaient les échelles tactile et kinesthésique. Les participants aveugles complétaient en plus un questionnaire sur leur vision et des informations personnelles additionnelles. Après cela ils étaient exposés à la tâche de reconnaissance haptique. Les participants voyants étaient masqués durant la tâche.

La tâche de reconnaissance comprenait deux séries de 10 essais chacune, plus deux essais d'entraînement. Pour chaque essai, les participants exploraient tout d'abord un pattern en utilisant leur main dominante, et en lisant le pattern tactile de haut (avec le cercle pour point de départ) en bas. L'expérimentateur leur indiquait de lire le pattern par un toucher léger et à vitesse constante. L'exploration haptique d'un pattern prenait environ 6 secondes (i.e., 1 seconde par segment). Il est à noter que tous les participants étaient contraints d'utiliser un mode unique d'exploration (avec l'index d'une seule main) afin d'éliminer un biais dû à l'utilisation spontanée de modes d'exploration différents par les participants aveugles et voyants. En effet, des études ont suggéré qu'alors que les sujets adultes voyants avaient tendance à utiliser l'index pour l'exploration d'images aux traits en relief (Symmons & Richardson, 2000), les adultes aveugles peuvent faire appel à différents modes exploratoires plus efficaces (i.e., impliquant un large champ perceptif, Richard, Vaz-Cernaglia, & Portalier, 2004 ; Russier, 1999 ; voir aussi D'Anguilli et al., 1998). Une fois le pattern complètement exploré, les participants devaient lever leur doigt et un délai de rétention de 5 secondes était introduit. Les résultats d'un pré-test impliquant des sujets voyants masqués ont montré qu'un délai de 5 secondes était suffisant pour assurer une performance de reconnaissance différente du hasard et en dessous du plafond. Après cela, les participants devaient explorer un second

pattern avec la même procédure. Leur tâche était de décider si le second pattern était différent ou identique au premier.

Dans la moitié des essais, les deux patterns étaient identiques ; dans l'autre moitié le second pattern était un distracteur du pattern cible. La présentation de chaque série d'essais était contrebalancée au sein des participants de chaque groupe. L'ordre de présentation des essais du test variait pour chaque participant. Les contraintes étaient que le même pattern cible ne pouvait apparaître plus de deux fois dans des essais successifs, et que pas plus de deux essais requérant la même réponse ne pouvaient apparaître en succession immédiate. Après chaque série de 10 essais, l'expérimentateur interrogeait le participant quant au type de stratégie employée pour mémoriser les patterns (voir [Cornoldi et al., 2009](#), pour une procédure similaire). Les participants devaient décrire comment ils avaient encodé et gardé l'information en mémoire.

A la fin de la session, les participants V devaient remplir une version révisée du *Minnesota Paper Form Board* (MPFB ; [Likert & Quasha, 1941](#)), un test visuospatial largement utilisé dans les recherches sur l'imagerie (voir par exemple [Denis, 2008](#)). Le test (voir Annexe 2 p. 123) consiste en une série de 64 problèmes : pour chacun de ces problèmes, le participant doit combiner mentalement des formes géométriques séparées afin de sélectionner la figure correcte qui résulte de cette combinaison. Les participants disposent de 20 minutes pour remplir le test. Les scores au MPFB s'étalent de 0 (imagerie visuospatiale au plus bas) à 64 (imagerie visuospatiale la plus haute). Nous avons utilisé le test MPFB afin d'obtenir une mesure objective de l'imagerie visuospatiale des participants du groupe V, et cela en complément de leurs réponses au VIQ.

Pour les participants aveugles, l'expérience complète durait environ 30 minutes (échelles tactiles et kinesthésiques du VIQ + questionnaire personnel + tâche de reconnaissance haptique). Pour les participants voyants, l'étude durait environ 50 minutes (échelles visuelles, tactiles et kinesthésiques du VIQ + tâche de reconnaissance haptique + MPFB).

### **II.1.3. Résultats**

#### *II.1.3.1. Performance en reconnaissance haptique*

Un score était attribué à chaque participant pour les reconnaissances correctes (détecter un signal présent i.e., réponses identiques pour paires identiques) et pour les fausses

alarmes (juger un signal absent comme présent i.e., réponses identiques pour des paires différentes) sur un total de 2 x 10 essais. Les deux scores pouvaient varier de 0 (min) à 10 (max). Les scores moyens pour les reconnaissances correctes et fausses alarmes apparaissent dans le Tableau II.1.2. Avant l'analyse statistique des différences entre les groupes, la distribution des données a été examinée en utilisant un test de Shapiro-Wilk afin de déterminer si les données se distribuaient de manière normale (Shapiro & Wilk, 1965). Un seuil alpha à 0.05 a été choisi pour toutes nos analyses statistiques. Des déviations par rapport à la normalité sont apparues et nous avons donc utilisé des tests non paramétriques.

**Tableau II.1.2.** Scores moyens de reconnaissances correctes et fausses alarmes, et discriminabilité moyenne  $A'$  et critère de décision  $B''$  obtenus par les participants AN, AT, et V à la tâche de reconnaissance haptique de pattern aux traits en relief. Ecart-types entre parenthèses.

	AP	AT	V
Reconnaissances correctes	7.33 (1.92)	7.75 (2.34)	7.67 (1.50)
Fausses alarmes	2.58 (1.31)	1.58 (1.68)	1.83 (2.33)
Discriminabilité $A'$	0.74 (0.13)	0.81 (0.17)	0.78 (0.17)
Critère de décision $B''$	-0.12 (0.37)	0.15 (0.74)	0.37 (0.52)

Le test de Kruskal-Wallis n'indique pas de différence intergroupes sur le nombre moyen des reconnaissances correctes obtenues par les AP (moyenne 7.33, écart-type 1.92), AT (moyenne = 7.75, écart-type = 2.34), et V (moyenne = 7.67, écart-type = 1.50),  $H(2, 36) = 3.30, p = 0.19$ . Nous avons décidé d'aller plus loin dans les analyses en utilisant des indicateurs alternatifs aux reconnaissances correctes et fausses alarmes. Nous avons évalué la performance en reconnaissance haptique en utilisant deux indicateurs plus précis ( $A'$  et  $B''$ ) issus de la théorie du traitement du signal (voir Grier, 1971).

L'indicateur  $A'$  est un indice de discriminabilité qui peut être utilisé à la place du nombre de reconnaissances correctes. Il varie de 0 à 1, avec 0.5 indiquant une réponse au niveau du hasard, et 1 indiquant une discriminabilité maximale. Cet indice a été calculé en suivant la formule de Grier ;  $A' = \frac{1}{2} + [(y - x)(1 + y - x) / 4y(1 - x)]$ , avec  $y$  qui correspond à la probabilité d'une reconnaissance correcte et  $x$  correspond à la probabilité d'une fausse alarme. L'indice  $B''$  est représentatif du critère de décision du participant. Il varie de -1 à +1, avec -1 indiquant un critère de décision libéral (i.e., les participants tendent à répondre « oui »

les deux patterns sont similaires), et +1 indiquant un critère de décision conservateur (i.e., les participants tendent à répondre « non » les deux patterns ne sont pas similaires). L'indice  $B''$  a été calculé selon la formule de Grier :  $B'' = [y(1 - y) - x(1 - x)]/[y(1 - y) + x(1 - x)]$ , avec  $y$  qui correspond à la probabilité d'une reconnaissance correcte et  $x$  à la probabilité d'une fausse alarme. Le Tableau II.1.2 présente les résultats moyens obtenus pour la discriminabilité  $A'$  et le critère de décision  $B''$  pour les AP, AT, et V.

Les analyses statistiques réalisées sur la discriminabilité et le critère de décision (Kruskall-Wallis) ont confirmé nos précédentes analyses : il n'y a pas de différence significative entre les groupes à la fois pour la discriminabilité,  $H(2, 36) = 1.79, p = 0.40$  ; et pour le critère de décision,  $H(2, 36) = 4.64, p = 0.10$ . Comme le montre le Tableau II.1.2, les participants démontrent une bonne discriminabilité dans la tâche de reconnaissance de patterns tactiles quel que soit leur statut visuel (la discriminabilité moyenne variant de 0.74 à 0.81). Il n'y avait pas de désavantage significatif des AP comparés aux deux autres groupes.

#### II.1.3.2. Stratégies mnésiques rapportées

Deux juges indépendants ont classifié les réponses verbales des participants par rapport aux stratégies utilisées pour mémoriser les patterns. Les deux juges étaient d'accord dans 69 cas sur 72 (Goodman-Kruskal Gamma  $\gamma = 0.92$ ) (Goodman & Kruskal, 1954). Les désaccords ont été résolus par discussion. Un total de 9 stratégies différentes a été observé (4 simples et 5 combinées). Ces stratégies ont pu être catégorisées en deux types : stratégies *visuelles vs non visuelles* (voir Tableau II.1.3). Nous décrivons ci-dessous les stratégies simples utilisées par les participants.

-Stratégie 'visuospatiale' : les participants imaginaient comment les parties de la configuration ou le pattern complet avaient l'air en se fiant à leur imagerie visuelle (e.g., V : « j'ai essayé de visualiser l'image et de la garder en tête »).

-Stratégie 'verbale' : les participants utilisaient des mots descriptifs pour encoder l'information spatiale (e.g., AP : « je me disais droite ou gauche, oblique, la forme fait une sorte de zig-zag »).

-Stratégie 'spatiale' : les participants imaginaient comment les parties de la configuration ou le pattern complet avaient l'air sans recours à des indices visuels (e.g., AP : « je me suis concentré sur la direction et l'orientation des segments pour me faire une idée de la figure »).

-Stratégie 'kinesthésique' : les participants imaginaient comment des parties de la configuration ou le pattern complet avaient l'air en se fiant aux informations motrices ou kinesthésiques (e.g., AT : « *j'ai utilisé la mémoire tactile de mon mouvement* »).

**Tableau II.1.3.** Distribution numérique des participants AP, AT, et V en fonction de leur stratégie.

	AP	AT	V
<i>Stratégies Visuelles</i>			
- Visuospatiale	-	4	3
- Visuospatiale et Verbale	-	3	5
- Visuospatiale, Kinesthésique et Verbale	-	-	1
<i>Stratégies non visuelles</i>			
- Spatiale	5	2	1
- Kinesthésique	-	2	-
- Verbale	1	1	1
- Spatiale et Kinesthésique	2	-	-
- Spatiale et Verbale	4	-	-
- Kinesthésique et Verbale	-	-	1

Une observation plus précise des données indique que dans 70% des cas les participants n'ont pas changé leurs stratégies entre la première et la seconde série d'essais. Les variations observées dans l'utilisation des stratégies ont concerné les passages d'une stratégie simple à une stratégie combinée, mais il n'y a pas eu de passage entre stratégies visuelles et non visuelles. Nous avons rassemblé les stratégies des deux séries d'essais et nous nous sommes référés pour chaque participant à un type de stratégie (dans les cas de changements, la dernière stratégie était prise en considération). La distribution numérique des participants en fonction des stratégies est présentée dans les Tableau II.1.3. Afin de déterminer si les stratégies utilisées variaient en fonction du statut visuel, un test Chi<sup>2</sup> a été réalisé (voir [Siegel, 1956](#)).

Les analyses statistiques ont montré que la distribution des participants par type de stratégie (9) variait significativement en fonction du groupe (test exact de Fisher,  $p = 0.001$ ). Une analyse plus fine des résultats du Tableau II.1.3 indique que cette différence intergroupes était due à la proportion de participants ayant employé des stratégies visuelles et non visuelles dans les trois groupes. Tous les AP ont utilisé des stratégies non visuelles ( $n = 12$ ), alors que

les AT ont utilisé à la fois des stratégies visuelles ( $n = 7$ ) et non visuelles ( $n = 5$ ), et les V ont utilisé majoritairement des stratégies visuelles ( $n = 9$  sur 12). Un test exact de Fisher indique une différence intergroupes significative dans la proportion de participants qui utilise des stratégies visuelles et non visuelles ( $p = 0.0004$ ). Les analyses n'ont pas révélé de différences significatives intergroupes dans la proportion de participants faisant usage de codage verbal (vs non verbal) de l'information, ou dans la proportion de participants s'appuyant sur une stratégie kinesthésique (vs non kinesthésique) (test exact de Fisher,  $p > 0.33$ ). Donc, les trois groupes AP, AT, et V diffèrent majoritairement par leur tendance à s'appuyer sur des stratégies soit visuelles, soit non visuelles.

#### *II.1.3.3. Relations entre stratégies et performance en reconnaissance haptique*

Suivant l'exemple de [Vanlierde et Wanet-Defalque \(2004\)](#), nous avons testé les relations entre stratégie et performance en reconnaissance haptique en comparant l'indice de discriminabilité  $A'$  chez les participants utilisant des stratégies visuelles ( $n = 16$  ; 7 AT et 9 V) et ceux utilisant des stratégies non visuelles ( $n = 20$  ; 12 AP, 5 AT, et 3 V). Un test de Mann-Whitney (voir [Siegel, 1956](#)) n'a pas fait apparaître de différence significative de discriminabilité en accord avec la stratégie (groupe Stratégie Visuelle : discriminabilité moyenne = 0.77, écart-type = 0.12 vs groupe Stratégie Non Visuelle : discriminabilité moyenne = 0.77, écart-type = 0.19,  $U = 149.50$ ,  $p = 0.75$ ). Nous avons également testé si le choix de s'appuyer sur un codage verbal avait un impact sur la performance en reconnaissance haptique. A cette fin, nous avons comparé l'indice  $A'$  chez les participants utilisant un codage verbal ( $n = 17$  ; 5 AP, 4 AT, et 8 V) et chez ceux ne l'utilisant pas ( $n = 19$  ; 7 AP, 8 AT, et 4 V). A nouveau la différence n'est pas apparue comme statistiquement significative (groupe Verbal : discriminabilité moyenne = 0.76, écart-type = 0.12 vs groupe Non Verbal : discriminabilité moyenne = 0.79, écart-type = 0.14,  $U = 150.50$ ,  $p = 0.73$ ).

#### *II.1.3.4. Corrélations entre scores d'imagerie mentale et performance*

Les scores d'imagerie mentale des participants des groupes AP, AT, et V apparaissent dans le Tableau II.1.4. Il est à noter que les AP et les AT ont montré des performances en imagerie tactile et kinesthésique supérieures à celle des participants V. Un test de Kruskal-Wallis révèle des différences intergroupes significatives à la fois pour les scores d'imagerie



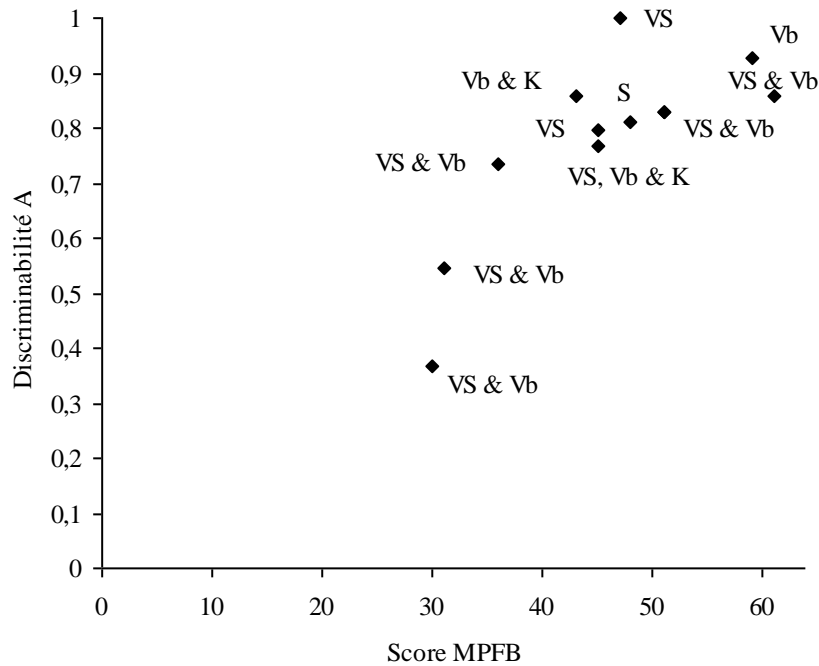
tactile,  $H(2, 36) = 8.79, p < 0.05$ , et les scores d'imagerie kinesthésique,  $H(2, 36) = 7.99, p < 0.05$ .

Nous avons analysé les corrélations entre discriminabilité  $A'$  et scores d'imagerie mentale au VIQ (visuel, tactile, kinesthésique) et au test MPFB. Une seule corrélation significative a été obtenue. Chez les V, les scores au MPFB étaient corrélés significativement avec la discriminabilité  $A'$  ( $r = 0.78, p < 0.01$ ) : les adultes voyants avec une forte imagerie mentale visuospatiale réussissaient mieux en tâche de reconnaissance haptique que ceux ayant un faible niveau d'imagerie visuospatiale.

**Tableau II.1.4.** Scores moyens en imagerie mentale (écarts-type entre parenthèses) au VIQ tactile, VIQ kinesthésique, VIQ visuel et au MPFB obtenus par les participants AP, AT et V.

	AP	AT	V
VIQ Tactile	7.75 (5.17)	7.67 (3.96)	11.58 (3.85)
VIQ Kinesthésique	7.17 (3.56)	7.67 (2.93)	11.00 (3.93)
VIQ Visuel	-	-	10.33 (4.16)
MPFB	-	-	45.58 (9.72)

Nous nous sommes demandés si les participants V qui n'ont pas utilisé de stratégies visuelles avaient des faibles scores en imagerie visuospatiale comparés à ceux qui faisaient appel à l'imagerie visuelle. L'idée sous-jacente est que certains sujets voyants n'utilisent pas de médiation visuelle pour traiter les patterns tactiles à cause de leurs faibles aptitudes en imagerie visuospatiale. Un examen des relations entre stratégie, discriminabilité  $A'$  et score au MPFB (voir Figure II.1.2) indique que les participants V qui disaient utiliser des stratégies non visuelles (verbale, spatiale, verbale et kinesthésique) avaient tous obtenu de très hauts scores à la fois en imagerie visuospatiale et en reconnaissance haptique (voir en haut à droite de la Figure II.1.2). Donc, l'hypothèse selon laquelle ces sujets n'utilisaient pas de stratégies visuelles en raison de faibles capacités d'imagerie visuospatiale peut être écartée.



**Figure II.1.2.** Distribution des participants V en fonction de leurs score de discriminabilité  $A'$ , score au MPFB, et de la stratégie employée (VS = visuospatiale, S = spatiale, Vb = verbale, K = kinesthésique).

#### II.1.4. Discussion

Cette étude montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du manque d'expérience visuelle et d'imagerie visuelle sur la reconnaissance de patterns 2D aux traits en relief. En effet, nous avons trouvé que les adultes aveugles précoces n'avaient pas une réussite inférieure comparée aux voyants masqués ou aux aveugles tardifs. Ce résultat ne peut être expliqué par un effet plafond en performance. Suivant notre hypothèse, les aveugles précoces, les aveugles tardifs et les voyants ont rapporté avoir utilisé des stratégies mnésiques différentes pour répondre à la tâche de reconnaissance. De plus, une différence de type d'imagerie mentale pour les informations tactiles et kinesthésiques (auto-rapporté) est apparue entre les aveugles et les voyants. Les aveugles ont rapporté avoir une imagerie plus vivace comparé aux adultes voyants. Cependant, aucune différence intergroupes en stratégie ni en vivacité de l'imagerie n'a été trouvée qui pourrait affecter la reconnaissance de patterns aux traits en relief. Finalement, chez les adultes voyants, nous avons trouvé une corrélation significative entre la performance en reconnaissance haptique et les capacités d'imagerie visuospatiale mesurées

par le MPFB : plus le score en imagerie visuospatiale est élevé, plus la performance en reconnaissance est importante.

Une différence non significative ne veut pas dire qu'il n'existe pas de différence de capacité à traiter de patterns tactiles 2D entre adultes aveugles précoces, aveugles tardifs et voyants. Cela dit, il est important de mentionner ce résultat négatif, en considérant qu'il existe un biais dans la littérature scientifique qui tend à faire état de résultats positifs plutôt que de résultats négatifs (absence de différence significative). De plus, ce résultat n'est pas isolé et il contribue à alimenter un ensemble d'observations de différences non significatives entre participants aveugles précoces, aveugles tardifs et voyants dans des tâches de perception d'images tactiles (par exemples : dessins « Taxyform », [Thompson et al., 2006](#) ; dessins de personnages à bâtons ; [Kennedy & Domander, 1986](#) ; ou images métaphoriques, [Kennedy & Gabias, 1985](#)). De tels résultats non significatifs suggèrent que certaines images aux traits en relief, particulièrement celles n'impliquant pas une connaissance des conventions graphiques visuelles pour leur compréhension, peuvent être traitées efficacement sans avoir recours à une expérience visuelle ni à de l'imagerie visuelle (voir [Kennedy, 1993](#)).

En plus de cette possibilité, nos résultats contribuent aux recherches sur la perception d'images tactiles, suggérant que la capacité des aveugles à percevoir des patterns tactiles 2D ne limite pas leur capacité de perception d'images tactiles. Les difficultés que certains aveugles ont avec les dessins figuratifs (voir par exemple, [Lederman et al., 1990](#) ; [Thompson et al., 2006](#)) pourraient être liées à des difficultés à traduire et donner du sens à des conventions graphiques visuelles, plutôt qu'être causées par des représentations mentales inefficaces ou des stratégies mnésiques inadéquates pour encoder les informations graphiques tactiles. Il est possible que des aspects des images relèvent de conventions visuelles, et qu'elles troublent les aveugles car celles-ci doivent être expliquées. Mais on peut aussi penser que les images impliquent de nombreuses caractéristiques spatiales ambiguës à la fois pour les aveugles et les voyants.

Notre résultat selon lequel la stratégie est fonction du statut visuel et de l'âge d'apparition de la cécité confirme les résultats d'études précédentes (voir par exemple [Postma, Zuidhoek, Noordzij, & Kappers, 2007](#)). Comme l'a montré [Hollins \(1985\)](#), les stratégies utilisées pour répondre à des tâches d'imagerie mentale dépendent de l'expérience visuelle de chaque individu et une expérience visuelle même minimale est en mesure d'altérer l'imagerie mentale du sujet. En effet, les adultes aveugles tardifs de notre étude ont rapporté de l'imagerie basée sur des éléments spatiaux pour certains, et sur des éléments visuels pour d'autres. A l'inverse, les adultes aveugles précoces étaient restreints à l'utilisation d'imagerie

non visuelle (soit verbale, soit sous forme de représentations spatiales abstraites). Les adultes voyants s'appuyaient majoritairement sur l'imagerie visuelle, validant l'idée que la vision est la « modalité préférée » des personnes qui ont une expérience visuelle (voir [Vanlierde & Wanet-Defalque, 2004](#)). Il faut noter que la plupart de nos participants ont combiné les imageries visuelles ou non visuelles avec un codage verbal des informations. Comme l'a montré Cornoldi ([Cornoldi, Cortesi, & Preti, 1991](#) ; [Cornoldi et al., 2009](#)), s'appuyer sur un codage verbal pourrait compenser les difficultés à utiliser une imagerie purement visuelle ou abstraite. De plus, l'imagerie visuelle pourrait avoir facilité l'étiquetage représentationnel d'informations abstraites ([Bailes & Lambert, 1986](#)). Ainsi, sur la base de nos résultats, nous ne pouvons pas réfuter que l'utilisation de la verbalisation a aussi contribué à l'absence de différence intergroupes dans notre tâche de reconnaissance de patterns aux traits en relief et à l'absence d'effet significatif de la stratégie sur la performance de reconnaissance.

Il est important de préciser que bien que l'étude des stratégies auto-rapportées par les participants s'est montrée utile pour comprendre les similarités et différences entre voyants et aveugles en tâche d'imagerie spatiale, cette méthode n'est manifestement pas exempt de biais (voir [Picard & Monnier, 2009](#)). Tout d'abord, étant fondée sur un rapport subjectif, il n'est pas possible d'affirmer que le participant a réellement utilisé la stratégie qu'il rapporte verbalement. Des preuves additionnelles seront nécessaires pour évaluer la fiabilité des auto-évaluations. Ensuite, la méthode procure seulement des données sur la manière dont l'information est représentée dans des processus mnésiques de haut niveau (i.e., processus accessibles à un rapport verbal), mais pas dans des processus mnésiques de bas niveau (i.e., processus de niveau inconscient et inaccessibles à l'introspection). De ces limitations, il apparaît clairement que les études futures devront combiner les procédures d'auto-évaluation avec l'utilisation de conditions de suppression (e.g., tâches interférentes) ou de manipulation de différentes instructions (voir [Cornoldi, De Beni, Roncari, & Romano, 1989](#)).

Une découverte intéressante a été d'observer que les scores d'imagerie visuospatiale des adultes voyants étaient positivement corrélés avec leur performance en reconnaissance haptique. Cela fait écho à des études antérieures qui montrent une implication de l'imagerie mentale visuelle comme processus de médiation lors de comparaison mentale d'objets ([Denis, 2008](#) ; voir aussi [Lederman et al., 1990](#)). Par exemple, [Denis \(2008\)](#) rapporte que les imageurs visuospatiaux forts sont meilleurs que les faibles imageurs lorsqu'ils doivent comparer des distances sur la base d'une description verbale. Pour [Lederman et al. \(1990\)](#), les sujets voyants ont une forte tendance à utiliser une médiation visuelle lorsqu'ils sont face à des dessins aux traits en relief d'objets communs. On pourrait donc penser que de hautes

capacités d'imagerie visuospatiale facilitent la performance en reconnaissance haptique en facilitant l'imagerie visuelle. Cependant, comme précisé au dessus, tous les bons imageurs visuospatiaux n'ont pas rapporté l'utilisation d'imagerie visuelle pour mémoriser les patterns tactiles, ce qui suggère que la reconnaissance haptique de patterns tactiles a pu être efficacement réalisée sans médiation visuelle. Des recherches plus en avant sur les relations entre capacité d'imagerie visuospatiale et traitement d'images tactiles seront nécessaires. Par exemple, les études futures pourraient comparer deux groupes de forts et faibles imageurs sur leurs performances en identification et discrimination d'images aux traits en relief par le toucher. Ces études bénéficieront de plus d'une comparaison directe entre différents type d'images tactiles (e.g., dessins et patterns, images 2D et 3D).

## II.2. ETUDE 2

### RECONNAISSANCE HAPTIQUE D'IMAGES NON-FIGURATIVES (PATTERNS 2D) CHEZ L'AVEUGLE : LA PROPORTION DE TEMPS DE VIE SANS EXPERIENCE VISUELLE JOUE-T-ELLE ? <sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> L'étude 2 est la traduction en français de l'article : [Lebaz, S., Picard, D., & Jouffrais, C. \(2010\)](#). Haptic Recognition of non-figurative tactile pictures in the blind: does life-time proportion without visual experience matter? In A.M.L. Kappers et al. (Eds.), Eurohaptics 2010, Part II, *Lecture Note in Computer Science*, 6192, 412-417.

Une partie des résultats de l'étude 2 a été présentée sous forme de poster lors d'une communication locale : [Lebaz, S. \(2010, 29 oct\)](#). Reconnaissance haptique d'images non figuratives aux traits en relief chez l'aveugle : la proportion de temps de vie sans expérience visuelle joue-t-elle ? *Journée de l'Institut des Sciences du Cerveau (IFR 96)*, Toulouse, France.

### II.2.1. Introduction

Notre sens haptique peut être mobilisé pour récupérer des informations spatiales utiles d'une image aux traits en relief. Ces « images tactiles » (Eriksson, 1998) ont une utilité potentiellement forte pour les aveugles car ils peuvent les utiliser pour obtenir des informations sur les positions, les tailles et les formes des objets (Kennedy, 1993). Différents types d'images tactiles ont été créés et testés expérimentalement avec des non-voyants adultes. Cela comprend des dessins figuratifs aux traits en relief (pour une revue Heller, 2002), des cartes tactiles (Caddeo, Fornara, Nenci, & Pirolodi, 2006) et diagrammes (Jehoel, Ungar, McCallum, & Rowell, 2005), ainsi que des formes et patterns tactiles (Bailes & Lambert, 1986). Un résultat récurrent mais non systématique montre que les aveugles tardifs adultes ont souvent des résultats supérieurs à ceux des aveugles de naissance dans des tâches de perception d'images tactiles (Heller, 1989). Ce résultat appartient au débat actuel concernant le rôle de l'expérience visuelle et de l'imagerie visuelle dans la perception d'images tactiles. Ce débat voit s'opposer deux théories sur l'identification haptique d'images aux traits en relief. La théorie de Lederman, Klatzky, Chataway, et Summers (1990) soutient que l'identification d'images de dessins aux traits en relief est réalisée et réussie via l'imagerie visuelle. A l'inverse, Kennedy (1993) affirme que l'identification d'images par le toucher, bien que difficile, est possible sans expérience visuelle ni recours à l'imagerie visuelle.

Dans cette étude, nous avons demandé à un échantillon de 20 aveugles d'explorer haptiquement des images non figuratives aux traits en relief, puis de décider si ces images étaient similaires ou différentes parmi une paire (tâche de reconnaissance haptique avec délai de rétention). Des images non figuratives ont été préférées à des dessins figuratifs qui imposeraient des difficultés supplémentaires aux sujets aveugles qui ne sont pas familiers des conventions visuelles graphiques (Lederman et al., 1990 ; Thompson & Chronicle, 2006). Nous avons examiné si le traitement haptique d'images tactiles non figuratives variait par rapport à l'âge d'apparition de la cécité (AAC) et la proportion de temps de vie sans expérience visuelle (P). Ces deux paramètres pourraient offrir une vue plus précise des différences interindividuelles dans le traitement des images tactiles que la classification binaire traditionnelle en groupe d'aveugle précoce (AP) vs aveugle tardif (AT). Nous avons fait le raisonnement suivant : si l'imagerie visuelle et l'expérience visuelle facilitent le traitement des images tactiles - comme prédit par la théorie de Lederman et al.- alors la performance en reconnaissance haptique devrait être positivement corrélée avec l'âge

d'apparition de la cécité totale, et négativement corrélée avec la proportion de temps de vie sans expérience visuelle. De plus, l'âge d'apparition de la cécité et la proportion de temps de vie sans expérience visuelle devraient contraindre la stratégie mentale (visuelle ou non visuelle) utilisée par les adultes non-voyants pour réaliser la tâche de reconnaissance haptique. La performance en reconnaissance haptique devrait être moins bonne chez les aveugles qui utilisent des stratégies non visuelles par rapport à ceux qui utilisent des stratégies d'imagerie visuelle.

## **II.2.2. Méthode**

### *II.2.2.1. Participants*

Les volontaires étaient 20 adultes aveugles (9 femmes ; 11 hommes ; âge chronologique moyen : 37 ans, écart-type : 13 ans). L'étiologie des cécités totales était rétinite pigmentaire (3), fibroplasie rétrolentale (4), rétinoblastome (2), maladie infectieuse (4), atrophie optique (1), glaucome (4), décollement rétinien (1), et accident (1). Aucun des participants ne souffrait de dysfonction neurologique connue, en association de leur déficience visuelle. L'âge d'apparition de la cécité totale variait de 0 à 25 ans. La proportion de temps de vie sans expérience visuelle (P) était calculée pour chaque participant en suivant la formule :

$$P = [(AC - AAC) / AC]$$

avec AC = âge chronologique, et AAC = âge d'apparition de la cécité. Un ratio de 0.10 indique que la personne a passé 10% de sa vie sans expérience visuelle. Les ratios observés variaient de 0.22 à 1.

### *II.2.2.2. Matériel*

Les stimuli consistaient en 40 images aux traits en relief non figuratives (dimension : 20 cm en longueur) fabriqués à partir d'une combinaison de 6 segments (2 horizontaux, 2 verticaux, et 2 obliques). Chaque stimulus était imprimé sur du papier Swell puis chauffé afin de créer une ligne en relief (1 mm de hauteur). Deux séries de 10 paires de stimuli ont été utilisées. Chaque série comprenait 5 paires identiques et 5 paires différentes. La Figure II.2.1 montre un exemple de paire identique et différente utilisée dans la tâche de reconnaissance haptique.





**Figure II.2.1.** Exemple d'une *paire identique (gauche)* et d'une *paire différente (droite)* de stimuli utilisés dans la tâche de reconnaissance haptique.

### II.2.2.3. Procédure

La tâche de reconnaissance haptique comprenait deux séries de 10 essais chacune, plus deux essais d'entraînement. Pour chaque essai, les participants exploraient tout d'abord un pattern en utilisant leur main dominante, et en lisant le pattern tactile du haut vers le bas (avec le cercle pour point de départ). Une fois l'image entièrement parcourue, les participants levaient leur doigt durant 5 sec (délai de rétention). Ensuite, ils devaient explorer une deuxième image avec une procédure identique. La tâche était alors de décider si la deuxième image était similaire ou différente à la première. L'ordre de présentation des deux séries test était contrebalancé entre les participants. A la fin de la session, l'expérimentateur interrogeait le participant afin de déterminer quelle stratégie mentale (visuelle ou non visuelle) était employée pour encoder et mémoriser l'image tactile. Une méthode de réponse libre était utilisée, en s'inspirant de la méthode en miroir de [Cornoldi, Tinti, Mammarella, Re, et Varotto \(2009\)](#). Bien que cette procédure auto rapportée ne soit exempte de biais dus à ses composants subjectifs (introspection), une telle procédure a été utilisée avec succès dans des études antérieures incluant des individus aveugles (voir [Cornoldi et al., 2009](#) ; [Vanlierde & Wanet-Defalque, 2004](#)).

### II.2.3. Résultats

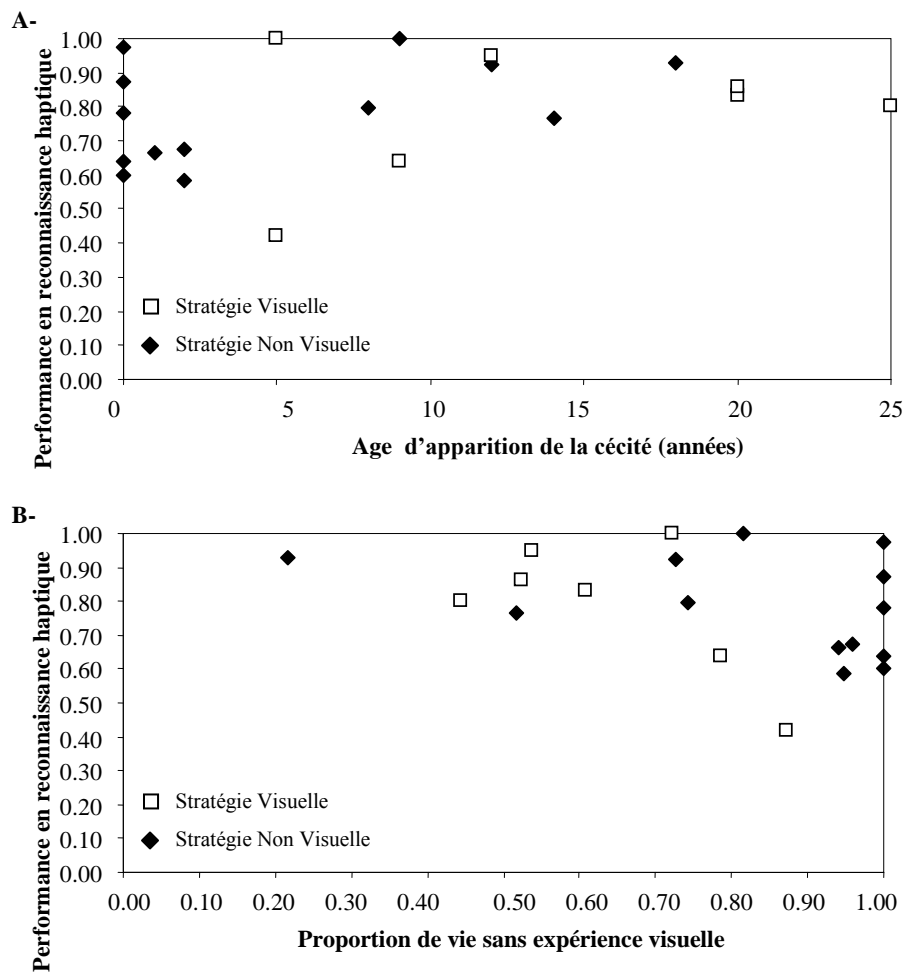
Les scores de reconnaissance correcte (i.e., répondre identique quand les stimuli sont identiques) et fausse alarme (i.e., répondre identique quand les stimuli sont différents) étaient calculés pour chaque participant. La performance en reconnaissance haptique était mesurée grâce à l'indice de discriminabilité  $A'$  qui est utilisé dans la théorie de traitement du signal (voir [Grier, 1971](#)). Il est calculé à partir de la formule de Grier :

$$A' = \frac{1}{2} + \frac{(y - x)(1 + y - x)}{4y(1 - x)}$$

Dans laquelle  $y$  correspond à la probabilité d'une reconnaissance correcte et  $x$  correspond à la probabilité d'une fausse alarme. Cet indice s'étend de 0 à 1, avec 0.5 indiquant une réponse au niveau du hasard, et 1 indiquant une discriminabilité maximum.

Les résultats (voir Figure II.2.2) montrent que les participants aveugles étaient relativement efficaces dans la tâche de reconnaissance haptique (discriminabilité moyenne = 0.78, écart-type = 0.16). L'analyse de corrélations linéaires indiquait que la performance en reconnaissance haptique n'était pas significativement liée à l'âge d'apparition de la cécité des participants ( $r = 0.32$ ,  $p > 0.05$ ; voir Figure II.2.2A), et pas non plus liée à la proportion de temps de vie sans expérience visuelle ( $r = -0.40$ ,  $p > 0.05$ ; voir Figure II.2.2B). Les participants non-voyants utilisaient majoritairement des stratégies non visuelles (65%), et une minorité a eu recours à des stratégies visuelles (35%) pour répondre à la tâche de reconnaissance haptique. Les stratégies non visuelles incluaient un codage spatial, kinesthésique, et /ou verbal de l'information tactile. Parmi les 13 participants utilisant une stratégie non visuelle, 5 utilisaient un codage spatial, 2 un codage spatial et kinesthésique, 2 un codage spatial et verbal, 2 un codage verbal, et 2 un codage kinesthésique. La stratégie (visuelle vs non visuelle) n'apparaît pas liée significativement à la performance en reconnaissance haptique ( $r = 0.37$ ,  $p > 0.05$ ).

Cependant, la stratégie est significativement corrélée à la fois avec l'âge d'apparition de la cécité des participants ( $r = 0.86$ ,  $p < 0.05$ ), ainsi que la proportion de vie sans expérience visuelle ( $r = 0.84$ ,  $p < 0.05$ ). En se penchant sur les données (voir Figure II.2.2A et Figure II.2.2B), on observe que les participants qui utilisaient une stratégie visuelle d'imagerie avaient un âge d'apparition de la cécité (moyenne = 17, écart-type = 5) supérieur à celui des participants qui utilisaient une stratégie non visuelle (moyenne = 3 ans, écart-type = 3) [Mann-Whitney (Mann & Whitney, 1947),  $p < 0.05$ ]. A l'inverse, les participants qui utilisaient une stratégie visuelle d'imagerie avaient passé une proportion significativement inférieure de leur vie sans expérience visuelle (moyenne = 0.51, écart-type = 0.15) que les participants qui utilisaient une stratégie non visuelle d'imagerie (moyenne = 0.90, écart-type = 0.10) (Mann-Whitney test,  $p < 0.05$ ).



**Figure II.2.2.** Performance en reconnaissance haptique pour les 20 sujets en fonction de : A- Age d'apparition de la cécité, et B- Proportion de vie sans expérience visuelle. Les participants utilisant une *stratégie visuelle* sont représentés avec des carrés blancs, et ceux utilisant des *stratégies non visuelles* sont représentés par des losanges noirs.

#### II.2.4. Discussion

Contrairement à nos hypothèses, cette étude a montré que la performance en reconnaissance haptique ne dépend pas de l'âge d'apparition de la cécité ni de la proportion de vie sans expérience visuelle. Cette découverte est un peu surprenante car des études antérieures ont montré des différences entre AP et AT dans des tâches de reconnaissance d'images tactiles (Heller, 1989 ; Heller, 2002). Notre étude montre aussi que la performance en reconnaissance haptique ne dépend pas non plus du type de stratégie (visuelle ou non visuelle) utilisé par les participants aveugles. Ce résultat est identique à celui de Vanlierde & Wanet-Defalque (2004) qui observaient que les AP, les AT ainsi que les voyants atteignaient les mêmes performances bien qu'utilisant des stratégies différentes. Les stratégies visuelles et non visuelles pourraient bien être aussi efficaces qu'inefficaces dans la facilitation de la reconnaissance des images tactiles. Dans les prochaines études, la validité des stratégies

mentales obtenues par des procédures auto-rapportées devrait être testée en pratiquant des techniques additionnelles, par exemple des tâches interférentes. De manière intéressante, nos données montrent que les stratégies utilisées pour encoder l'image tactile dépendent beaucoup de l'âge d'apparition de la cécité ainsi que de la proportion de temps de vie sans expérience visuelle. D'autres études montrent que l'imagerie mentale varie en fonction de l'âge d'apparition de la cécité (Postma, Zuidhoek, Noordzij, & Kappers, 2007 ; Hollins, 1985). Notre étude est la première à révéler l'interrelation précise entre l'usage d'une stratégie et la proportion de vie sans expérience visuelle, un paramètre (P) qu'il semble bon d'évaluer et/ou contrôler dans les prochaines études comportant la participation de personnes non-voyantes.

L'ensemble des losanges noirs sur le côté droit de la Figure II.2.2B illustre bien cette relation. Il correspond à un groupe de participants aveugles qui avaient une expérience visuelle très courte (moins de 10% de leur vie). Ces sujets utilisaient des stratégies exclusivement non visuelles pour encoder et reconnaître les images tactiles, et atteindre un bon niveau de performance. Une explication possible de ces résultats tient à l'amnésie infantile, une période de la vie (0-3 ans) durant laquelle l'expérience, notamment l'expérience visuelle, affecte les comportements mais ne peut pas être ramenée ultérieurement à la mémoire consciente. La pire performance de reconnaissance haptique (0.42) correspond à une femme âgée de 39 ans devenue aveugle à l'âge de 5 ans. Bien qu'ayant une très courte expérience visuelle (un ratio de 0.87, carré blanc sur le côté droit de la Figure II.2.2B), elle a persisté à essayer d'utiliser des stratégies d'imagerie visuelle pour répondre aux tâches mais a obtenu des mauvais scores. A l'inverse, un participant de 23 ans devenu aveugle à l'âge de 18 ans (ratio de 0.22, losange noir sur le côté gauche de la Figure II.2.2B) a atteint une très bonne performance (0.93), cela en s'appuyant sur des stratégies non visuelles. On peut remarquer que ce dernier participant savait qu'il allait inévitablement perdre la vue et peut avoir volontairement développé des stratégies non visuelles pour favoriser la reconnaissance haptique.

Mis ensemble, tous ces résultats montrent que des sujets ayant passé 40 à 80% de leur vie sans expérience visuelle sont capables d'encoder et de reconnaître des images tactiles simples, quelle que soit la stratégie utilisée (visuelle ou non visuelle). Lorsque la proportion d'expérience non visuelle est importante (plus de 90%), les sujets aveugles tendent à s'appuyer sur des stratégies non visuelles pour encoder et reconnaître les images tactiles. La présence d'une seule personne aveugle ayant une Perte de la Vision Récente (PVR) dans notre étude nous empêche de conclure sur le type de stratégie que ces sujets spécifiques utilisent pour la reconnaissance haptique. Un prochain travail complémentaire devrait tester un

échantillon conséquent d'aveugles tardifs ayant une PVR (i.e., 0% à 20% d'expérience sans la vue) afin de tester si : (1) comme notre unique sujet qui souffrait d'une maladie dégénérative, ils développent rapidement et activement des stratégies non visuelles pour compenser leur perte de vision inévitable ; ou (2) au contraire, si lorsqu'ils ont souffert d'une perte brutale et inattendue de la vision (i.e. par accident), ils s'appuient sur leurs capacités d'imagerie visuelle.

# **Chapitre III**

## **PERCEPTION HAPTIQUE D'IMAGES FIGURATIVES**



### **III. PRESENTATION**

Cette partie traite de la perception d'images figuratives. Deux études y sont présentées. Dans l'Etude 3, 15 adultes voyants (V) et 15 aveugles de naissance (AN) doivent classer, par la modalité haptique, des images aux traits en relief de visages présentant des émotions. Alors que la réussite ne varie pas significativement entre les deux groupes, les adultes aveugles sont plus rapides lors de cette tâche. Ces résultats suggèrent que des dessins aux traits en relief de visages émotionnels sont compréhensibles par les adultes aveugles.

Dans l'Etude 4, nous utilisons une mesure objective des capacités visuospatiales de participants voyants et comparons trois groupes de forts, moyens et faibles imageurs visuospatiaux sur leurs performances et temps de réponse à l'identification des dessins aux traits en relief par le toucher. Les résultats révèlent des différences intergroupes sur la performance, où les forts imageurs visuospatiaux ont de meilleurs résultats que les faibles imageurs visuospatiaux, mais pas sur les temps de réponse. Ces résultats apportent des arguments au point de vue théorique considérant que l'imagerie visuospatiale joue un rôle dans l'identification de dessins aux traits en relief chez les adultes voyants.



### III.1. ETUDE 3

#### CLASSIFICATION HAPTIQUE D'IMAGES FIGURATIVES (VISAGES EXPRESSIFS) : COMPARAISON ENTRE ADULTES AVEUGLES DE NAISSANCE ET VOYANTS.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> L'étude 3 est la traduction en français de l'article : [Picard, D., Jouffrais, C., & Lebaz, S. \(2011\)](#). Haptic recognition of emotions in raised line drawings by congenitally blind and sighted adults. *IEEE Transactions on Haptics*, 4(1), 67-71.

Une partie des résultats de l'étude 3 a été présentée sous forme de poster à la conférence ECVF 2011 (28 août-1<sup>er</sup> sept). [Lebaz, S., Jouffrais, C., & Picard, D. \(2011\)](#), 28 août-1 sept). Identifying basic emotions in raised-line pictures of the human face: Do we need vision? 34<sup>th</sup> European Conference on Visual Perception [Abstract], *Perception [Supplement]*, 40, 156.

### III.1.1. Introduction

La perception des visages dépend de leur orientation. Nous reconnaissons mieux les visages à l'endroit qu'à l'envers (ceux présentés tête en bas). Ce phénomène qui est connu sous le nom d'effet d'inversion des visages a été montré en premier par Yin (1969) puis documenté par la suite et de manière conséquente à la fois dans le domaine de la perception de l'identité faciale (e.g., Farah, Tanaka, & Drain, 1995 ; Freire, Lee, & Symons, 2000) et le domaine de l'expression faciale des émotions (e.g., Calder, Young, Keane, & Dean, 2000 ; Prkachin, 2003 ; Fallshore & Bartholow, 2003). L'inversion des visages modifie les informations de configuration mais pas celles des éléments. Ainsi l'existence d'un effet d'inversion des visages suggère que le visage est traité comme une configuration globale plus que comme un ensemble d'éléments indépendants (e.g., le nez, les yeux).

Cet hypothétique « traitement configurationnel » du visage pourrait cependant intégrer plusieurs mécanismes, comme le suggèrent Maurer, Grand, et Mondloch (2002). Le terme peut référer à un traitement holistique (les éléments sont perçus comme une Gestalt ou forme unique), à une sensibilité aux informations de relations de premier et/ou de second ordre (position relative des éléments, information spatiale précise), ou toute combinaison de ces derniers. Une variété de techniques et de tâches (par exemple mélanger des moitiés de visages différents *-morphing-*, mélanger ou déplacer des éléments du visage) peut servir à distinguer ces formes de traitement de configurations.

Il est à noter qu'un récent ensemble de recherches a montré que l'effet d'inversion des visages n'était pas restreint à la modalité visuelle mais pouvait aussi apparaître dans la modalité haptique ; et cela pour l'identité des visages (e.g., Casey & Newell, 2005, 2007 ; Kilgour & Lederman, 2002, 2006, pour une revue voir (Lederman, Kilgour, Kitada, Klatzky, & Hamilton, 2007), mais aussi pour l'expression faciale des émotions (Lederman et al., 2008). Par exemple, Kilgour et Lederman (2006) ont utilisé une version haptique du paradigme avec des masques de visages tridimensionnels (3D). Les sujets voyants (portant des masques occultants) exploraient haptiquement des paires de masques de visages en 3D et devaient décider si les stimuli à l'intérieur d'une paire étaient similaires ou différents. Un effet d'inversion significatif était trouvé pour les visages, mais pas pour les objets non-visages (condition contrôle). Cela suggère que le traitement haptique de visages en 3D à l'endroit est de type configurationnel. A partir d'images (2D) aux traits en relief de visages expressifs d'émotions, Lederman et al. (2008) demandaient à des adultes voyants (masqués) de classer des expressions d'émotions dans des images de visages à l'endroit, à l'envers, et mélangés. La

réussite était réduite lorsque les visages étaient inversés et mélangés comparé à la condition de visage tête à l'endroit en orientation canonique. Les auteurs concluaient que les adultes voyants « traitaient haptiquement la configuration globale des éléments des expressions universelles des émotions dépeinte dans la présentation en 2D à l'endroit » (Lederman et al., 2008, p. 36).

La perception visuelle ou haptique de l'identité des visages ainsi que de l'expression faciale des émotions est similaire à plusieurs niveaux, parmi lesquels le traitement configurationnel global de l'information faciale. Cependant, bien qu'un traitement holistique de dessins de visages expressifs puisse être effectué facilement et rapidement par le système visuel, le même processus devrait nécessiter plus de temps et de ressources cognitives par le système haptique. Dans la modalité haptique, il est nécessaire de recueillir l'information sur les visages séquentiellement et de l'intégrer dans le temps. De plus, il convient de convertir l'information haptique recueillie séquentiellement dans un modèle visuel correspondant que l'on peut alors interpréter en utilisant le système visuel (Kilgour & Lederman, 2006, voir aussi Lederman, Klatzky, Chataway, & Summers, 1990).

Nous avons mis en place cette étude avec deux objectifs principaux. Le premier était de tester si les adultes voyants (V) présentaient l'effet d'inversion des visages pour des images 2D aux traits en relief de visages expressifs d'émotions basiques, comme l'ont récemment montré Lederman et al. (2008). Le second était de tester si l'effet d'inversion des visages dans la modalité haptique pouvait être généralisé aux personnes n'ayant jamais eu l'expérience visuelle de l'expression faciale d'émotions basiques, à savoir les aveugles totaux de naissance (AN). Une question d'intérêt est de savoir si les adultes aveugles peuvent comprendre des expressions faciales émotionnelles à partir d'un support d'images 2D aux traits en relief. Et si oui, s'ils peuvent rassembler, dans une représentation holistique, l'information recueillie séquentiellement des images tactiles de visages expressifs.

D'un point de vue théorique, tester des adultes AN offre une opportunité unique de tester le rôle de l'expérience visuelle ainsi que de l'imagerie visuelle dans le traitement haptique d'images aux traits en relief. Un point de vue suggère que le manque d'imagerie visuelle et d'expérience visuelle limite les possibilités de lire l'expression des émotions dans des images tactiles de visages humains (Lederman et al., 1990). Cependant, ce point de vue n'est pas partagé par tous (Heller, 1989 ; Kennedy, 1993 ; Kennedy & Bai, 2002), et il y a des preuves expérimentales qui suggèrent que certaines images tactiles peuvent être comprises sans recours à l'imagerie visuelle (Thompson & Chronicle, 2006). Dans une perspective plus appliquée, la question de l'utilité pour les aveugles d'images tactiles de visages expressifs

émotionnels a été posée, mais n'est pour l'instant pas résolue (voir [Heller, 2002](#) ; [Heller, Mccarthy, & Clark, 2005](#) ; [Kennedy, 1993](#) ; [Lederman et al., 2008](#)).

En suivant l'exemple de [Lederman et al. \(2008\)](#), nous avons utilisé une tâche de classification dans laquelle était présentée une liste de 6 émotions basiques possibles ([Ekman, 1992](#)) à des adultes AN et des voyants portant un masque occultant, puis ceux-ci devaient décider de l'émotion décrite dans chaque dessin aux traits en relief présenté. Nous avons testé si les stimuli inversés menaient à une diminution de la réussite et/ou à une augmentation du temps de réponse chez les adultes voyants par rapport à une condition où les stimuli sont à l'endroit. Nous avons aussi comparé les performances du groupe V à celles du groupe AN pour déterminer si une différence notable émerge entre les deux. En accord avec le point de vue que l'imagerie visuelle ainsi que l'expérience visuelle sont nécessaires au traitement d'images tactiles ([Lederman et al., 1990](#)), nous avons prédit que les adultes AN seraient moins performants que les adultes V dans la tâche de classification. De plus, nous avons prédit que les adultes V montreraient un effet d'inversion des visages dans la modalité haptique, alors que les adultes AN non. Les adultes V devraient être capables de considérer une configuration faciale globale dans les dessins aux traits en relief (voir [Lederman et al., 2008](#)). A l'inverse, les sujets aveugles devraient traiter seulement les éléments locaux des dessins aux traits en relief sans se représenter mentalement la figure globale. Ainsi, seule la performance du groupe V devrait baisser lorsque les dessins sont inversés (perturbation de la configuration globale, mais pas des éléments locaux).

### **III.1.2. Méthode**

#### *III.1.2.1. Participants*

Un échantillon de 30 adultes français a pris part à l'étude. Ils étaient répartis en deux groupes en fonction de leur statut visuel : le groupe AN (n = 15 ; 7 femmes, 8 hommes ; âge moyen = 41 ans, Ecart-type = 13, Min-Max = 22-56), et le groupe V (n = 15, 7 femmes, 8 hommes ; âge moyen = 41, Ecart-type = 14, Min-Max = 20-56). Les participants du groupe AN étaient tous aveugles à la naissance (ils n'avaient aucune perception de la forme des objets ou de la position, et peu ou aucune perception de lumière). Ils lisaient tous le Braille. Aucun ne souffrait d'une pathologie neurologique connue en association de leur déficience visuelle. L'étiologie de leur cécité incluait la cataracte congénitale (5), la fibroplasie rétro-lentale (4), la rétinite pigmentaire (2), le rétinoblastome (2), le glaucome (1), ainsi que

l'atrophie optique (1). Les participants du groupe V étaient appariés sur l'âge et le genre avec les participants du groupe AN. La familiarité avec les dessins aux traits en relief était testée en utilisant une échelle en 3 points (1 = très peu familier ; 2 = plutôt familier ; 3 = très familier). Les participants aveugles étaient plutôt familiers avec les dessins aux traits en relief (moyenne = 1.86), alors que les participants V n'avaient jamais eu d'expérience avec des dessins aux traits en relief avant l'expérimentation (moyenne = 1).

### III.1.2.2. Matériel

Nous avons utilisé des photographies de 12 visages expressifs d'émotions pris dans la base de données du *Facial Action Coding System* (Ekman et al., 2002). La moitié des photos représentait des visages d'actrices, l'autre moitié d'acteurs. Chaque acteur exprimait l'expression faciale de six émotions basiques : la joie, la tristesse, la peur, la surprise, le dégoût et la colère. Nous avons tracé à la main les éléments faciaux primaires (yeux, sourcils, nez, bouche, contour externe du visage, et cheveux) à partir des photos, puis nous avons converti les lignes en dessins aux traits en relief, en utilisant du papier sensible à la chaleur (papier de type Swell). Chaque dessin aux traits en relief (ligne de 0,5 mm de hauteur, et 0,3 mm d'épaisseur) rentrait dans une feuille de dimension A4 (21 x 29 cm). Les stimuli étaient très similaires au niveau de leur taille (moyenne = 13.5 x 18.25 cm). La Figure III.1.1 présente les images aux traits en relief orientées à l'endroit de l'actrice et de l'acteur. Un pré-test portant sur 5 nouveaux adultes voyants a montré un accord inter juges de 90% pour l'identification visuelle des émotions faciales pour les dessins aux traits en relief à l'endroit.

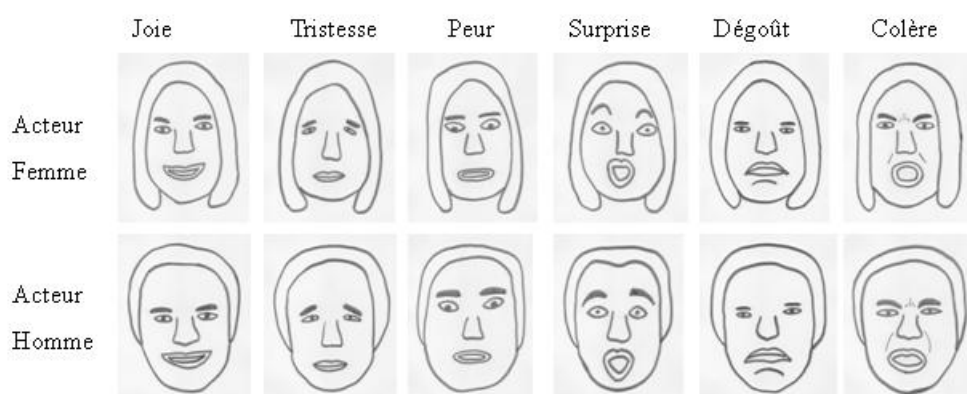


Figure III.1.1. Dessins aux traits en relief de visages expressifs des émotions pour les acteurs femme et homme (images à l'endroit)

### *III.1.2.3. Procédure*

La recherche était conduite de manière individuelle. Les participants V étaient masqués durant la tâche (masque totalement occultant). La session commençait par une phase de familiarisation durant laquelle les participants devaient explorer librement avec leur mains une série de 6 dessins d'entraînement (à la fois à l'endroit et à l'envers). Ils devaient identifier les émotions décrites dans chaque dessin à partir d'une liste de 6 émotions possibles (joie, tristesse, colère, surprise, peur, et dégoût). Il n'y avait pas de contrainte sur le mode d'exploration : les participants pouvaient utiliser soit une main (dominante ou non dominante), soit deux mains afin d'explorer les images aux traits en relief. Un feedback sur les réponses était donné pour chaque item de familiarisation. Quand un participant proposait une mauvaise réponse, l'expérimentateur lui indiquait l'émotion correcte et l'invitait à explorer l'image à nouveau.

Dans la phase suivante (phase test), 24 dessins expressifs étaient présentés à chaque participant. Ils étaient divisés en 2 blocs de 12 images tactiles (un bloc par acteur). L'ordre de présentation des deux blocs était contrebalancé entre participants de chaque groupe. Pour chaque bloc, les 12 images (6 émotions x 2 orientations) étaient présentées de manière aléatoire pour chaque participant. Les participants étaient prévenus qu'ils allaient devoir traiter deux blocs de 12 images tactiles, parmi lesquelles certaines seraient inversées. Chaque image tactile était disposée à plat sur la table et fixée avec de la patafix UHU, afin que les participants ne puissent pas tourner les images. Ils devaient réaliser la tâche de classement avec une double contrainte d'exactitude dans leur réponse et de vitesse de réponse. L'expérimentateur rappelait la liste des six émotions possibles au participant. Ils étaient informés que la liste pouvait leur être donnée à nouveau dès que nécessaire. En fait, aucun ne l'a redemandée. Aucun feedback n'était proposé pendant la tâche de classement quelle que soit la nature des réponses. Les participants étaient chronométrés du premier contact avec l'image tactile jusqu'à la réponse orale. Les mesures de réussite et de temps étaient enregistrées.

### **III.1.3. Résultats**

L'analyse préliminaire a révélé que ni la réussite, ni le temps de réponse ne variaient par rapport à l'ordre de présentation des deux blocs d'images ou de l'acteur. Les réponses ont

alors été rassemblées pour ces deux facteurs pour toutes les analyses suivantes. Nous avons fixé un seuil alpha de 0.05 pour toutes les analyses statistiques.

### III.1.3.1. Performance de classification haptique

La performance était mesurée par le nombre de réponses correctes (max 12), et soumise à une analyse de variance mixte, avec Groupe (2 : AN, V) comme variable intersujets, et l'Orientation de l'image (2 : à l'endroit, inversée) comme variable intrasujets. La distribution de la performance ne dévient pas de la normalité, des tests paramétriques ont été conduits (Shapiro-Wilk test,  $p > 0.05$ ).

Les résultats (voir Figure III.1.2) montrent que la performance était bien au dessus du niveau de hasard à la fois pour le groupe AN et le groupe V. Le score moyen des AN était de 5.6 réponses correctes (43.8%), et celui des V de 6.56 réponses correctes (54.6%). Les deux groupes ne présentaient pas de différences significatives dans leur nombre moyen de réponses correctes à la tâche de classification,  $F(1, 28) = 2.32$ ,  $p = 0.14$ ,  $\eta_p^2 = 0.07$ . Les images à l'endroit n'étaient pas mieux classifiées que les images inversées, comme le révèle l'effet non significatif de l'orientation,  $F(1, 28) = 0.05$ ,  $p = 0.82$ ,  $\eta_p^2 = 0.001$ . L'effet d'interaction (groupe x orientation) n'était pas non plus significatif,  $F(1, 28) = 0.98$ ,  $p = 0.33$ ,  $\eta_p^2 = 0.03$ . Donc, aucun effet d'inversion des visages n'a été observé sur la performance, et cela quel que soit le statut visuel du groupe. Les mêmes conclusions apparaissent lorsque l'analyse statistique est conduite avec des tests non paramétriques.

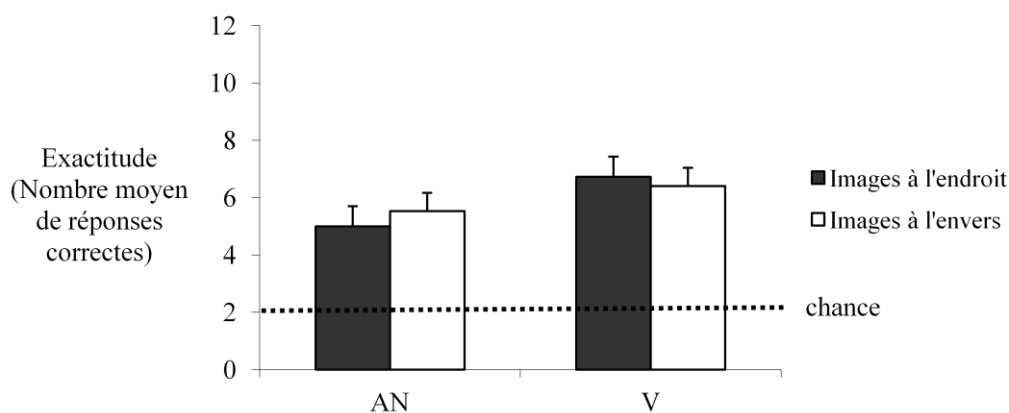


Figure III.1.2. Nombre moyen de réponses correctes (max 12) obtenu chez les participants AN et V pour les images à l'endroit et à l'envers.

### III.1.3.2. Temps de réponse

Les temps de réponse par image variaient de 10 à 83 secondes. Les résultats ont été transformés en log, de sorte que la distribution des mesures log ne dévie pas de la normalité (Shapiro-Wilk test,  $p > 0.05$ ). Ces mesures log ont été soumises à une analyse de variance mixte, avec le Groupe (2 : AN, V) comme variable intersujets, et Orientation de l'image (2 : à l'endroit, inversée) comme variable intrasujets.

Les résultats (voir Figure III.1.3) montrent que les participants AN ont des temps de réponse plus courts (moyenne = 22 s, écart type = 4) que les participants V (moyenne = 37, écart type = 4). Une différence significative apparaît entre les deux groupes pour leurs temps de réponse moyens,  $F(1, 28) = 7.39$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.21$ . Les images à l'endroit n'étaient pas classifiées plus vite que celles inversées, comme le révèle l'effet non significatif de l'orientation,  $F(1, 28) = 0.57$ ,  $p = 0.45$ ,  $\eta_p^2 = 0.02$ . Il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif,  $F(1, 28) = 0.89$ ,  $p = 0.35$ ,  $\eta_p^2 = 0.03$ . Donc, aucun effet d'inversion des visages n'a été observé sur les temps de réponse, et cela quel que soit le statut visuel du groupe. Les mêmes conclusions apparaissent lorsque l'analyse statistique est conduite avec des tests non paramétriques.

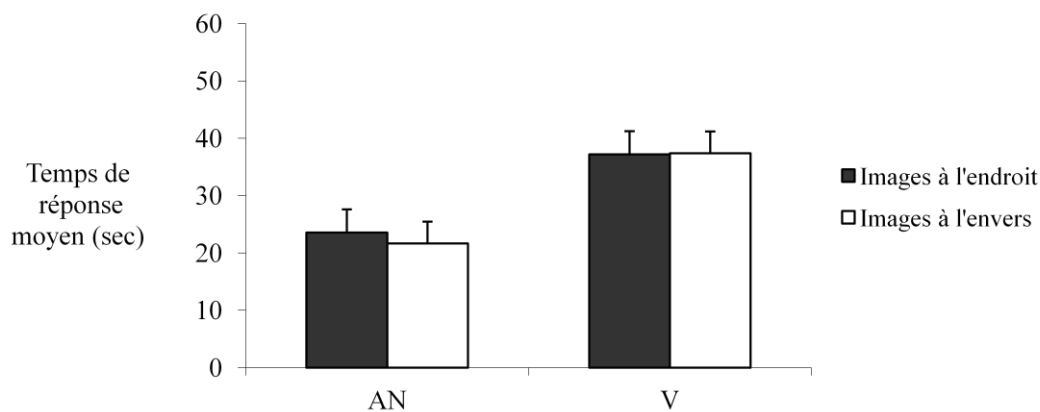


Figure III.1.3. Temps de réponse moyen (sec) des participants AN et V pour les images à l'endroit et à l'envers.



### III.1.3.3. Matrices des confusions Stimulus-Réponses

Nous avons créé une matrice des confusions stimulus-réponse pour chaque groupe séparément. Une analyse préliminaire a révélé des corrélations significatives entre les matrices pour les images à l'endroit et à l'envers à l'intérieur de chaque groupe (groupe AN : Pearson  $r = 0.80$ ,  $r^2 = 0.64$  ; groupe V : Pearson  $r = 0.90$ ,  $r^2 = 0.81$ ,  $ps < 0.05$ ). Les réponses ont alors été additionnées images à l'endroit et à l'envers. Le Tableau III.1.1 présente les matrices ainsi obtenues pour le groupe AN et le groupe V.

Tableau III.1.1. Matrices de confusion Stimulus-Réponse pour chaque groupe de participants (les fréquences sont sommées sur les images à l'endroit et à l'envers).

Groupe des participants AN

	J	T	P	S	D	C
J	<b>26</b>	10	6	5	6	7
T	6	<b>29</b>	11	3	7	4
P	4	19	<b>18</b>	7	7	5
S	5	1	9	<b>31</b>	4	10
D	13	2	4	6	<b>31</b>	4
C	8	4	7	13	5	<b>23</b>

Groupe des participants V

	J	T	P	S	D	C
J	<b>45</b>	0	1	0	8	6
T	6	<b>31</b>	5	3	12	3
P	1	12	<b>14</b>	5	18	10
S	3	0	5	<b>46</b>	3	3
D	1	19	0	1	<b>35</b>	4
C	2	0	4	26	2	<b>26</b>

Les stimuli sont listés dans la colonne la plus à gauche. Les réponses sont listées dans la ligne du dessus. Les réponses correctes apparaissent en gras (diagonale). J = Joie, T = Tristesse, P = Peur, S = Surprise, D = Dégoût, C = Colère.

La corrélation entre les matrices des groupes AN et V était forte (Pearson,  $r = 0.84$ ,  $r^2 = 0.70$ ,  $p < 0.05$ ). Cependant, cette corrélation était presque entièrement déterminée par les fortes valeurs des diagonales. La corrélation intermatrice restait haute lorsqu'elle était calculée sur les réponses correctes uniquement (cellules en diagonale) (Pearson  $r = 0.78$ ,  $r^2 = 0.60$ ,  $p < 0.05$ ). Par contre, la corrélation n'atteignait pas de seuil significatif lorsqu'elle était calculée sur les réponses incorrectes uniquement (toutes les cellules en dehors de la diagonale) (Pearson  $r = 0.29$ ,  $p > 0.05$ ).

Les résultats du Tableau III.1.1 montrent que dans les deux groupes, la joie, la tristesse, la surprise et le dégoût étaient classifiés plus facilement que la colère et la peur. Des différences intergroupes apparaissaient par rapport aux erreurs de confusion. A la fois chez les participants AN et V, les confusions remarquables concernaient peur avec tristesse, et colère avec surprise. Cependant, dans le groupe V, la peur était aussi confondue avec le dégoût. Dans le groupe V, le dégoût était parfois confondu avec la tristesse, alors que dans le groupe AN, le dégoût était confondu avec la joie.

#### **III.1.4. Discussion**

Cette étude avait deux objectifs. Le premier était de tester si les adultes voyants montreraient un effet d'inversion des visages dans la modalité haptique (voir [Lederman et al. 2008](#)) avec des dessins aux traits en relief de visages expressifs émotionnels. Le second était de tester si les aveugles de naissance obtiendraient un niveau de performance similaire ou différent des voyants, et s'ils présenteraient un effet d'inversion des visages avec des images 2D aux traits en relief, et cela en l'absence d'expérience visuelle d'expressions de visages exprimant des émotions basiques.

*Résumé des résultats.* Cette étude montre qu'il n'y a pas d'effet d'inversion des visages à la fois chez les adultes voyants et aveugles qui devaient classifier des images à l'endroit ou inversées de visages expressifs dans la modalité haptique. Dans les deux groupes de participants, ni la performance, ni le temps de réponse ne variaient en fonction de l'orientation des images. Cependant, malgré l'absence de différence entre les deux groupes en performance, l'étude révèle une différence en faveur des aveugles de naissance. Ces derniers étaient plus rapides pour classifier les images en fonction de l'émotion décrite. Des corrélations fortes entre les classifications des stimuli des participants aveugles et voyants étaient aussi présentes, principalement pour les réponses correctes.

*Pas d'effet d'inversion des visages dans le groupe voyants.* Contre nos attentes, notre étude ne soutient pas l'observation d'un effet d'inversion des visages de [Lederman et al. \(2008\)](#) chez des adultes voyants. Pourtant, les niveaux de performance trouvés pour la classification haptique d'images à l'endroit (56% de réponses correctes) sont vraiment similaires à ceux rapportés par Lederman et al. (54%). Dans l'étude de Lederman, la performance diminue de 11% lorsque les images sont inversées. Une telle diminution n'est pas retrouvée pour notre étude (53% de réponses correctes pour les images inversées).

Cet échec à observer l'effet d'inversion des visages trouvé par [Lederman et al \(2008\)](#) pourrait s'expliquer par les différences suivantes entre les études :

1. *Les stimuli* : nos stimuli incluent beaucoup plus d'informations sur les visages que les stimuli de l'autre étude (on notera les cheveux, les pupilles, des rides). Cela a pu aider la classification des images dans l'orientation inversée. En effet, ajouter plus d'informations faciales aux stimuli peut ajouter des éléments identifiants et pourrait biaiser le traitement vers des éléments locaux du visage principalement (et non la configuration globale). En conséquence, nos participants peuvent ne pas être beaucoup dérangés lorsque la configuration globale est perturbée (stimuli inversés).

2. *Les blocs de stimuli* : dans notre étude, les stimuli à l'endroit et inversés étaient présentés dans un même bloc, alors que dans l'autre étude, les images à l'endroit et inversées étaient présentées dans des blocs distincts. Cette différence subtile dans la manière de présenter les images peut avoir contribué à des différences dans les résultats.

3. *La taille de l'échantillon* : un échantillon plus petit était utilisé dans cette étude ( $n = 15$ ) que dans l'autre ( $n = 32$  dans la condition haptique). Peut-être qu'un échantillon plus large aurait pu révéler des résultats positifs.

4. *Age chronologique moyen* : nos participants voyants étaient plus âgés (41 ans) que ceux observés par l'autre étude (21 ans). Il est possible que l'âge affecte nos capacités à traiter des images aux traits en relief ainsi que les expressions faciales des émotions. Nous pourrions suggérer qu'avec l'augmentation de l'âge et la limitation de la mémoire de travail, les adultes peuvent être plus enclins à traiter uniquement des parties ou des éléments locaux de dessins aux traits en relief pour répondre avec une tâche de classification. Cela pourrait expliquer pourquoi nos sujets adultes étaient moins sensibles à une perturbation des informations configurationnelles dans les stimuli tactiles. De nouvelles recherches devraient augmenter nos résultats en utilisant un échantillon de participants voyants plus large, et en introduisant l'âge comme facteur dans le design expérimental.

*Capacités de classification dans le groupe d'aveugles de naissance.* Notre étude montre qu'il n'y avait pas de différence entre adultes voyants et aveugles de naissance concernant la capacité à classifier les expressions faciales des émotions dans des dessins aux traits en relief. Cependant, nous avons noté que les participants aveugles étaient plus rapides dans la tâche de classification. Cette différence pourrait être directement reliée au niveau d'expérience élevé des aveugles pour le traitement d'informations tactiles 2D (e.g., lecture Braille et exploration d'images aux traits en relief). En particulier, les participants aveugles seraient plus enclins à utiliser des mouvements exploratoires plus efficaces pour encoder les images aux traits en relief que les participants voyants (voir [D'Angiulli, Kennedy, & Heller, 1998](#) ; [Russier, 1999](#)). Il se peut aussi que les participants aveugles aient été plus rapides car ils étaient plus en confiance dans la tâche, et donc ne vérifiaient pas aussi souvent que les participants voyants. Dans une étude suivante, il serait utile de tester cette possibilité en demandant aux participants de coter leur niveau de confiance dans la tâche, suivant l'exemple de [Lederman et al. \(2008\)](#).

La capacité de participants aveugles à classifier des images aux traits en relief de visages expressifs émotionnels est notable, car aucun de ces participants n'avait eu d'expérience avec ce genre de matériel avant l'étude. Nous pourrions inférer que les sujets aveugles de naissance peuvent faire sens de simples images aux traits en relief des visages expressifs émotionnels car la forme et le placement des éléments correspond à la forme et au placement tactile et proprioceptif qu'ils ont de leurs propres expressions du visage d'émotions basiques. Une explication alternative pourrait être que les sujets aveugles réussissent la tâche par l'apprentissage des correspondances arbitraires entre les images et les informations verbales durant la première phase de l'étude (phase de familiarisation).

*Conclusion et perspectives futures.* Notre étude est la première qui demande à des adultes aveugles de classifier des images aux traits en relief de visages expressifs. Nous montrons que des adultes aveugles peuvent classifier de telles images avec un niveau de réussite comparable à celui d'adultes voyants, une découverte qui suggère que ces images sont intelligibles par des sujets adultes aveugles totaux de naissance. Notre étude s'ajoute aux précédents travaux montrant que certaines images tactiles peuvent être comprises sans avoir recours à l'imagerie visuelle ou à l'expérience visuelle (e.g., [Heller, 1989](#) ; [Kennedy, 1993](#) ; [Kennedy & Bai, 2002](#) ; [Picard, Lebaz, Jouffrais, & Monnier, 2010](#) ; [Thompson & Chronicle, 2006](#)). La question de savoir si les adultes aveugles arrivent à identifier les émotions décrites dans les dessins aux traits en relief en traitant les éléments locaux seulement (e.g., la forme de la bouche) comme nos résultats le suggèrent (pas d'effet d'inversion des visages), ou en

construisant une représentation plus globale et holistique de ce qui est décrit reste ouverte pour les recherches futures.

Une manière d'aller plus loin dans la compréhension de cette question est de demander aux participants de définir les éléments les plus saillants sur lesquels ils se focalisent afin d'identifier l'émotion décrite dans le dessin tactile (voir [Lederman et al., 2008](#) pour une technique similaire). Une façon complémentaire de poser cette question repose sur l'examen précis des séquences de mouvements manuels impliqués dans l'exploration d'images aux traits en relief. Une étude récente sur des adultes voyants ([Wijntjes, Van Lienen, Verstijnen, & Kappers, 2008a](#)) montre que de multiples comportements d'exploration sont engagés lorsque les participants doivent identifier des images aux traits en relief d'objets communs (e.g., exploration dynamique à deux mains, exploration avec un doigt unique). Certains comportements d'exploration sont susceptibles d'impliquer un scanning plus complet de l'image que d'autres, et il peut donc en résulter une représentation mentale plus complète ou précise du stimulus en relief. De futures investigations de ces comportements exploratoires et de leurs relations aux performances aideront à comprendre comment les adultes voyants et aveugles arrivent à se représenter mentalement des informations acquises à partir de l'exploration d'images aux traits en relief.

Pour citer [Lederman et Klatzky \(1987\)](#), « *les mouvements de la main peuvent servir de « fenêtres » au travers desquelles il est possible d'apprendre à propos des représentations sous-jacentes d'objets en mémoire et les processus par lesquelles ces représentations sont dérivées et utilisées* » (p. 342). Les images aux traits en relief sont des objets spéciaux de notre monde, et la façon dont elles sont scannées par la main peut nous renseigner sur le comment ces images sont encodées et stockées sous forme de représentation mentale.

*Applications.* Les images simples aux traits en relief de visages expressifs émotionnels peuvent être un matériel utile à visée communicative et éducative. Ces images peuvent améliorer la compréhension et la communication des émotions des individus aveugles, à la fois enfants et adultes aveugles.

Dans une perspective éducative, les images aux traits en relief d'expressions faciales d'émotions basiques peuvent être combinées au texte Braille afin d'illustrer les émotions d'un personnage dans une histoire. Les enfants aveugles pourraient bénéficier d'une combinaison d'images aux traits en relief et de texte Braille afin d'acquérir une compréhension plus complète des émotions basiques humaines, ce qui inclut des situations prototypiques qui appellent des émotions basiques, et leurs expressions sur les visages humains. En utilisant une histoire avec une tâche d'appariement d'images, il serait intéressant de tester si la

compréhension des émotions suit la même séquence développementale chez l'enfant aveugle et l'enfant voyant (Brechet, Baldy, & Picard, 2009).

Dans une perspective communicative, les images aux traits en relief d'expressions faciales d'émotions pourraient être transformées en versions iconiques pour être utilisées conventionnellement dans des emails ou des messages instantanés (voir Lederman et al., 2008). Les adultes aveugles pourraient bénéficier de l'existence de ce que l'on peut appeler des « émoticônes » (e.g., smiley) pour enrichir leur communication électronique, en utilisant et donnant sens à des symboles graphiques expressifs. L'intelligibilité d'émoticônes haptiques pour adultes aveugles pourrait être testée en utilisant les technologies d'interaction homme-machine récentes, en particulier les technologies avec *force feedback* ou les souris vibrotactiles (Golledge, Rice, & Jacobson, 2005).

### III.2. ETUDE 4

#### IDENTIFICATION HAPTIQUE D'IMAGES FIGURATIVES (OBJETS COMMUNS) CHEZ DES ADULTES VOYANTS : LES CAPACITES D'IMAGERIE VISUOSPATIALE JOUENT-ELLES ?<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> L'étude 4 est la traduction en français de l'article : [Lebaz, S., Jouffrais, C., & Picard, D. \(sous presse\)](#). Haptic identification of raised-line drawings: high visuospatial imagers outperform low visuospatial imagers. *Psychological Research*. DOI 10.1007/s00426-011-0351-6.

Une partie des résultats de l'étude 4 a été présentée sous forme de poster lors d'une communication locale : [Lebaz, S. \(2011, 29 mars\)](#). L'identification haptique de dessins d'objets aux traits en relief est-elle dépendante des capacités d'imagerie visuospatiale ? *Rencontres Transversales des Jeunes Chercheurs d'Octogone (RTJCO)*, Toulouse, France.

### III.2.1. Introduction

Le système haptique est relativement expert pour identifier des objets communs de la vie de tous les jours. Le processus dure approximativement 1 à 2 secondes et est quasiment performant à 100% (Kautsky, Lederman, & Metzger, 1985). Par contraste, il est beaucoup moins efficace pour l'identification de dessins aux traits en relief d'objets communs. Le processus dure approximativement 90 secondes et généralement la performance ne dépasse pas 33% (Lederman, Klatzky, Chataway, & Summers, 1990). Cette disparité peut être due en partie (1) à la plus faible quantité d'information disponible dans le support graphique tactile (seules sont disponibles les informations structurelles de forme), (2) aux contraintes inhérentes au traitement séquentiel de l'information spatiale, et (3) à la demande forte en ressource mnésique liée à l'intégration spatiotemporelle des informations (voir Loomis, Klatzky, & Lederman, 1991). Si on les compare aux objets de la vie de tous les jours, qui varient à la fois sur leurs propriétés structurelles (i.e., forme et volume) et matérielles (i.e., texture, température, conformité), les dessins aux traits en relief représentent des stimuli appauvris, dans le sens où ils manquent d'informations matérielles et n'offrent que des informations de forme. Dans leur modèle d'identification haptique des images, Lederman et al. (1990) suggèrent que la reconnaissance haptique de dessins aux traits en relief d'objets communs implique un processus en quatre étapes, parmi lesquelles une étape de médiation visuelle. Dans cette étude, nous rapportons des données expérimentales qui supportent cette hypothétique étape de médiation visuelle, dans le cas des adultes voyants.

Selon le modèle de médiation visuelle (Lederman et al., 1990) il y a quatre étapes dans l'identification de dessins aux traits en relief : l'exploration haptique (Etape 1), le transfert de l'information haptique en une image visuelle (Etape 2), l'identification du concept (Etape 3), et la récupération du nom (Etape 4). A l'étape 2, les individus doivent extraire les segments locaux du contour, les intégrer sous forme de représentation, et comparer les représentations ainsi créées avec ce qu'ils savent de la description d'objets communs. L'imagerie visuelle est donc censée jouer un rôle clé dans la construction d'une représentation interne de ce qui est traité haptiquement. Lederman et al. (1990) soutiennent que « *les sujets adoptent le modèle de médiation visuelle, dans lequel les données haptiques sont traduites en images visuelles, qui sont par la suite traitées par le système visuel* » (p. 58). Il est bon de noter que les auteurs ne voient pas l'imagerie visuelle comme le seul moyen de représentation, mais comme le plus efficace.



Deux résultats expérimentaux importants supportent l'affirmation que l'imagerie visuelle est utilisée pour identifier haptiquement les dessins aux traits en relief. Tout d'abord, les personnes privées de capacités d'imagerie visuelle, comme les aveugles totaux de naissance (AN), ont montré des difficultés marquées pour l'identification haptique de dessins d'objets communs aux traits en relief : ils montrent de faibles performances de reconnaissance par comparaison aux aveugles tardifs (AT) et voyants (V) (Lederman et al., 1990 ; Thompson, Chronicle, & Collins 2006 ; mais voir aussi les études de Heller, 1989 et Kennedy, 1993 pour peu ou pas de différence par rapport au statut visuel). Ensuite, il a été observé que des mesures de capacité d'imagerie visuelle étaient en corrélation avec des mesures de performance comme la réussite et le temps de réponse dans des tâches de dénomination d'images tactiles (Lederman et al., 1990 ; Thompson et al., 2006). Ces corrélations suggèrent que les personnes montrant des hautes capacités d'imagerie visuelle sont meilleures et/ou plus rapides pour reconnaître des dessins aux traits en relief.

Cependant, ces deux résultats souffrent de limitations, dans le sens où ils ne peuvent confirmer définitivement que l'imagerie visuelle est impliquée dans la reconnaissance haptique de dessins aux traits en relief, du moins pas sans ambiguïté. Concernant le premier résultat, il est difficile de départager l'effet de l'absence de capacité d'imagerie visuelle de l'effet du manque de connaissance des conventions visuelles graphiques, car ce sont des facteurs confondus chez les personnes AN (voir Thompson & Chronicle, 2006 pour une plus ample discussion à ce propos). En regardant le dernier résultat, il apparaît que toutes les mesures de capacité d'imagerie visuelle sont issues de questionnaires auto-rapportés (on peut citer, le *Vividness of Visual Imagery Questionnaire* (VVIQ, Marks, 1973). De telles procédures peuvent être trompeuses en raison de leur faible validité interne, ainsi que validité externe (voir McAvinue & Robertson, 2007 ; McKelvie, 1995).

En effet, les études utilisant des mesures subjectives des capacités d'imagerie visuelle ont fait ressortir des résultats contradictoires à propos des relations entre imagerie visuelle et mesures de performance en tâche d'identification d'images tactiles. Par exemple, Lederman et al. (1990) trouvent une corrélation significative entre les scores au VIQ et le temps de réponse pour nommer aussi bien des images d'objets bidimensionnels (2D) que tridimensionnels (3D), mais rapportent une corrélation marginalement significative entre scores de réussite et scores au VVIQ. Thompson et collaborateurs ne trouvent pas de relation significative entre scores au VVIQ et réussite à l'identification d'images 2D (Thompson, Chronicle, & Collins, 2003). Dans une étude suivante, les mêmes auteurs (Thompson et al., 2006) trouvent une corrélation marginalement significative entre scores au VVIQ et scores de réussite à l'identification

d'images d'objets 3D, mais la corrélation disparaissait pour les dessins Taxyform (images tactiles sans conventions visuelles). Ces incohérences dans les corrélations rapportées suggèrent que les mesures subjectives de l'imagerie visuelle peuvent ne pas être entièrement valides. Ces corrélations requièrent donc des confirmations en utilisant des mesures non subjectives additionnelles des capacités d'imagerie visuelle chez les personnes voyantes.

Nous avons élaboré cette étude pour fournir des éléments confirmatoires que chez les adultes voyants, l'imagerie visuelle est effectivement un processus de médiation dans la reconnaissance haptique de dessins aux traits en relief d'objets communs. A cette fin, nous avons pris une mesure objective des capacités d'imagerie visuospatiale de participants voyants, en utilisant la version révisée du *Minnesota Paper Form Board* (MPFB ; [Likert & Quasha, 1941](#)), un test visuospatial très utilisé dans les études en imagerie (voir, par exemple, [Denis, 2008](#)). Nous avons ensuite comparé les performances de trois groupes de forts, moyens et faibles imageurs visuospatiaux dans une tâche d'identification haptique de dessins aux traits en relief. Nous avons raisonné que si l'imagerie visuospatiale était un processus de médiation dans cette tâche, ceci se reflèterait dans les performances (réussite et temps de réponse) entre les groupes. Un effet principal de la capacité d'imagerie était donc attendu, dans le sens où les forts imageurs visuospatiaux seraient meilleurs que les faibles imageurs visuospatiaux en tâche d'identification de dessins aux traits en relief (Hypothèse 1).

Dans cette étude, nous avons utilisé deux types de dessins aux traits en relief qui diffèrent par la présence ou non d'informations dans la troisième dimension. Les dessins aux traits en relief sont fondamentalement des objets en 2D, mais ils peuvent être des représentations d'objets en 2D ou 3D. Cela dépend du fait que les lignes du dessin incluent ou non des indices graphiques 3D (comme l'occlusion ou la perspective). Distinguer des dessins 2D et 3D, est donc, dans une certaine mesure, une question de choix arbitraire. Ici, nous nous sommes référés aux définitions de [Kennedy et Bai \(2002\)](#) ; voir aussi [Kennedy, 1974](#)), qui envisagent les dessins 2D comme des descriptions plates, ou des « empreintes » d'objets de la vie réelle. Plus précisément, ils avancent que les dessins 2D ont des surfaces plates car ils ont peu de profondeur et de parties se chevauchant, et donc ne contiennent pas d'information à propos de la troisième dimension. A l'inverse, les dessins 3D sont des « projections » d'objets de la vie réelle et contiennent des indices 3D comme des frontières occultantes et des distorsions projectives.

En lien avec les précédentes études, nous nous attendions à observer un effet principal du type de dessin sur la performance de nos participants, avec une réussite inférieure et un temps de réponse plus long pour les dessins en 3D que 2D (Hypothèse 2). D'après [Lederman](#)

et al. (1990), les individus voyants reconnaissent mieux des dessins aux traits en relief 2D que 3D en raison de la plus forte demande en imagerie visuelle qu'imposeraient ces derniers. A partir de cette interprétation, nous avons prédit une interaction significative entre capacité d'imagerie et type de dessins. Plus précisément, les différences de performance entre forts et faibles imageurs visuospatiaux devraient être beaucoup plus prononcées pour l'identification de dessins 3D que pour l'identification de dessins 2D (Hypothèse 3).

### **III.2.2. Méthode**

#### *III.2.2.1. Participants*

Trente adultes ont pris part à l'étude (âge moyen = 26 ans, écart-type = 7 ans, 17 femmes, 13 hommes). Ils étaient divisés en trois groupes d'imageurs visuospatiaux, en fonction de leur score à la version révisée du MPFB (voir Annexe 2 p. 123). Ce test consiste en une série de 64 formes géométriques. Pour chaque forme, le participant doit mentalement combiner correctement des pièces séparées pour identifier la forme correcte résultant de cette combinaison. Les participants ont 20 minutes pour réaliser le test. Les scores au MPFB vont de 0 (plus faible imagerie visuospatiale) à 64 (plus forte imagerie visuospatiale). Le score moyen obtenu par notre échantillon était de 45.37 (écart type = 9.36 ; min = 25, max = 64). Les scores se distribuaient normalement (Shapiro-Wilk test,  $W = 0.981$ ,  $p = 0.87$ ), ne différaient pas par rapport au genre (analyse de variance à un facteur avec le genre comme facteur inter-participants,  $F(1, 28) = 3.19$ ,  $p = 0.08$ ,  $\eta_p^2 = 0.10$ ), et n'étaient pas significativement corrélés avec l'âge (Coefficient de corrélation de Pearson,  $r = -0.30$ ,  $p = 0.10$ ). Nous avons séparé l'échantillon total en trois groupes de taille équivalente ( $n = 10$ ) sur la base de leurs capacités en imagerie visuospatiale. Le groupe « fort imageur visuospatial » incluait les participants qui avaient obtenu un score de plus de 50 au MPFB (score moyen = 55.40, écart-type = 5.13 ; âge moyen = 25 ans ; 4 hommes, 6 femmes). Le groupe « moyen imageur visuospatial » incluait les participants ayant obtenu un score entre 41 et 49 (score moyen = 45.60, écart-type = 2.37 ; âge moyen = 23 ans ; 2 hommes, 8 femmes). Finalement, le groupe « faible imageur visuospatial » incluait les participants avec un score inférieur à 40 (score moyen = 35.10, écart-type = 4.61 ; âge moyen = 29 ans ; 7 hommes, 3 femmes).

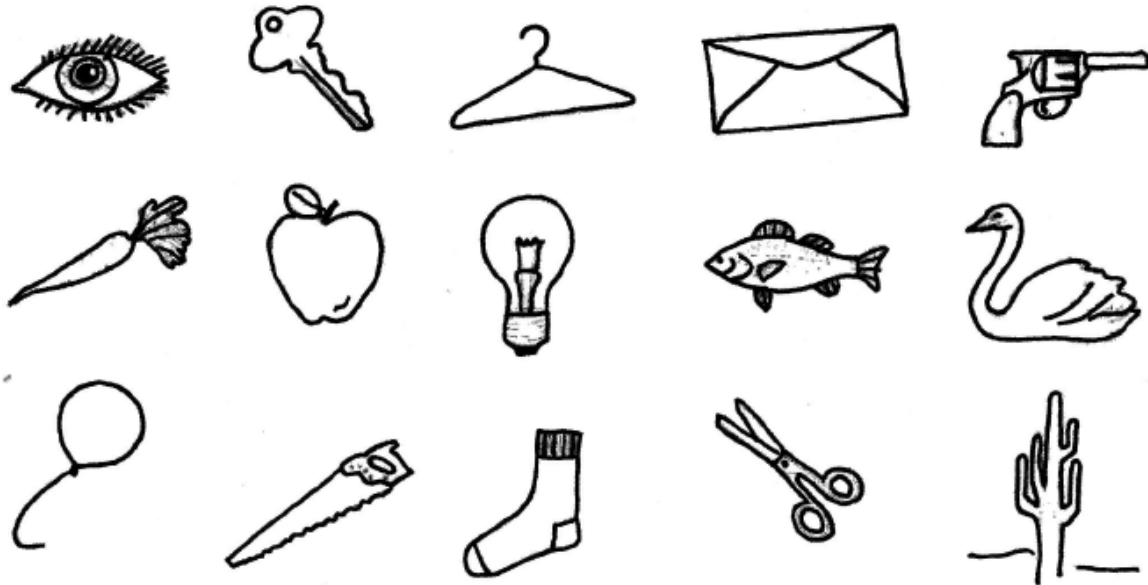
### III.2.2.2. Matériel

Les stimuli comprenaient 30 dessins aux traits en relief d'objets communs (voir Figure III.2.1) et deux dessins additionnels (entraînement). Tous les items étaient des dessins visuellement réalistes issus de la base de données de [Snodgrass et Vanderwart \(1980\)](#). Les dessins sélectionnés pour l'étude ont tous été standardisés pour le Français sur plusieurs variables d'intérêt par [Alario et Ferrand \(1999\)](#). Ces variables étaient l'accord sur le nom, l'accord sur l'image, la familiarité et la complexité visuelle. Pour moitié, les dessins étaient des « empreintes d'objets » et n'avaient pas d'information 3D. Les dessins 2D étaient les suivants, un œil, une clé, un porte manteau, une enveloppe, un revolver, une carotte, une pomme, une ampoule, un poisson, un cygne, un ballon, une scie, une chaussette, une paire de ciseaux et un cactus. Pour le reste, les dessins étaient des projections d'objet de la vie réelle et comprenaient des informations 3D. Ces dessins 3D incluaient une tasse, une pince à linge, une chaise, un cendrier, une prise de courant, une paire de lunettes, une poêle, une lampe, une montre, un sifflet, un arrosoir, un verre à vin, un hippopotame, un tambourin, un téléphone (voir Figure III.2.1).

Les deux ensembles de dessins ne différaient pas significativement par rapport à leur *complexité visuelle* (quantité de détails et complexité des lignes, de 1 = très simple à 5 = très complexe), qui était moyenne en général (dessins 2D : Moyenne = 2.37, écart-type = 0.91 ; dessins 3D : Moyenne = 2.57, écart-type = 0.62 ;  $t(28) = -0.69$ ,  $p = 0.16$ ). Les deux sets avaient un fort *accord sur le nom* (dessins 2D : Moyenne = 95.40%, écart-type = 8.58 ; dessins 3D : Moyenne = 92.27%, écart-type = 12.38 ;  $t(28) = 0.80$ ,  $p = 0.18$ ). De plus, les deux sets ne différaient pas sur leur *accord sur l'image* (score d'accord entre images d'objets généré par l'échantillon et l'image associée, de 1 = faible à 5 = fort), qui était relativement élevé (dessins 2D : Moyenne = 3.68, écart-type = 0.96 ; dessins 3D : Moyenne = 3.33, écart-type = 0.78 ;  $t(28) = 1.11$ ,  $p = 0.44$ ), ni sur leur *familiarité* (la familiarité avec le contexte, de 1 = faible à 5 = forte), qui était bonne en général (dessins 2D : Moyenne = 3.46, écart-type = 1.27 ; dessins 3D : Moyenne = 3.67, écart-type = 1.27 ;  $t(28) = -0.44$ ,  $p = 0.99$ ), ni en *variabilité de l'image* (nombre d'images évoquées par le concept, de 1 = peu à 5 = beaucoup d'images), qui était moyen en général (dessins 2D : Moyenne = 3.05, écart-type = 0.63 ; dessins 3D : Moyenne = 2.93, écart-type = 0.69 ;  $t(28) = 0.50$ ,  $p = 0.76$ ). Les valeurs pour les paramètres rapportés ci-dessus sont issues de la norme Française établie par [Alario et Ferrand \(1999\)](#). Chaque dessin était imprimé sur du papier Swell puis chauffé, une ligne embossée

apparaissait alors (ligne : 0.5 mm de haut, 0.3 mm de large). Chaque dessin était contenu dans une feuille de 21 x 29.7 cm. La longueur du plus long axe du dessin allait de 16 à 23.5 cm.

### Dessins 2D



### Dessins 3D



**Figure III.2.1.** Dessins utilisés dans l'étude 4

### *III.2.2.3. Procédure*

L'étude se déroulait de manière individuelle. Les participants étaient masqués tout le long de la tâche (ils portaient un masque occultant). Ils avaient pour consigne d'explorer librement avec leurs mains une série de dessins d'objets communs aux traits en relief, et d'identifier chaque dessin aussi précisément et rapidement que possible. Les participants disposaient d'un maximum de 2 minutes pour chaque image tactile. Vingt secondes avant la fin, ils étaient informés du temps qu'il leur restait pour donner leur réponse. Avant de commencer, l'expérimentateur informait les participants que les objets décrits ne pouvaient pas être plus petits qu'une bague ni plus grands que la tour Eiffel, et que les dessins n'étaient pas dessinés à l'échelle mais dans une dimension standardisée. Aucune information à propos de la catégorie de l'objet n'était donnée. L'expérimentateur chronométrait les participants du moment où ils touchaient l'image jusqu'au moment de leur réponse verbale. Les temps de réponse étaient enregistrés avec un chronomètre. Aucun feedback n'était donné, que la réponse soit bonne ou mauvaise. Les 30 dessins aux traits en relief étaient présentés dans un ordre aléatoire pour chaque participant. Deux dessins additionnels, un pour chaque type (2D/3D), étaient utilisés pour entraîner et familiariser les participants à la tâche.

### **III.2.3. Résultats**

Le Tableau III.2.1 montre les performances (temps de réponse moyen et réussite moyenne) pour les faibles, moyens et forts imageurs visuospatiaux et pour chaque stimulus. Le pourcentage moyen d'images correctement identifiées était de 35% (écart-type = 16.5), et le temps de réponse moyen était de 93.77 s (écart-type = 15.59). Nous avons utilisé un seuil alpha de 0.05 pour toutes les analyses statistiques.

**Tableau III.2.1.** Performance par item chez les faibles, moyens, et forts imageurs visuo-spatiaux. TR = temps de réponse en sec ; E = exactitude moyenne des réponses en pourcentage.

	Faibles imageurs visuospatiaux		Moyens imageurs visuospatiaux		Forts imageurs visuospatiaux	
	TR (sec)	E (%)	TR (sec)	E (%)	TR (sec)	E (%)
<b>Dessins 2D</b>						
Oeil	89	10	93	50	87	50
Clé	108	10	107	20	91	20
Cintre	52	80	40	90	24	90
Enveloppe	87	20	78	40	89	40
Pistolet	110	20	115	10	83	60
Carotte	89	40	87	50	78	80
Pomme	91	50	83	60	72	75
Ampoule	79	50	66	60	60	90
Poisson	98	50	105	50	105	40
Cygne	82	40	95	80	87	65
Ballon	60	60	81	80	58	90
Scie	111	10	110	-	114	20
Chaussette	95	20	111	20	84	50
Ciseaux	89	40	64	70	81	80
Cactus	103	25	91	20	104	25
<i>Moyenne (2D)</i>	<i>89</i>	<i>35</i>	<i>88</i>	<i>47</i>	<i>81</i>	<i>58</i>
<b>Dessins 3D</b>						
Tasse	88	60	69	60	68	70
Pince à linge	93	10	107	25	105	20
Chaise	108	10	99	50	100	30
Cendrier	102	-	115	-	116	10
Prise	110	-	108	10	118	-
Lunettes	110	10	110	30	98	40
Poêle	95	-	110	20	110	40
Lampe	90	30	93	50	94	50

Montre	110	-	105	-	110	10
Sifflet	100	-	112	20	119	-
Arrosoir	105	15	112	15	117	25
Verre à pied	61	80	53	80	56	80
Hippopotame	117	25	114	20	112	25
Tambourin	100	-	108	-	95	5
Téléphone	108	10	107	10	109	10
<i>Moyenne (3D)</i>	<i>100</i>	<i>17</i>	<i>101</i>	<i>26</i>	<i>102</i>	<i>28</i>
Total	94.5	26	94.5	36.5	91.5	43

### III.2.3.1. Performance d'identification haptique

La distribution des performances, reflétée par le nombre de dessins correctement identifiés (max = 30), ne déviait pas significativement de la normalité (Shapiro-Wilk test,  $W = 0.951$ ,  $p = 0.19$ ). Les données ont été analysées en utilisant deux approches, la première approche dite *split* (avec des groupes séparés par leur score en imagerie) et la seconde approche avec une analyse de régression pour tester l'effet des capacités d'imagerie sur la réussite. Nous avons utilisé l'approche *split* car elle aide à illustrer l'impact de la variable indépendante MPFB à un niveau descriptif, sans quoi cet impact serait reflété par un poids abstrait dans le modèle de régression. De plus, nous avons utilisé l'analyse de régression multiple, car MacCallum et ses collègues ont affirmé que la régression statistique sans dichotomisation des variables quantitatives était aussi appropriée (MacCallum, Zhang, Preacher, & Rucker, 2002). Ces auteurs ont montré que des problèmes sérieux peuvent potentiellement être associés à l'approche *split*, tels une perte d'information sur les différences individuelles, et une perte de la taille de l'effet et de la puissance du test.

*Approche split.* Les scores de réussite ont été soumis à une analyse de variance mixte (ANOVA) avec Capacité d'imagerie (3 : faible, moyen, fort) et Genre (2 : femme, homme) comme facteurs intersujets et Type de dessin (2 : 2D, 3D) comme facteur intrasujets. En lien avec l'Hypothèse 1, l'ANOVA fait ressortir un effet principal de la capacité d'imagerie,  $F(2, 24) = 3.86$ ,  $p = 0.035$ , avec une taille de l'effet moyenne,  $\eta_p^2 = 0.24$ . Les tests post hoc HSD de Tukey indiquent une différence significative sur la réussite entre forts et faibles imageurs



visuospatiaux ( $p = 0.012$ ), avec les forts imageurs visuospatiaux qui réussissent mieux (Moyenne = 43%, écart-type = 18.5) que les faibles imageurs visuospatiaux (Moyenne = 26%, écart-type = 12). Aucune différence en réussite n'était observée entre faibles et moyens imageurs visuospatiaux, ou entre moyens et forts imageurs visuospatiaux ( $ps > 0.17$ ). Une analyse de corrélation de Pearson indiquait que les scores individuels au MPFB étaient corrélés significativement avec la réussite ( $r = 0.55$ ,  $N = 30$ ,  $p = 0.003$ ). Les femmes avaient de meilleurs scores (Moyenne = 40%, écart-type = 14) que les hommes (Moyenne = 28%, écart-type = 12) à la tâche d'identification, mais l'effet du genre était marginalement significatif,  $F(1, 24) = 3.89$ ,  $p = 0.06$ ,  $\eta_p^2 = 0.14$ .

En accord avec l'Hypothèse 2, l'ANOVA montrait aussi un effet principal du type de dessins,  $F(1, 24) = 43.76$ ,  $p < 0.001$ , avec une large taille de l'effet,  $\eta_p^2 = 0.65$ . La réussite moyenne était plus forte pour les dessins 2D (Moyenne = 47%, écart-type = 16) que les dessins 3D (Moyenne = 24%, écart-type = 14). Il faut noter que les écarts-types étaient plutôt importants, cela reflète des variations dans les scores d'identification à l'intérieur de chaque série de dessins (voir Tableau III.2.1 et Figure III.2.2). Finalement, et contrairement à l'Hypothèse 3, l'ANOVA n'a pas révélé un effet d'interaction significatif entre les capacités d'imagerie et le type de dessin,  $F(2, 24) = 2.29$ ,  $p = 0.12$ . En particulier, les forts imageurs visuospatiaux n'étaient pas meilleurs que les faibles imageurs visuospatiaux pour identifier les dessins 3D, par rapport aux 2D (voir Figure III.2.2). L'ANOVA n'a pas révélé d'autre effet d'interaction.

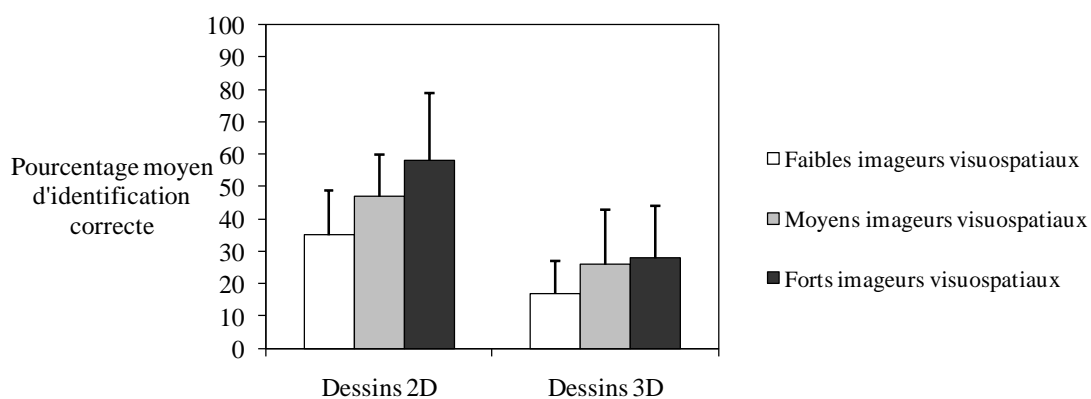


Figure III.2.2. Pourcentage moyen d'identification correcte des dessins 2D et 3D par les faibles, moyens, et forts imageurs visuospatiaux.

*Analyse de régression.* Nous avons mis en place un modèle de régression multiple avec les scores au MPFB, le genre et le terme d'interaction (score MPFB x genre) comme prédicteurs, et le score de réussite en reconnaissance haptique comme variable dépendante. Nous avons obtenu une corrélation multiple carrée (coefficient de détermination) de 0.43, qui était statistiquement significative,  $F(3,26) = 4.48$ ,  $p = 0.011$ . L'équation de régression standardisée correspondante était : Réussite = 0.44 score MPFB – 0.26 Genre – 0.08 score MPFB x Genre. Le poids de régression de la variable MPFB était statistiquement significatif,  $\beta = 0.44$ ,  $t(26) = 2.62$ ,  $p = 0.014$ , alors que le poids de régression du Genre et du terme d'interaction n'étaient pas significatifs ( $ps > 0.13$ ), ce qui indique un effet linéaire du score au MPFB sur la réussite. Lorsque l'analyse de régression multiple était conduite pour chaque type de dessin séparément, nous avons trouvé que les poids de régression de la variable MPFB étaient statistiquement significatifs pour les dessins 2D,  $\beta = 0.51$ ,  $t(26) = 2.93$ ,  $p = 0.006$ , mais pas pour les dessins 3D,  $\beta = 0.26$ ,  $t(26) = 1.56$ ,  $p = 0.13$ . Ces résultats indiquent un impact différent de la variable MPFB pour les dessins 2D et 3D. En lien avec l'Hypothèse 1, les capacités d'imagerie ont un impact sur la réussite en identification haptique, mais contrairement à l'Hypothèse 3, la relation linéaire entre capacité d'imagerie et réussite en identification est observée uniquement pour les dessins 2D, pas pour les dessins 3D plus complexes.

### *III.2.3.2. Temps de réponse*

La distribution des temps de réponse (qui inclut à la fois les réponses correctes et incorrectes) déviait de la normalité (Shapiro-Wilk test,  $W = 0.919$ ,  $p = 0.02$ ). La distribution était dissymétrique vers la droite (Coefficient de dissymétrie  $\gamma = -1.206$ ), reflétant le fait qu'une large proportion des participants utilisait la totalité des 120 secondes impartie pour la réponse. Pour cette raison, nous avons conduit une analyse non paramétrique. Les ANOVAs de Kruskal-Wallis indiquaient des temps de réponses qui ne variaient pas significativement entre les groupes d'imageurs visuospatiaux, pour l'identification des dessins 3D,  $H(2, N = 30) = 0.44$ ,  $p = 0.80$ , ou des dessins 2D,  $H(2, N = 30) = 0.77$ ,  $p = 0.68$  (Forts imageurs visuospatiaux : Moyenne = 91.50 s, écart-type = 17.97; Moyens imageurs visuospatiaux : Moyenne = 94.50 s, écart-type = 13.16; Faibles imageurs visuospatiaux : Moyenne = 94.50 s, écart-type = 16.13). Cependant, et en accord avec l'Hypothèse 2, les participants étaient significativement plus rapides pour produire leur réponse lorsqu'ils exploraient des dessins 2D (Moyenne = 86.43 s, écart-type = 18.55) que lorsqu'ils exploraient des dessins 3D

(Moyenne = 101.09 s, écart-type = 12.96), (Wilcoxon test,  $T = 29$ ,  $p < 0.001$ ) (voir la Figure III.2.3). Les temps de réponses ne variaient pas en fonction du Genre (Mann-Whitney test,  $U = 79$ ,  $p = 0.19$ ).

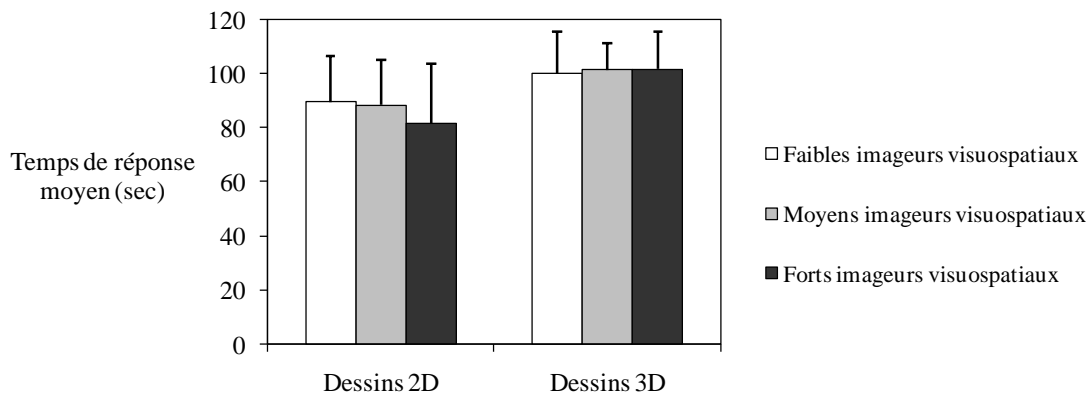


Figure III.2.3. Temps de réponse moyen (sec) pour des dessins 2D et 3D par les faibles, moyens, et forts imageurs visuospatiaux.

Ces résultats doivent être considérés avec précaution, car les temps de réponse incluaient à la fois les identifications correctes et incorrectes de dessins aux traits en relief. Une large proportion de nos participants proposait une réponse vraiment à la fin des 120 secondes allouées, et cette réponse était souvent incorrecte. Nous avons donc décidé de ré-analyser nos données en utilisant les temps de réponse pour les réponses correctes uniquement. Les temps de réponse pour les réponses correctes uniquement se distribuaient normalement ; pour une raison de cohérence avec l'analyse précédente, nous avons utilisé des tests non paramétriques. Les ANOVAs de Kruskal-Wallis n'ont pas révélé de différence significative entre les groupes sur les temps de réponses correctes pour les dessins 3D,  $H(2, N = 30) = 0.31$ ,  $p = 0.85$ , ou 2D,  $H(2, N = 30) = 0.78$ ,  $p = 0.68$  (Forts imageurs visuospatiaux : Moyenne = 70.33 s, écart-type = 17.30 ; Moyens imageurs visuospatiaux : Moyenne = 73.21 s, écart-type = 16.86 ; Faibles imageurs visuospatiaux : Moyenne = 75.01 s, écart-type = 18.75). A nouveau, les participants étaient plus rapides pour produire une réponse correcte lorsqu'ils identifiaient des dessins 2D (Moyenne = 69.18 s, écart-type = 17.69) que des images 3D (Moyenne = 76.52 s, écart-type = 17.59), (Wilcoxon test,  $T = 108$ ,  $p = 0.01$ ). Les temps de réponses pour les réponses correctes ne variaient pas significativement en fonction du genre (Mann-Whitney test,  $U = 83$ ,  $p = 0.26$ ).

### III.2.3.3. Analyse des corrélations sur les items

Les corrélations simples entre les mesures prises sur chaque item ont été calculées sur l'ensemble des variables suivantes : temps de réponse, temps de réponse pour les réponses correctes, réussite, familiarité de l'item, variabilité de l'image, complexité visuelle, accord sur le nom, ainsi que l'accord sur l'image. Elles apparaissent dans le Tableau III.2.2 La matrice montre des corrélations négatives significatives entre les temps de réponse et la réussite ( $r = -0.91$ ,  $N = 30$ ,  $p < 0.001$ ), tout comme entre le temps de réponse pour les réponses correctes et la réussite ( $r = -0.64$ ,  $N = 30$ ,  $p < 0.001$ ). Donc, plus les participants réussissaient à identifier, plus ils répondaient vite. Des corrélations significatives ont aussi été trouvées entre temps de réponse pour les réponses correctes et trois paramètres relatifs aux images : a) la familiarité de l'item ( $r = -0.54$ ,  $N = 30$ ,  $p = 0.002$ ), b) la variabilité de l'image ( $r = -0.36$ ,  $N = 30$ ,  $p = 0.05$ ), et c) la complexité visuelle ( $r = 0.49$ ,  $N = 30$ ,  $p = 0.007$ ). A l'inverse, la réussite était corrélée négativement avec un seul paramètre relatif à l'image, la complexité visuelle ( $r = -0.36$ ,  $N = 30$ ,  $p = 0.05$ ). Ces corrélations indiquent que plus la complexité visuelle est forte, moins la réussite est élevée et plus le temps de réponses pour les réponses correctes est long. A l'inverse, le temps de réponse pour les réponses correctes diminuait à la fois avec la familiarité des items et la variabilité des images.

**Tableau III.2.2.** Matrice des corrélations. TR = temps de réponse ; TRc = temps de réponses pour les réponses correctes \*  $p < .05$ ; \*\*  $p < .01$

	TR	TRc	Réussite	Familiarité	Variabilité	Complexité	Accord sur le nom
TRc	.73**	-					
Réussite	.91**	.64**	-				
Familiarité	-.27	.54**	.19	-			
Variabilité	-.01	-.36*	.08	.61**	-		
Complexité	.51*	.48**	-.36*	-.31	-.12	-	
Accord sur le nom	.26	.02	-.20	.14	.21	.05	-
Accord sur l'image	-.08	-.14	.05	-.14	-.31	.04	.26

### III.2.4. Discussion

Les résultats de cette étude montrent des similarités frappantes avec ceux obtenus par [Lederman et al. \(1990\)](#) en ce qui concerne les capacités des adultes voyants à identifier des dessins aux traits en relief d'objets communs, cela à la fois pour la réussite moyenne (35 vs 33%) et le temps de réponse moyen (94 vs 91s). Conformément aux résultats de [Lederman et al.](#), nos participants voyants portant un masque étaient meilleurs et plus rapides pour identifier des dessins 2D que 3D. Plus important, notre étude a révélé que les capacités des personnes voyantes à identifier des dessins aux traits en reliefs par le toucher variaient en fonction de leurs capacités d'imagerie visuospatiales (mesurées par le score au MPFB). Exactement, nous avons trouvé que les forts imageurs visuospatiaux étaient meilleurs que les faibles imageurs visuospatiaux sur les scores de réussite, mais pas sur les temps de réponse. De plus, et en ce qui concerne la réussite, les résultats de l'analyse de régression multiple ont révélé que les capacités d'imagerie visuospatiale avaient un impact sur la reconnaissance haptique de dessins 2D principalement, mais pas sur l'identification des dessins 3D qui est plus complexe. Mis ensemble, les résultats de notre étude valident partiellement nos hypothèses, et produisent des preuves mitigées en ce qui concerne le modèle de médiation visuelle de Lederman.

Premièrement, les différences entre forts et faibles imageurs visuospatiaux ont été trouvées sur les mesures de réussite seulement, pas sur les temps de réponse, un résultat qui valide partiellement notre première hypothèse. Le fait qu'une plus grande capacité d'imagerie visuospatiale a facilité la reconnaissance haptique de dessins aux traits en relief suggère que l'imagerie visuospatiale joue un rôle dans le traitement des images tactiles chez les personnes voyantes. Cependant, les différences interindividuelles en imagerie visuospatiale semblent principalement déterminer des différences dans la qualité et la quantité de détails présents dans l'image mentale (i.e., réussite), sans impact sur la vitesse avec laquelle cette image a été construite à partir du traitement de l'information tactile. En d'autres termes, les forts imageurs visuospatiaux utilisaient leurs capacités d'imagerie visuospatiale pour élaborer une représentation plus détaillée de ce qu'ils touchent, mais leur plus grande facilité à traduire l'information haptique en un modèle visuospatial n'a pas diminué la quantité de temps nécessaire au processus d'identification des images.

Deuxièmement, la découverte qu'à la fois la réussite et les temps de réponse pour les réponses correctes variaient en fonction du type de dessin (2D/3D) et de la complexité visuelle (i.e., quantité de détails et complexité des lignes) des dessins tactiles valide notre seconde hypothèse : plus les dessins sont complexes, plus les temps de réponse sont longs et

moins la réussite et le taux de bonnes réponses sont élevés. Nous avons aussi trouvé que le temps de réponse pour les réponses correctes diminuait avec à la fois la familiarité des items et la variabilité des images. Ces résultats suggèrent un fort impact des propriétés de l'image tactile sur les mesures comportementales (Thompson et al., 2003, 2006).

Troisièmement, la découverte que les capacités d'imagerie visuospatiale avaient un impact sur la reconnaissance haptique de dessins 2D principalement, et pas sur l'identification de dessins 3D plus complexes invalide notre troisième hypothèse. Ce résultat est en désaccord avec la proposition de Lederman selon laquelle les images tactiles contenant des informations 3D demandent plus de ressources en imagerie visuelle que les images 2D. De plus, selon le modèle de Lederman, nous avons prédit que les forts imageurs visuospatiaux dépasseraient les faibles imageurs visuospatiaux dans la tâche plus coûteuse en imagerie visuelle de reconnaissance haptique de dessins 3D. Un pattern de résultats inverse a été trouvé. On ne peut pas exclure, cependant, que l'absence d'impact significatif des capacités d'imagerie visuospatiale sur le traitement d'images 3D pourrait être dû à la complexité de ces dessins, pour lesquels un très faible taux d'identification a été obtenu. La complexité des dessins 3D de notre étude relevait de la présence de complexité des lignes et aussi de conventions visuelles 3D, ce qui les rendait difficilement intelligibles à la modalité haptique.

Mis ensemble ces résultats apportent des preuves mitigées en faveur du modèle de médiation visuelle de Lederman, que nous allons discuter ensuite. Il est à noter que Lederman et al. (1990) ont tout d'abord suggéré que l'imagerie visuelle aidait le traitement d'images tactiles. Cependant, dans un tutoriel récent sur la perception haptique, Lederman et Klatzky (2009) se référaient aux travaux de Kitada, Johnsrude, Koshiyama, et Lederman (2009) qui suggèrent que l'imagerie visuelle pourrait ne pas être nécessaire, tout du moins pour le traitement haptique d'objets 3D, et concluaient « *qu'une plus grande compréhension de l'imagerie visuelle est vraiment nécessaire pour clarifier la contribution de l'imagerie visuelle au traitement tactile/haptique de patterns 2D en reliefs familiers et non familiers et d'objets 3D* » (p. 1454). L'imagerie visuelle en elle-même est un processus hautement complexe (Kosslyn & Thompson, 2003 ; Lacey, Campbell, & Sathian, 2007) et constitué de multiples composants (génération d'image, maintien, inspection, transformation).

Revenons au modèle du traitement des images tactiles en quatre étapes de Lederman et al. (1990). Nous pourrions suggérer que l'étape 2 implique la transformation des informations haptiques en une image visuospatiale plus ou moins abstraite (i.e., une image pas purement visuelle), et est modulé principalement par les contraintes inhérentes à l'observateur, notamment, les différences interindividuelles en capacités d'imagerie visuospatiale. Nos

résultats suggèrent clairement que l'imagerie visuospatiale est impliquée dans le traitement haptique de dessins aux traits en relief par les sujets voyants. Cependant, il serait erroné de conclure qu'une forme uniquement visuelle d'imagerie mentale est impliquée. En effet, les scores au MPFB ne sont pas liés à l'imagerie visuelle uniquement : ils se réfèrent à la fois aux composantes visuelles et spatiales, qui peuvent opérer conjointement ou indépendamment. Nous n'avons pas d'accès direct au type d'imagerie que nos participants ont utilisé pour traiter les dessins aux traits en relief, mais des discussions en fin d'expérience avec nos participants ont révélé qu'ils n'utilisaient pas systématiquement la visualisation. Il est donc possible qu'une forme plus abstraite d'imagerie ait été utilisée, dans laquelle la composante spatiale est plus adaptée qu'une composante purement visuelle. Pour donner plus de crédit à cet argument, l'étude de [Picard, Lebaz, Jouffrais, et Monnier \(2010\)](#) ; voir aussi [Lebaz, Picard, & Jouffrais, 2010](#)) a montré que de multiples formes de stratégies mnésiques sont impliquées dans la reconnaissance haptique de patterns 2D tactiles, parmi lesquelles l'imagerie visuelle, l'imagerie spatiale, l'imagerie kinesthésique, et le recodage verbal des patterns. Dans les études futures, il sera important de tester le type précis d'imagerie utilisé par les participants, par exemple en utilisant une condition de suppression (interférence visuelle vs. spatiale pendant le traitement de dessins aux traits en relief).

La découverte que l'imagerie visuospatiale est impliquée principalement dans le traitement des images 2D suggère que ces images peuvent être représentées de manière interne à travers une translation visuelle ou l'élaboration d'information dans un format plus abstrait, et pourraient donc être intelligibles à la modalité haptique. Au contraire, les images 3D, à cause de leur haut niveau de complexité, peuvent être difficiles à représenter de manière interne en utilisant l'imagerie visuospatiale, et donc difficilement intelligibles à la modalité haptique. Nous pensons que les dessins aux traits en relief contenant des informations 3D sont plus difficiles à identifier par le toucher que des empreintes 2D à cause de la plus forte demande non pas en imagerie visuelle (comme l'avait suggéré [Lederman et al., 1990](#)), mais en exploration haptique et en segmentation du dessin en unités représentationnelles significantes (voir aussi [Thompson et al., 2003, 2006](#)). Les discussions après l'expérience avec les participants ont révélé que la majorité utilisait une stratégie d'exploration du contour, dans laquelle ils suivaient la ligne de contour externe dans le but d'obtenir une idée de la forme de l'objet décrit. Contrairement aux dessins aux traits en relief 2D (empreintes), dont les unités significantes étaient accessibles en utilisant cette stratégie, les dessins 3D (projections) ne pouvaient pas être segmentés correctement en unités significantes, en raison de l'absence de contour informatif (tout du moins non ambigu). De notre point de vue, la

complexité des images a un effet sur le processus de reconnaissance à une étape antérieure du processus d'identification haptique d'image, celle de l'exploration haptique et de l'encodage des dessins aux traits en relief (l'Etape 1 du modèle de [Lederman](#)).

Pour conclure, notre étude est la première à tester si les différences interindividuelles en imagerie visuospatiale, mesurées objectivement grâce au MPFB, influencent les capacités des adultes voyants à identifier haptiquement des dessins aux traits en relief d'objets communs. Nos résultats suggèrent que l'imagerie visuospatiale joue un rôle dans le traitement haptique d'images tactiles par les personnes voyantes. Nous proposons que le modèle de médiation visuelle de [Lederman](#) soit révisé afin de considérer plusieurs formes d'imagerie mentale. De notre point de vue, l'Etape 2 implique la transformation de l'information haptique en une image visuospatiale plus ou moins abstraite (une image qui n'est pas nécessairement ni purement visuelle). Définir la nature précise de cette image mentale sera un challenge pour les futures études.





# **Chapitre IV**

## **CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**



## IV.1. Conclusions sur la question de recherche

Notre hypothèse générale était la suivante : l'expérience visuelle et l'imagerie visuelle jouent un rôle central dans la perception et l'identification haptique d'images tactiles. Le Tableau IV.1.1 fait la synthèse des résultats obtenus pour chacune des quatre études, en relation aux six prédictions dérivées de notre hypothèse générale. Globalement comme nous pouvons le voir dans le tableau de synthèse, les résultats ne valident pas notre hypothèse générale. En effet, les hypothèses 1, 2, 4 et 5 ne sont pas validées ; seules les hypothèses 3 et 6 sont validées.

1. Les capacités de traitement (mesurées par des taux de réussite à la tâche) d'images tactiles, figuratives ou non figuratives, ne varient pas significativement entre voyants et non-voyants. Cela invalide notre hypothèse 1 (les capacités de traitement d'images tactiles sont moins bonnes chez des individus aveugles, en particulier les aveugles précoces, que chez des individus voyants). De plus, chez les aveugles, ces capacités ne sont pas inversement liées à la précocité de la cécité. Ceci invalide également notre hypothèse 2 (chez les aveugles, les capacités de traitement sont inversement liées à la précocité de la cécité).

Ces résultats suggèrent que les images non figuratives qui n'impliquent pas de connaissance des conventions visuelles graphiques pour leur compréhension (patterns 2D, études 1 et 2), de même que des images figuratives simples (dessins de visages expressifs, étude 3), peuvent être traitées de manière efficace sans recours à de l'expérience visuelle ni à de l'imagerie visuelle. Cela va dans le sens du point de vue optimiste de [Kennedy \(1993\)](#) pour lequel l'expérience visuelle n'est pas nécessaire pour interpréter des images tactiles. Dans l'étude 3, nous montrons de plus une plus grande rapidité de traitement chez les sujets aveugles de naissance qui pourrait être liée à leur plus grande expérience dans le domaine des informations tactiles (Braille, images tactiles). Toutefois, le traitement des images semble être local plutôt que global chez les aveugles comme chez les voyants.

**Tableau IV.1.** Synthèse des résultats obtenus en fonction des hypothèses.

		Images non-figuratives		Images figuratives	
		Etude 1	Etude 2	Etude 3	Etude 4
	Type de tâche	Reconnaissance	Reconnaissance	Classification	Identification
	Matériel utilisé	Patterns 2D	Patterns 2D	Dessins de visages expressifs	Dessins d'objets communs
	Statut visuel des participants	AP/AT/V	A	AN/V	V
	Taux de réussite	74%/81%/78%	78%	44%/55%	35% (Faibles : 26%/Forts : 43%)
	Temps de réponse	-	-	22s/37s	94s
<b>1. Capacités de traitement d'images tactiles</b>					
	<b>Hypothèse n°1</b> : les capacités de traitement d'images tactiles sont moins bonnes chez des individus aveugles, en particulier les AP, que chez des individus voyants.	Non validée	-	Non validée	-
	<b>Hypothèse n°2</b> : chez les aveugles, les capacités de traitement sont inversement liées à la précocité de la cécité.	-	Non validée	-	-
<b>2. Stratégies mnésiques</b>					
	<b>Hypothèse n°3</b> : il existe des différences importantes en matière d'imagerie mentale selon les individus, avec un recours massif à l'imagerie visuelle chez les V, et certains AT, versus un usage de stratégies non visuelles chez les AP.	Validée	Validée	-	-
	<b>Hypothèse n°4</b> : le type de stratégie a un impact important sur les performances, avec de meilleures performances chez les sujets ayant recours à une imagerie visuelle que chez les sujets utilisant des images mentales non visuelles.	Non validée	Non validée	-	-
<b>3. Capacités d'imagerie visuelle</b>					
	<b>Hypothèse n°5</b> : il existe une relation positive entre la vivacité de l'imagerie visuelle des sujets et leur capacité à traiter des images tactiles.	Non validée	-	-	-
	<b>Hypothèse n°6</b> : les sujets forts en imagerie visuospatiale obtiennent de meilleures performances que les sujets faibles en imagerie visuospatiale.	Validée	-	-	Validée

2. Les stratégies mnésiques ainsi que le type d'imagerie mentale varient entre aveugles et voyants, mais aussi selon le degré d'expérience visuelle des aveugles, ce qui confirme notre hypothèse 3 (il existe des différences importantes en matière d'imagerie mentale selon les individus, avec un recours massif à l'imagerie visuelle chez les voyants, et certains aveugles tardifs, versus un usage de stratégies non visuelles chez les aveugles précoces). En revanche, ces différences de stratégies n'ont pas d'impact sur les performances, invalidant ainsi notre hypothèse 4 (le type de stratégie a un impact important sur les performances, avec de meilleures performances chez les sujets ayant recours à une imagerie visuelle que chez les sujets utilisant des images mentales non visuelles).

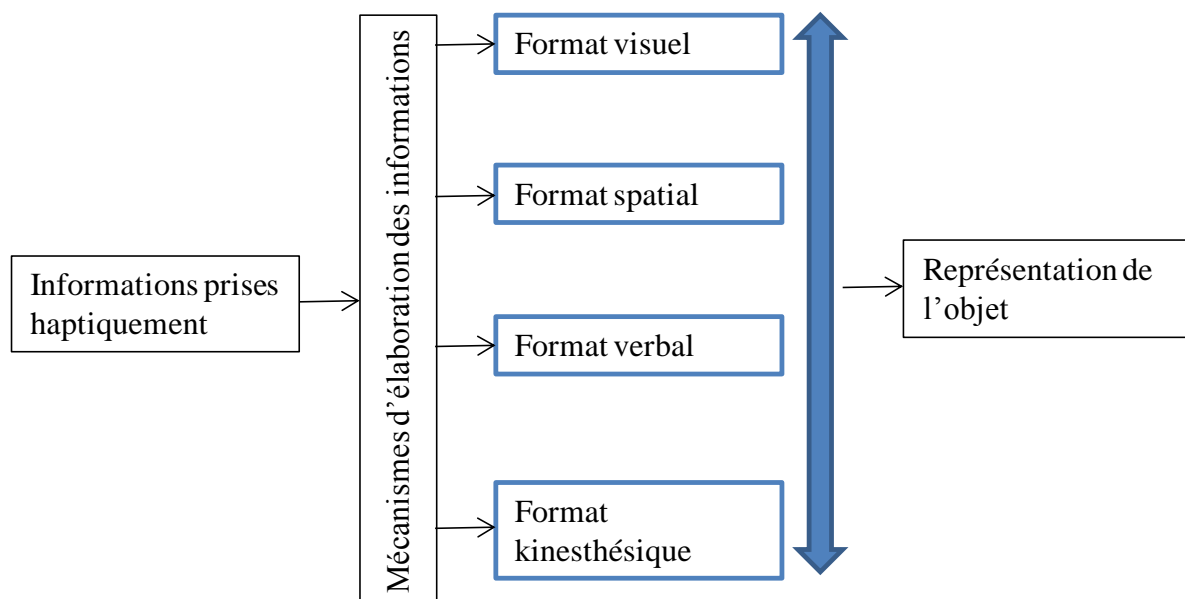
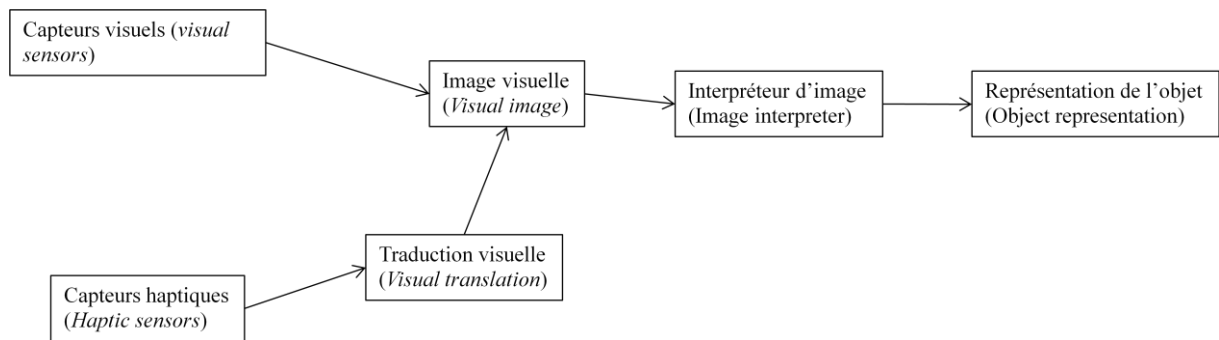
Ces résultats suggèrent que les stratégies mnésiques utilisées pour résoudre la tâche dépendent de l'expérience visuelle du sujet (Hollins, 1985), que l'on peut mesurer à l'aide de 2 indicateurs : l'âge d'apparition de la cécité et la proportion de temps de vie sans expérience visuelle. Toutefois, nos résultats indiquent qu'une même tâche peut être résolue via des stratégies différentes sans avantage significatif des stratégies visuelles sur les autres stratégies.

3. Il n'y a pas de relation significative entre la vivacité de l'imagerie visuelle chez les voyants et leur performance en reconnaissance d'images non figuratives. Ce résultat invalide notre hypothèse 5 (il existe une relation positive entre la vivacité de l'imagerie visuelle des sujets et leur capacité à traiter des images tactiles). Les résultats montrent toutefois que les capacités à traiter des images figuratives ou non figuratives dépendent des capacités d'imagerie visuospatiale des sujets, mesurées par leur score au MPFB, ce qui valide notre hypothèse 6 (les sujets forts en imagerie visuospatiale obtiennent de meilleures performances que les sujets faibles en imagerie visuospatiale).

Ces résultats suggèrent une implication de l'imagerie visuospatiale dans le traitement des images, mais cette imagerie n'est pas forcément purement visuelle. Nous défendons la thèse selon laquelle le traitement haptique des images tactiles est sous-tendu par un mécanisme d'élaboration d'une image mentale de ce qui est perçu, image mentale qui n'est pas nécessairement ni exclusivement visuelle, et qui peut présenter des composantes spatiales plus ou moins abstraites (voir Bryant, 1997 ; Loomis, Klatzky, Avraamides, Lippa, & Golledge, 2007 ; Struiksmá, Noordzij, & Postma, 2009).

Notre travail montre en effet que a) l'imagerie visuelle ne constitue pas une condition *sine qua non* au traitement des images tactiles ; et b) les formes d'imagerie mentale impliquées dans la compréhension des images tactiles sont plurielles, et dépendent des

individus (de leur statut visuel, de leur degré d'expérience visuelle, de leur aptitude d'imagerie visuospatiale). Ces résultats nous amènent à réviser le modèle de médiation visuelle proposé par [Lederman, Klatzky, Chataway, et Summers \(1990\)](#) en considérant plusieurs formes d'imagerie mentale (voir Figure IV.1.1).



**Figure IV.1.1.** Modèle original de [Lederman et al. \(1990\)](#) (en haut) et modèle révisé proposé (en bas). La flèche verticale bleue indique que les différents formats peuvent être combinés entre eux.

Si l'expérience visuelle et l'imagerie visuelle ne jouent pas un rôle central dans le traitement haptique des images tactiles, comment expliquer alors que percevoir des images tactiles reste une tâche difficile et conduit à des taux de réussite modestes ? En d'autres

termes, quels sont les autres mécanismes en jeu ? Différents facteurs ont pu être évoqués dans la littérature pour rendre compte de la difficulté qu'éprouvent les individus voyants et non-voyants à traiter des images tactiles. Nous avons listé ces facteurs en les caractérisant selon qu'ils apparaissent comme internes ou externes à l'individu.

Facteurs internes à l'individu (c'est-à-dire propres au sujet ou aux caractéristiques de son système perceptivo-moteur) :

- Contraintes inhérentes au système haptique : faible résolution spatiale (Lederman et al., 1990 ; Loomis, Klatzky, & Lederman, 1991) ; intégration séquentielle des informations (Lederman et al., 1990 ; Loomis et al., 1991 ; Klatzky, Loomis, Lederman, Wake, & Fujita, 1993 ; Thompson, Chronicle, & Collins, 2003 ; Wijntjes Van Lienen, Verstijnen, & Kappers, 2008a) ; forte charge en mémoire de travail (Lederman et al., 1990 ; Loomis et al., 1991 ; Heller, Calcaterra, Burson, & Tyler, 1996) ; étroitesse du champ perceptif (Klatzky et al., 1993 ; Lederman et al., 1990 ; Loomis et al., 1991 ; Symmons & Richardson, 2000 ; Thompson et al., 2003 ; Wijntjes et al., 2008a).
- Manque de familiarité avec la modalité haptique et les images (Heller, 1989, 1996).
- Méconnaissance ou manque de familiarité avec les conventions purement visuelles de dessin (Klatzky et al., 1993 ; Millar, 1975 ; Thompson et al., 2003, 2006).
- Limites dans les capacités d'imagerie visuelle (Heller et al., 1996 ; Lederman et al., 1990 ; Scocchia, Stucchi, & Jack M Loomis, 2009 ; Thompson et al., 2003 ; Thompson, Chronicle, & Collins 2006 ; Warren, 1984 ; Worchel, 1951).
- Difficulté dans la planification et le contrôle des mouvements d'exploration (Magee & Kennedy, 1980 ; Symmons & Richardson, 2000)
- Inefficacité des stratégies d'exploration (Heller, 1989 ; Loomis et al., 1991 ; D'Angiulli, Kennedy, & M A Heller, 1998 ; Wijntjes et al., 2008a ; Wijntjes Van Lienen, Verstijnen, & Kappers, 2008b).

Facteurs externes à l'individu (c'est-à-dire liés aux images tactiles proposées et à la tâche) :

- Caractère appauvri des images tactiles en tant que stimuli (Klatzky et al., 1993 ; Lederman & Klatzky, 1987 ; Lederman et al., 1990).
- Manque d'information sémantique sur l'image (catégorie d'appartenance) (Heller et al., 1996).
- Taille réduite du dessin (Kennedy & Bai, 2002 ; Wijntjes et al., 2008a).



- Ambiguïté et complexité des lignes du dessin, présence d'information 3D (Kennedy & Bai, 2002 ; Lederman et al., 1990 ; Thompson et al., 2003, 2006).

Parmi ces différents facteurs, et dans la perspective de poursuivre le travail de recherche, nous nous sommes concentrés sur deux facteurs en particulier :

- Le premier concerne le rôle de la complexité des images tactiles qui sont proposées (facteur externe à l'individu) ;
- Le second concerne le rôle de l'exploration haptique des images (facteur interne à l'individu).

Nous pensons que la complexité est un facteur important dans le traitement des images, comme cela est montré par les variations très importantes des taux d'identification entre items (à la fois pour les items 2D et 3D) dans l'étude 4. Ces variations ont par ailleurs été souvent pointées dans la littérature. Il est notable que les variations observées dans les taux d'identification en fonction des études (cf Tableau I.2. du Chapitre I) se retrouvent aussi au sein d'une même étude en fonction des items. Bien que les chercheurs pointent l'importance de contrôler les paramètres de complexité des images, la question se pose de savoir comment les mesurer objectivement pour les contrôler ? Une première perspective de recherche (que nous présenterons plus loin) visera à construire un instrument de mesure objective de la complexité des images tactiles utilisées dans les études expérimentales.

Nous pensons par ailleurs que les procédés d'exploration haptique des images constituent un autre facteur important dans le traitement des images tactiles. Dans nos études 3 et 4, nous avons pu observer des variations importantes dans les manières d'utiliser les mains pour explorer une image tactile entre sujets (notamment entre les sujets voyants et non-voyants) ou chez un même sujet au cours d'une tâche, suggérant des différences dans les degrés d'expertise (variabilité inter- mais aussi intra-individuelle). L'intérêt d'analyser les modes d'exploration a déjà été pointé à plusieurs reprises dans la littérature (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997 ; Wijntjes et al., 2008a). Toutefois, la difficulté réside dans l'analyse même de ces modes exploratoires, en raison du manque d'instruments ou des limites que présentent les instruments actuels de mesure (communication personnelle avec M. Wijntjes qui a essayé d'initier une analyse fine des modes exploratoires). Une seconde perspective de recherche (présentée plus loin) visera à construire un instrument efficace pour enregistrer les mouvements d'exploration et permettre à terme une compréhension des différentes stratégies et de leur efficacité relative.

## IV.2. Perspectives de poursuite du travail

### IV.2.1. Mesurer la complexité des images tactiles

Jusqu'à présent, la complexité des images tactiles utilisées dans les études expérimentales n'était soit pas considérée soit elle était mesurée à partir d'indices de complexité visuelle. Ces paramètres peuvent notamment être trouvés dans la base de données d'images visuelles de [Snodgrass et Vanderwart \(1980\)](#) ou celle d'[Alario et Ferrand \(1999\)](#) pour la langue Française. Par exemple, dans notre étude 4, un contrôle de la complexité visuelle des images appartenant aux sets 2D et 3D a été appliqué en considérant la norme établie par [Alario et Ferrand \(1999\)](#).

Dans le cadre du modèle de médiation visuelle de [Lederman et al. \(1990\)](#), utiliser un indice de complexité visuelle comme indice de complexité de l'image tactile prend sens puisque l'information doit être recodée sous un format visuel. Cependant, nous l'avons vu dans les résultats de l'étude 4, les corrélations entre complexité visuelle des images et taux de réussite restent modestes ( $r = -0.36$ ). Nous avons suggéré dans la discussion de l'étude 4 que la difficulté à traiter des images par la modalité haptique pouvait se situer à un niveau antérieur au recodage visuel proposé par Lederman, plus précisément au niveau de l'encodage des informations dans la modalité haptique. Le traitement séquentiel et la forte charge en mémoire de travail sont inhérents à la modalité haptique. La quantité d'information à récupérer apparaît donc comme un facteur de complexité probable. Dans le cas de dessins aux traits en relief dont l'épaisseur est fixe, nous suggérons que la quantité d'information à récupérer constitue un facteur de complexité qui peut être mesuré par la longueur du trait à parcourir pour explorer l'intégralité du dessin.

Nous avons créé, en collaboration avec [Philippe Truillet \(IRIT/CNRS\)](#), chercheur de l'équipe ELIPSE, un programme informatique permettant de mesurer la longueur de trait d'une image afin de permettre un contrôle de la complexité tactile des images lors de la création du matériel expérimental. Les images au format .jpeg ne comportant que du noir et du blanc, la quantité de pixels noirs par page A4 a été retenue. L'épaisseur du trait étant fixe entre les dessins, on obtient donc une mesure de longueur de trait en nombre de pixels.

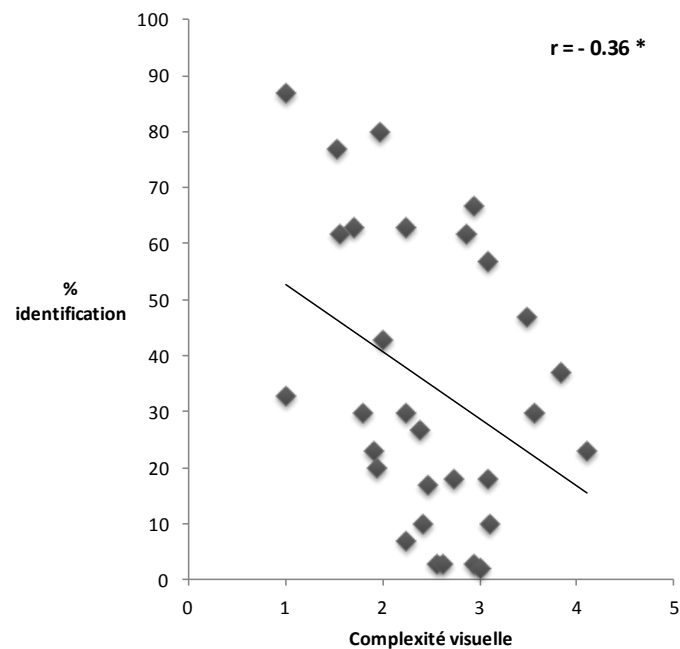
Une analyse a posteriori des images tactiles utilisées dans l'étude 4 en termes de longueur de trait a été réalisée en utilisant cette méthode. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau IV.2.1. Nous avons mentionné dans ce tableau les mesures (subjectives) de complexité visuelle des images en plus des mesures (objectives) de longueur de trait.

**Tableau IV.2.1.** Mesures de complexité visuelle et de complexité tactile des images 2D et 3D utilisées dans l'étude 4.

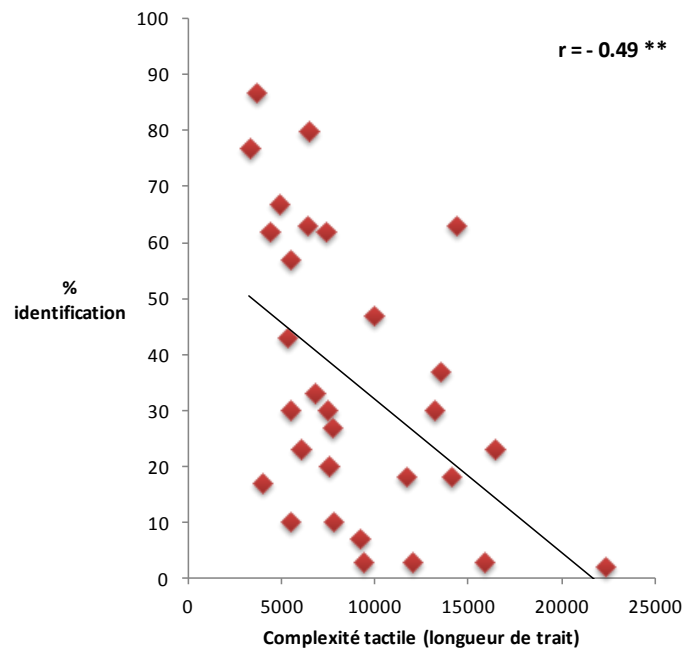
<b>Images</b>	<b>Type</b>	<b>Complexité visuelle (échelle 1-5 Alario &amp; Ferrand)</b>	<b>Complexité tactile (longueur de trait en pixels)</b>
ballon	2D	1,52	3296
cintre	2D	1	3650
clé	2D	2,45	3941
pomme	2D	1,55	4402
ampoule	2D	2,93	4883
scie	2D	2,41	5415
carrotte	2D	3,07	5424
chaussette	2D	1,79	5463
cactus	2D	1,9	6016
ciseaux	2D	2,24	6396
enveloppe	2D	1	6814
cygne	2D	2,86	7388
pistolet	2D	3,55	7440
poisson	2D	3,48	9935
œil	2D	3,83	13517
	<b>Moyenne</b>	<b>2,37</b>	<b>6265</b>
	<b>Ecart-type</b>	<b>0,91</b>	<b>2640</b>
lampe	3D	2	5313
verre à pied	3D	1,97	6466
poêle	3D	1,93	7556
lunettes	3D	2,38	7726
téléphone	3D	3,1	7806
sifflet	3D	2,24	9220
prise	3D	2,55	9320
pince à linge	3D	3,07	11673
cendrier	3D	2,62	11995
chaise	3D	2,24	13192
arrosoir	3D	2,72	14090
tasse	3D	1,69	14327
montre	3D	2,93	15810
hippopotame	3D	4,1	16390
tambourin	3D	3	22306
	<b>Moyenne</b>	<b>2,57</b>	<b>11546</b>
	<b>Ecart-type</b>	<b>0,62</b>	<b>4583</b>

Les mesures de complexité visuelle des images sont positivement corrélées avec les mesures de longueur de trait,  $r = 0.49$ ,  $p < 0.01$ . Toutefois, si la complexité visuelle ne varie pas significativement entre les deux sets d'images 2D et 3D (2D : moyenne = 2.37, écart-type = 0.91 ; 3D : moyenne = 2.57, écart-type = 0.62 ;  $t(28) = -0.70$ ,  $p > 0.49$ ), il n'en va pas de même pour la complexité tactile : le set d'images 3D présente une complexité tactile deux fois plus importante que le set d'images 2D (3D : longueur de trait moyenne = 11546 px, écart-type = 4583, 2D : longueur de trait moyenne = 6265 px, écart-type = 2640), la différence entre les deux sets étant significative ( $t(28) = -3.87$ ,  $p < 0.001$ ). Ce résultat est intéressant : il montre que le facteur complexité tactile permet une appréciation plus fine des différences entre images que le facteur complexité visuelle. Par ailleurs, dans l'étude 4, le facteur de complexité tactile apparaît en partie confondu avec la variable type d'image (2D/3D).

Nous avons par ailleurs réalisé des analyses corrélationnelles entre les deux mesures de complexité (visuelle et tactile) et les taux d'identification correcte des images. Nous cherchons ainsi à savoir si les mesures de complexité tactile sont mieux corrélées que les mesures de complexité visuelle aux taux d'identification. Si c'est le cas, alors on peut penser que les mesures de longueur de trait constituent des indicateurs plus fins de la complexité des images que les mesures subjectives de complexité visuelle. Les résultats apparaissent dans les Figures IV.2.1 et IV.2.2.



**Figure IV.2.1.** Corrélation entre mesures de complexité visuelle et taux d'identification correcte des images (Etude 4).



**Figure IV.2.2.** Corrélation entre mesures de complexité tactile (longueur de traits en pixels) et taux d'identification correcte des images (Etude 4).

Conformément à ce qui était attendu, les analyses montrent que la corrélation entre les mesures de complexité tactile (longueur de trait) et les taux d'identification des images de l'étude 4 est plus élevée ( $r = -0.49$ ,  $p < 0.001$ ) que la corrélation entre les mesures de complexité visuelle et les taux d'identification ( $r = -0.36$ ,  $p = 0.05$ ). Ainsi, la longueur de trait constitue un indicateur plus fin de la complexité des images, facteur qui affecte la facilité avec laquelle les sujets parviennent à identifier les images tactiles. En plus d'être un indicateur plus fin, il s'avère un indicateur objectif et facile à mesurer. Certains logiciels commerciaux donnent accès à ces mesures de longueur de trait.

En conclusion, cette analyse montre l'intérêt et l'importance de mesurer la complexité tactile des images (longueur de trait) utilisées dans les études expérimentales : ce paramètre permet de différencier plus finement (que le paramètre classique de complexité visuelle) les images entre elles, et rend mieux compte des variations dans les taux d'identification des images tactiles. Nous suggérons que ce paramètre soit utilisé dans les études à venir, soit pour maintenir constante la variable, soit pour sélectionner des images différant sur cette variable (par exemple, images à forte vs faible complexité). La longueur de trait d'une image n'est sans doute pas le seul paramètre qui rend compte de sa complexité : un autre paramètre important à prendre en compte est la taille de l'image (voir [Wijntjes et al., 2008a](#)).

#### IV.2.2. Mesurer les paramètres des mouvements d'exploration

Nous avons pu remarquer lors de nos expérimentations que se dégagent des différences dans les mouvements d'exploration des images selon les individus. La nature précise des modes exploratoires et des relations entre stratégie d'exploration et performance reste toutefois à découvrir. [Thinus-Blanc et Gaunet \(1997\)](#) définissent une stratégie comme « *un ensemble de règles fonctionnelles introduites par le participant lors de divers phases du traitement de l'information, de la première rencontre avec une situation nouvelle jusqu'à l'externalisation d'un savoir spatial* » (p. 35). Ces auteurs suggèrent de procéder à une investigation en trois étapes :

Etape 1- Déterminer si un ensemble de régularités comportementales peut être observé et précisément défini à la fois chez les voyants et non-voyants ;

Etape 2- Déterminer si des corrélations existent entre les comportements et les niveaux de performance (si de telles corrélations apparaissent, il devient légitime d'utiliser le terme stratégie pour décrire les régularités comportementales observées) ;

Etape 3- Essayer de mettre à jour les mécanismes qui sous-tendent l'expression comportementale des stratégies par une analyse psychologique fine.

Dans nos études 1 et 2, nous avons contraint l'exploration des patterns à l'utilisation de l'index de la main dominante, à une unique exploration du haut vers le bas, à un toucher léger et à une vitesse que le sujet devait maintenir constante. En revanche, dans nos études 3 et 4, l'exploration des dessins de visages expressifs et des dessins d'objets communs était libre. De manière informelle, dans les études 3 et 4, nous avons pu observer pour chaque participant certaines régularités dans les comportements d'exploration : l'utilisation d'une versus deux mains, les deux mains pouvant être toutes deux dynamiques ou une seule main était dynamique, l'autre servant de point d'ancrage ; l'utilisation d'un ou plusieurs doigts de chaque main. Lors de l'utilisation des deux mains, nous avons observé des comportements d'exploration symétriques et dissymétriques. Ces observations sont globalement conformes à l'analyse initiée par [Wijntjes et al. \(2008a\)](#). Cependant, n'ayant pas procédé à une analyse formelle de ces modes comportementaux, nous n'avons pas pu déterminer si ces tendances comportementales étaient corrélées aux performances dans nos tâches (classification, identification).

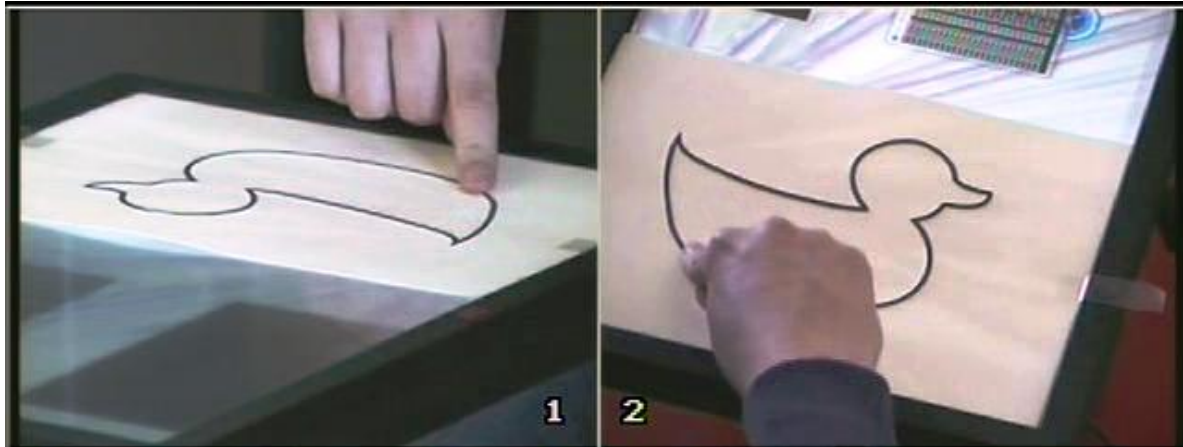
Nous aimerions pouvoir relever des régularités comportementales dans l'exploration manuelle des images à un niveau d'analyse plus fin. Dans cette perspective, il est nécessaire de dégager des paramètres de bas niveau (notamment les paramètres cinétiques) qui peuvent

influencer l'exploration haptique et la performance obtenue dans une tâche. Nos observations montrent que dans le cas où les sujets utilisent un seul doigt (leur index) pour explorer une image, ces derniers parcourent les dessins de manière plus ou moins rapide, de manière plus ou moins complète, avec des trajectoires continues (linéaires) ou discontinues (zig-zag, allers-retours), et ils appuient plus ou moins fortement sur les traits en relief. Ces différents paramètres (vitesse, quantité d'information contactée, type de trajectoire, nombre de passages sur chaque point de l'image, pression exercée) ne sont, pour l'instant, pas pris en compte dans la littérature et pourraient avoir une importance dans des tâches d'identification d'images tactiles.

En effet comme nous l'avons évoqué à plusieurs reprises, l'acquisition séquentielle des informations tactiles ainsi que la charge en mémoire de travail ont une influence probable sur les performances. On peut faire l'hypothèse qu'en accélérant l'exploration, la contrainte séquentielle soit réduite ; de même on peut faire l'hypothèse qu'un traitement rapide associé à plusieurs passages sur l'intégralité du dessin soit favorable à un meilleur rafraichissement de l'information en mémoire de travail. A l'inverse, une pression trop forte exercée sur le dessin nuit probablement à sa lecture, résultant en des trajectoires discontinues (type zig-zag). Le nombre de passages sur une même partie d'une image peut s'avérer un indicateur intéressant, et témoigner par exemple du traitement de parties difficiles d'une image et de la segmentation de l'image en parties significantes (unités de représentation).

Jusqu'à présent tester expérimentalement ce genre d'hypothèses était complexe car il est difficile d'obtenir une mesure des vitesses de déplacement ainsi que des vitesses spécifiques de mouvement sur chaque partie du dessin.

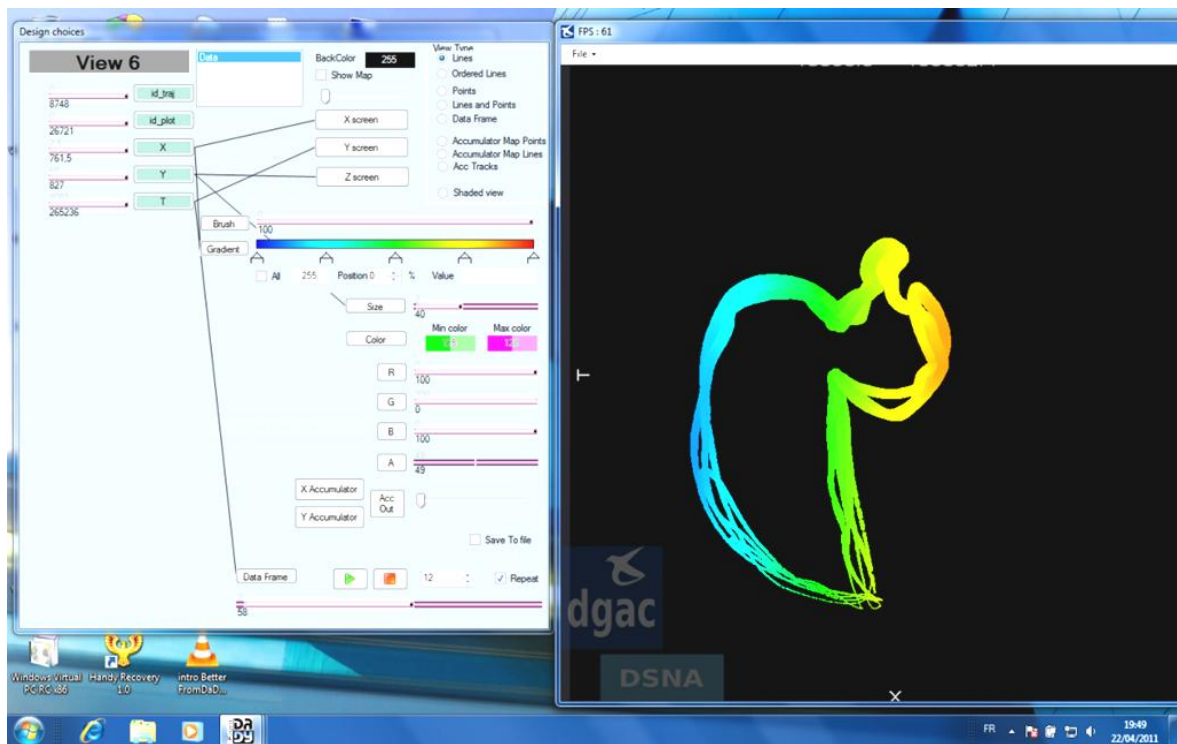
Une perspective de ce travail de thèse a été de créer un outil, qu'on pourrait appeler « *finger tracking system* », permettant de récupérer ces informations. Cet outil est en cours de réalisation et il permet de recueillir la trace laissée par l'exploration haptique d'un participant. Concrètement, il s'agit d'une dalle tactile *multitouch* dont le pilote informatique a été modifié afin qu'elle permette d'identifier et d'enregistrer leurs déplacements respectifs. Ceci permet de reconstruire les données cinématiques, à la fois la distance et la vitesse d'exploration d'une image tactile (voir Figure IV.2.1). Une fois ces données recueillies, il sera nécessaire de pouvoir les exploiter au niveau comportemental, c'est-à-dire de pouvoir repérer des unités comportementales (par exemple, le zig-zag, le sens d'exploration, la fixation...), de les associer aux vitesses, puis de rechercher d'éventuelles corrélations avec les performances.



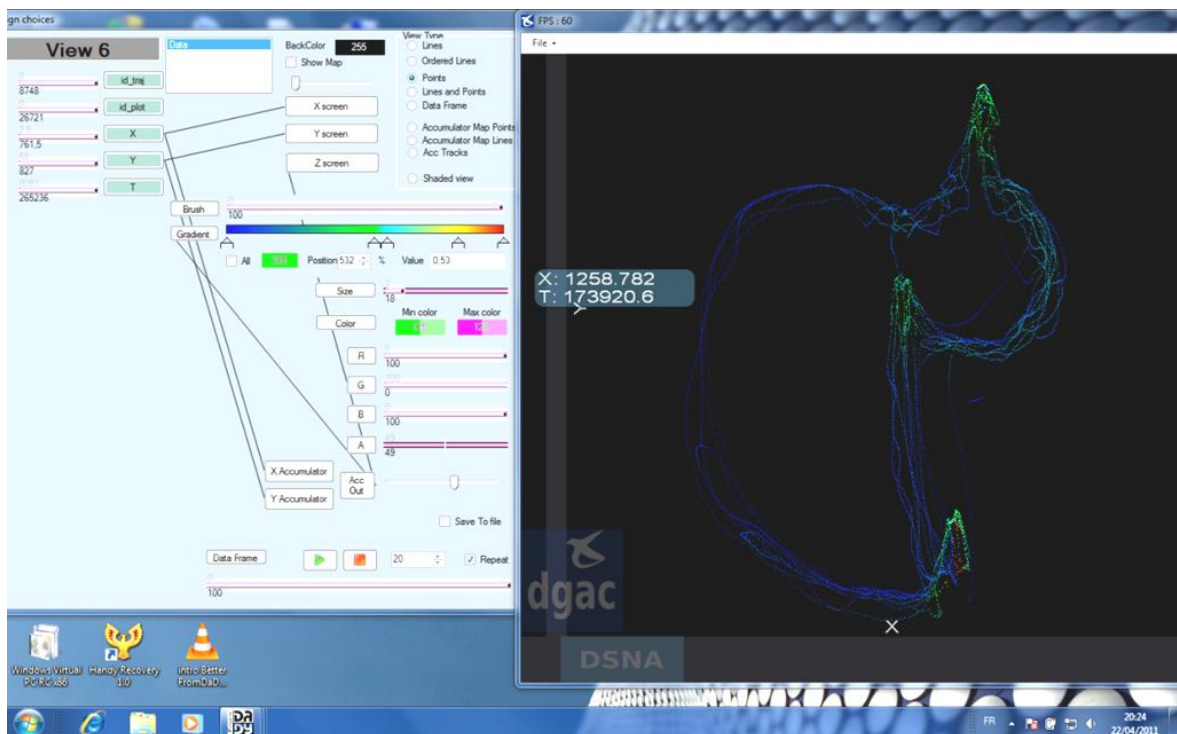
**Figure IV.2.1.** Dalle tactile *multitouch* avec dessin aux traits en relief

Un premier aperçu (voir Figure IV.2.2) des possibilités offertes par cet outil a été rendu possible par [Damien Appert](mailto:damien.appert.pro@gmail.com) ([damien.appert.pro@gmail.com](mailto:damien.appert.pro@gmail.com)) qui effectuait son stage de Master 2 Recherche mention Informatique et Télécommunications sous la direction de [P. Truillet](#) (IRIT-ELIPSE) et dont le sujet était : « Outils d'analyse de mouvements oculaires » portait sur l'oculométrie. En parallèle de son propre stage, il s'est proposé d'analyser les données recueillies avec les paramètres qu'il utilisait pour les mouvements oculaires. Sur la Figure IV.2.2a, apparaît le tracé de l'exploration haptique à l'aide du seul doigt de la main dominante (index), les variations de couleur représentant les variations de vitesse d'exploration. Sur la figure IV.2.2b, apparaît ce même tracé, où l'on distingue les nombre de passages ainsi que le temps passé sur chaque point du tracé. Des points saillants sont aisément distinguables en vert. Ces données sont pour l'instant partielles et ne portent que sur un doigt dans une procédure contrainte.





a- Le gradient de couleur va du bleu (rapide) au rouge (lent)



b- Le gradient de couleur va du bleu (peu de passage) au rouge (plusieurs passages).

**Figure IV.2.2.** Exemples de visualisations obtenues à partir des données recueillies avec la dalle tactile

A terme, l'intérêt d'un tel outil sera de permettre le recueil de données de l'exploration haptique pour l'ensemble des doigts engagés dans l'exploration libre d'une image tactile. Si nous parvenons à dégager des régularités comportementales dans les paramètres d'exploration et à montrer que ces régularités sont liées aux performances des sujets en matière de lecture d'images tactiles, alors nous obtiendrons une meilleure connaissance des stratégies d'exploration haptique d'objets 2D. A côté de l'intérêt que présentent ces connaissances pour la recherche fondamentale, un intérêt appliqué sera d'établir des recommandations pour les lecteurs novices d'images tactiles, lecteurs voyants ou non-voyants, ceci afin qu'ils accèdent plus rapidement à une lecture aisée et efficace des images tactiles.

# Références

- Alario, F-X., & Ferrand, L. (1999). A set of 400 pictures standardized for French: Norms for name agreement, image agreement, familiarity, visual complexity, image variability, and age of acquisition. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, *31*, 531-552.
- Bailes, S. M., & Lambert, R. M. (1986). Cognitive aspects of haptic form recognition by blind and sighted subjects. *British Journal of Psychology*, *77*, 451-458.
- Behrmann, M., & Ewell, C. (2003). Expertise in tactile pattern recognition. *Psychological Science*, *14*, 480-486.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components - A theory of human image understanding. *Psychological Review*, *94*, 115-147.
- Brechet, C., Baldy, R., & Picard, D. (2009). How does Sam feel?: Children's labelling and drawing of basic emotions. *The British Journal of Developmental Psychology*, *27*, 587-606.
- Bryant, D. J. (1997). Representing space in language and perception. *Mind & Language*, *12*, 239-264.
- Caddeo, P., Fornara, F., Nenci, A. M., & Piroddi, A. (2006). Wayfinding tasks in visually impaired people: the role of tactile maps. *Cognitive Processing*, *7*, 168-169.
- Calder, A., Young, A., Keane, J., & Dean, M. (2000). Configural information in facial expression perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*, 527-551.
- Casey, S. J., & Newell, F. N. (2005). The role of long-term and short-term familiarity in visual and haptic face recognition. *Experimental Brain Research*, *166*, 583-591.
- Casey, S. J., & Newell, F. N. (2007). Are representations of unfamiliar faces independent of encoding modality? *Neuropsychologia*, *45*, 506-513.
- Cornoldi, C., Cortesi, A., & Preti, D. (1991). Individual differences in the capacity limitations of visuospatial short-term memory: research on sighted and totally congenitally blind people. *Memory and Cognition*, *19*, 459-468.
- Cornoldi, C., De Beni, R., Roncari, S., & Romano, S. (1989). The effects of imagery instructions on total congenital blind recall. *European Journal of Cognitive Psychology*, *1*, 321-331.

- Cornoldi, C., Tinti, C., Mammarella, I. C., Re, A. M., & Varotto, D. (2009). Memory for an imagined pathway and strategy effects in sighted and in totally congenitally blind individuals. *Acta Psychologica, 130*, 11-16.
- D'Anguilli, A. (2007). Raised-line pictures, blindness, and tactile "beliefs": an observational case study. *Journal of Visual Impairment & Blindness, 3*, 172-177.
- D'Anguilli, A., Kennedy, J. M., & Heller, M. A. (1998). Blind children recognizing tactile pictures respond like sighted children given guidance in exploration. *Scandinavian Journal of Psychology, 39*, 187-190.
- DeLoache, J. S. (1987). Rapid change in the symbolic functioning of very young children. *Science, 238*, 1556-1557.
- Denis, M. (2008). Assessing the symbolic distance effect in mental images constructed from verbal descriptions: A study of individual differences in the mental comparison of distances. *Acta Psychologica, 127*, 197-210.
- Ekman, P. (1992). Are there basic emotions? *Psychological Review, 99*, 550-553.
- Ekman, P., Friesen, W. V., & Hager, J. C. (2002). *Facial Action Coding System. A Human Face, 160*, 4-5.
- Eriksson, Y. (1998). *Tactile pictures: Pictorial representations for the blind*. Gothenburg: Gothenburg University Press.
- Espinosa, M. A., & Ochaíta, E. (1998). Using tactile maps to improve the practical spatial knowledge of adults who are blind. *Journal of Visual Impairment Blindness, 92*, 338-345.
- Fallshore, M., & Bartholow, J. (2003). Recognition of emotion from inverted schematic drawings of faces. *Perceptual and Motor Skills, 96*, 236-244.
- Farah, M. J., Tanaka, J. W., & Drain, H. M. (1995). What causes the face inversion effect? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*, 628-34.
- Freire, A., Lee, K., & Symons, L. A. (2000). The face-inversion effect as a deficit in the encoding of configural information: Direct evidence. *Perception, 29*, 159-170.
- Golledge, R. G., Rice, M., & Jacobson, R. D. (2005). A commentary on the use of touch for accessing on-screen spatial representations: the process of experiencing haptic maps and graphics. *The Professional Geographer, 57*, 339-349.
- Goodman, L. A., & Kruskal, W. H. (1954). Measures of Association for Cross Classifications. *Journal of the American Statistical Association, 49*, 732-764.

- Grier, J. B. (1971). Nonparametric indexes for sensitivity and bias: Computing formulas. *Psychological Bulletin*, 75(6), 424-429.
- Hatwell, Y., Streri, A., & Gentaz, E. (2000). *Toucher pour connaitre. Psychologie cognitive de la perception manuelle*. Paris: PUF.
- Heller, M. A. (1989). Picture and pattern perception in the sighted and blind: The advantage of the late blind. *Perception*, 18, 379-389.
- Heller, M. A. (2002). Tactile picture perception in sighted and blind people. *Behavioural Brain Research*, 135, 65-68.
- Heller, M. A., Brackett, D. D., Scroggs, E., Steffen, H., Heatherly, K., & Salik, S. (2002). Tangible pictures: Viewpoint effects and linear perspective in visually impaired people. *Perception*, 31, 747-769.
- Heller, M. A., Calcaterra, J. A., Burson, L. L., & Tyler, L. A. (1996). Tactual picture identification by blind and sighted people: Effects of providing categorical information. *Perception & Psychophysics*, 58, 310-323.
- Heller, M. A., McCarthy, M., & Clark, A. (2005). Pattern perception and pictures for the blind. *Psicologica*, 26, 161-171.
- Hollins, M. (1985). Styles of mental imagery in blind adults. *Neuropsychologia*, 23, 561-566.
- Jehoel, S., Ungar, S., McCallum, D., & Rowell, J. (2005). An evaluation of substrates for tactile maps and diagrams: Scanning speed and users' preferences. *Journal of Visual Impairment Blindness*, February(2), 85-95.
- Jolley, R. (2008). Children's understanding of the dual nature of pictures. In C. Lange-Küttner, and A. Vinter (Eds.), *Drawing and the non verbal mind*, (pp. 86-103). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kennedy, J. M. (1974). *A psychology of picture perception*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Kennedy, J. M. (1980). Blind people recognizing and making haptic pictures. In M. A. Hagen (Ed.), *The perception of pictures*, (pp. 263-304). New York: Academic Press.
- Kennedy, J. M. (1993). *Drawing and the blind*. New Haven: Yale University Press.
- Kennedy, J. M., & Bai, J. (2002). Haptic pictures: Fit judgments predict identification, recognition memory, and confidence. *Perception*, 31, 1013-1026.
- Kennedy, J. M., & Domander, R. (1986). Postures in twig figures: Reactions by the blind and the sighted. *International Journal of Rehabilitation Research*, 9, 63-66.
- Kennedy, J. M., & Gabias, P. (1985). Metaphoric devices in drawings of motion mean the same to the blind and sighted. *Perception*, 14, 189-195.

- Kilgour, A. R., & Lederman, S. J. (2002). Face recognition by hand. *Perception & Psychophysics*, *64*, 339-352.
- Kilgour, A. R., & Lederman, S. J. (2006). A haptic face-inversion effect. *Perception*, *35*, 921-931.
- Kitada, R., Johnsrude, I. S., Kochiyama, T., & Lederman, S. J. (2009). Functional specialization and convergence in the occipito-temporal cortex supporting haptic and visual identification of human faces and body parts: An fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *21*, 2027-2045.
- Klatzky, R. L., & Lederman, S. J. (1987). The intelligent hand. *The Psychology of Learning and Motivation*, *21*, 121-151.
- Klatzky, R. L., Lederman, S. J., & Metzger, V. A. (1985). Identifying objects by touch: An “expert system”. *Perception & Psychophysics*, *37*, 299-302.
- Klatzky, R. L., Loomis, J. M., Lederman, S. J., Wake, H., & Fujita, N. (1993). Haptic identification of objects and their depictions. *Perception & Psychophysics*, *54*, 170-178.
- Kosslyn, S. (1994). *Image and brain*. The MIT Press.
- Kosslyn, S. M., & Thompson, W. L. (2003). When is early visual cortex activated during visual imagery. *Psychological Bulletin*, *129*, 723-746.
- Lacey, S., Campbell, C., & Sathian, K. (2007). Vision and touch: Multiple or multisensory representations of objects? *Perception*, *36*, 1513-1521.
- Lebaz, S. (2010, 29 oct). Reconnaissance haptique d’images non figuratives aux traits en relief chez l’aveugle : la proportion de temps de vie sans expérience visuelle joue-t-elle ? *Journée de l’Institut des Sciences du Cerveau (IFR 96)*, Toulouse, France.
- Lebaz, S. (2011, 29 mars). L’identification haptique de dessins d’objets aux traits en relief est-elle dépendante des capacités d’imagerie visuospatiale ? *Rencontres Transversales des Jeunes Chercheurs d’Octogone (RTJCO)*, Toulouse, France.
- Lebaz, S., Jouffrais, C., & Picard, D. (2011, 28 aug-1 sept). Identifying basic emotions in raised-line pictures of the human face: Do we need vision? 34<sup>th</sup> European Conference on Visual Perception [Abstract], *Perception [Supplement]*, *40*, 156.
- Lebaz, S., Jouffrais, C., & Picard, D. (sous presse). Haptic identification of raised-line drawings: high visuospatial imagers outperform low visuospatial imagers. *Psychological Research*. DOI 10.1007/s00426-011-0351-6.
- Lebaz, S., Picard, D., & Jouffrais, C. (2010). Haptic recognition of non-figurative tactile pictures in the blind: Does life-time proportion without visual experience matter? In

- A.M.L. Kappers et al. (Eds.), Eurohaptics 2010, Part II, *Lecture Notes in Computer Science*, 6192, 412-417.
- Lederman, S. J., & Campbell, J. I. (1983). Tangible line graphs: An evaluation and some systematic strategies for exploration. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 77, 108-112.
- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1987). Hand movements: A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19, 342-368.
- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (2009). Haptic perception: A tutorial. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71, 1439-1459.
- Lederman, S. J., Kilgour, A., Kitada, R., Klatzky, R. L., & Hamilton, C. (2007). Haptic face processing. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 61, 230-241.
- Lederman, S. J., Klatzky, R. L., Chataway, C., & Summers, C. (1990). Visual mediation and the haptic recognition of two-dimensional pictures of common objects. *Perception & Psychophysics*, 47, 54-64.
- Lederman, S. J., Klatzky, R. L., Rennert-May, E., Lee, J. H., Ng, K., & Hamilton, C. (2008). Haptic processing of facial expressions of emotion in 2D raised-line drawings. *IEEE Transactions on Haptics*, 1, 27-38.
- Likert, R., & Quasha, W. H. (1941). *Revised Minnesota Paper Form Board*. New York: The Psychological Corporation.
- Loomis, J. M., Klatzky, R. L., & Lederman, S. J. (1991). Similarity of tactual and visual picture recognition with limited field of view. *Perception*, 20, 167-177.
- Loomis, J. M., Klatzky, R. L., Avraamides, M., Lippa, Y., & Golledge, R. G. (2007). Functional equivalence of spatial images produced by perception and spatial language. In F. Mast & L. Jäncke (Eds.), *Spatial processing in navigation imagery, and perception* (pp. 29-48). New York: Springer.
- MacCallum, R. C., Zhang, S., Preacher, K. J., & Rucker, D. D. (2002). On the practice of dichotomization of quantitative variables. *Psychological Methods*, 7, 19-40.
- Magee, L. E., & Kennedy, J. M. (1980). Exploring pictures tactually. *Nature*, 278, 287-288.
- Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 18, 50-60.
- Marks, D. F. (1973). Visual imagery differences in the recall of pictures. *British Journal of Psychology*, 64, 17-24.
- Maurer, D., Grand, R. L., & Mondloch, C. J. (2002). The many faces of configural processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 255-260.

- McAvinue, L. P., & Robertson, I. H. (2007). Measuring visual imagery ability: A review. *Imagination, Cognition and Personality, 26*, 191-211.
- McKelvie, S. J. (1995). The VVIQ as a psychometric test for individual differences in visual imagery vividness: A critical quantitative review and plea for direction. *Journal of Mental Imagery, 19*, 1-106.
- Millar, S. (1975). Visual experience or translation rules? Drawing the human figure by blind and sighted children. *Perception 4*, 363-371.
- Murdoch, B. B. (1962). The serial position effect of free recall. *Journal of Experimental Psychology, 64*, 482-488.
- Pathak, K., & Pring, L. (1989). Tactual picture recognition in congenitally blind and sighted children. *Applied Cognitive Psychology, 3*, 337-350.
- Picard, D., & Monnier, C. (2009). Short-term memory for spatial configurations in the tactile modality: A comparison with vision. *Memory, 17*, 789-801.
- Picard, D., Jouffrais, C., & Lebaz, S. (2011). Haptic recognition of emotions in raised-line drawings by congenitally blind and sighted adults. *IEEE Transactions on Haptics, 4*, 67-71.
- Picard, D., Lebaz, S., Jouffrais, C., & Monnier, C. (2010). Haptic recognition of two-dimensional raised-line patterns by early blind, late blind and blindfolded sighted adults. *Perception, 39*, 224-235.
- Postma, A., Zuidhoek, S., Noordzij, M. L., & Kappers, A. M. L. (2007). Differences between early-blind, late-blind, and blindfolded-sighted people in haptic spatial-configuration learning and resulting memory traces. *Perception, 36*, 1253-1265.
- Pouliquen, Y. (Ed.). (2002). *Dictionnaire d'ophtalmologie de l'académie de médecine*. Paris: CILF.
- Prkachin, G. C. (2003). The effects of orientation on detection and identification of facial expressions of emotion. *British journal of psychology, 94*, 45-62.
- Pylyshyn, Z. W. (2003). *Seeing and visualizing: It's not what you think*. The MIT Press.
- Revesz, G. (1950). *The psychology and art of the blind*. London: Longmans, Green.
- Richard, F., Vaz-Cerniglia, C., & Portalier, S. (2004). Evolution des procédures d'exploration haptique chez des sujets voyants, aveugles tardifs et aveugles précoces. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée, 54*, 227-236.
- Richardson, A. (1969). *Mental imagery*. London: Routledge and Kegan Paul.



- Richardson, B., Symmons, M., & Kennedy, J.M. (1998, May). *Findings with the tactile display system*. Poster presented at the conference on representation and blindness, San Marino.
- Russier, S. (1999). Haptic discrimination of two-dimensional raised-line shapes by blind and sighted adults. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, *93*, 421-426.
- Scocchia, L., Stucchi, N., & Loomis, J. M. (2009). The influence of facing direction on the haptic identification of two-dimensional raised pictures. *Perception*, *38*, 606-612.
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, *52*, 591-611.
- Siegel, S. (1956) *Nonparametric statistics for the behavioural sciences*. New York: Mc Graw-Hill.
- Snodgrass, J. G., Vanderwart, M. A. (1980). A standardized set of 260 pictures: Norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, *6*, 174-215.
- Struiksma, M. E., Noordzij, M. L., & Postma, A. (2009). What is the link between language and spatial images? Behavioral and neural findings in blind and sighted individuals. *Acta Psychologica*, *132*, 145-156.
- Symmons, M., & Richardson, B. (2000). Raised line drawings are spontaneously explored with a single finger. *Perception*, *26*, 621-626.
- Tarr, M. J., & Bülthoff, H. H. (1995). Is human object recognition better described by geon-structural-descriptions or by multiple-views? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*, 1494-1505.
- Thinus-Blanc, C., & Gaunet, F. (1997). Representation of space in blind persons: Vision as a spatial sense? *Psychological Bulletin*, *121*, 20-42.
- Thompson, L. J. & Chronicle, E. P. (2006). Beyond visual conventions: Rethinking the design of tactile diagrams. *British Journal of Visual Impairment*, *24*, 76-82.
- Thompson, L. J., Chronicle, E. P. & Collins, A. F. (2006). From 3-D objects to 2-D pictures: Enhancing 2-D tactile picture design from knowledge of 3-D haptic object recognition. *European Psychologist*, *11*, 110-118.
- Thompson, L. J., Chronicle, E. P., & Collins, A. F. (2003). The role of pictorial convention in haptic picture perception. *Perception*, *32*, 887-893.
- Ungar, S., Blades, M., & Spencer, C. (1993). The role of tactile maps in mobility training. *The British Journal of Visual Impairment*, *11*, 59-62.

- Vanlierde, A., & Wanet-Defalque, M.-C. (2004). Abilities and strategies of blind and sighted subjects in visuo-spatial imagery. *Acta Psychologica, 116*, 205-222.
- Warren, D. H. (1984). *Blindness and early childhood development*. New York: American Foundation for the Blind.
- Wijntjes, M. W. A., van Lienen, T., Verstijnen, I. M., & Kappers, A. M. L. (2008b). The influence of picture size on recognition and exploratory behaviour in raised line drawing perception, *Perception, 37*, 602-614.
- Wijntjes, M. W. A., van Lienen, T., Verstijnen, I. M., & Kappers, A. M. L. (2008a). Look what I have felt: Unidentified haptic line drawings are identified after sketching. *Acta Psychologica, 128*, 255-263.
- Worchel, P. (1951). Space perception and orientation with blind. *Psychological Monographs, 65*, 1-28.
- Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology, 81*, 141-145.

## Annexe 1

### QUESTIONNAIRE DE VIVACITE D'IMAGERIE (VIQ)

Sujet : .....

*L'objectif de ce questionnaire est d'évaluer la qualité et la vivacité de votre imagerie. Les items du questionnaire vont vous conduire à évoquer des images mentales. Vous devrez évaluer la vivacité de chaque image à l'aide d'une échelle en 5 points, allant de 1 à 5, où*

**1 = l'image est parfaitement claire et aussi vivace que la perception ou l'expérience directe de l'objet**

**2 = l'image est claire et assez vivace**

**3 = l'image est moyennement claire et modérément vivace**

**4 = l'image est vague et faible**

**5 = aucune image n'est présente, vous « savez » seulement que vous êtes en train de penser à l'objet.**

*Vous devrez évaluer la vivacité de l'image évoquée par chaque item en entourant une des 5 valeurs de l'échelle. Avant de commencer, assurez-vous que vous êtes à l'aise avec l'échelle d'évaluation. Tout au long du questionnaire, utilisez cette échelle pour évaluer la vivacité de chaque image mentale. Essayez de répondre à chaque item séparément, en faisant abstraction des réponses données précédemment. Si vous le souhaitez, vous pourrez fermer les yeux pendant que vous évoquerez les images.*

#### **Imagerie visuelle (uniquement pour les participants voyants)**

*Pensez à une personne de votre famille ou à un ami que vous voyez souvent. Considérez attentivement l'image qui vous vient à l'esprit. Évaluez les images évoquées par chaque item sur l'échelle en 5 points.*

1. Le contour exact de son visage, de sa tête, de ses épaules et de son corps	1	2	3	4	5
2. Sa manière de tenir la tête et sa façon de bouger	1	2	3	4	5

*Imaginez-vous en train de regarder les éléments suivants. Considérez attentivement l'image qui vous vient à l'esprit. Évaluez les images évoquées par chaque item sur l'échelle en 5 points.*

3. L'ampleur d'un pas lorsqu'on marche et la posture adoptée	1	2	3	4	5
4. La couleur de vêtements qui vous sont familiers	1	2	3	4	5
5. Le soleil se couchant à l'horizon	1	2	3	4	5

**Score total : .....**

#### **Imagerie Cutanée (Tactile)**

*Imaginez-vous en train de 'ressentir' ou de toucher chacun des items suivants. Considérez attentivement l'image qui vous vient à l'esprit. Évaluez les images évoquées par chaque item sur l'échelle en 5 points.*

1. Sable	1	2	3	4	5
2. Laine	1	2	3	4	5
3. Fourrure	1	2	3	4	5
4. Piqûre d'une épingle	1	2	3	4	5
5. Tiédeur d'un bain chaud	1	2	3	4	5

**Score total : .....**

**Imagerie kinesthésique**

*Imaginez-vous en train de réaliser chacune des actions suivantes. Considérez attentivement l'image qui vous vient à l'esprit. Évaluez les images évoquées par chaque item sur l'échelle en 5 points.*

1. Monter un étage à pied	1	2	3	4	5
2. Descendre d'un trottoir	1	2	3	4	5
3. Tourner la clé dans la serrure d'une porte	1	2	3	4	5
4. Atteindre une étagère haut placée	1	2	3	4	5
5. Donner un coup de pied dans quelque chose pour l'enlever du milieu	1	2	3	4	5

**Score total : .....**

## Annexe 2

### **TEST D'IMAGERIE VISUOSPATIALE (Revised Minnesota Paper Form Board - MPFB)**

#### **COMMENT REpondre AUX EXERCICES**

Pour chaque exercice, il y a 5 choix possibles. Un seul correspond à une réponse correcte, tous les autres sont des réponses incorrectes. Vous devrez regarder attentivement chaque exercice et choisir la réponse correcte. Vous indiquerez ensuite votre réponse dans la FEUILLE de REPONSE ci-jointe. Certaines réponses sont déjà indiquées pour vous aider.

Regardez les exercices d'entraînement en haut de la première page du LIVRET. Il y en a 8, numérotés de 1 à 8. Regardez l'exercice 1. En haut et à gauche, vous pouvez voir une image composée de deux parties séparées. Lorsqu'elles sont jointes ensemble ces deux parties vont former une des 5 figures notées A, B, C, D, et E. Pour chaque exercice, une seule figure correspond à la réponse correcte, les 4 autres formes sont incorrectes. Pour l'exercice 1, lorsque les deux formes sont assemblées, elles forment la figure E : donc E est la réponse correcte.

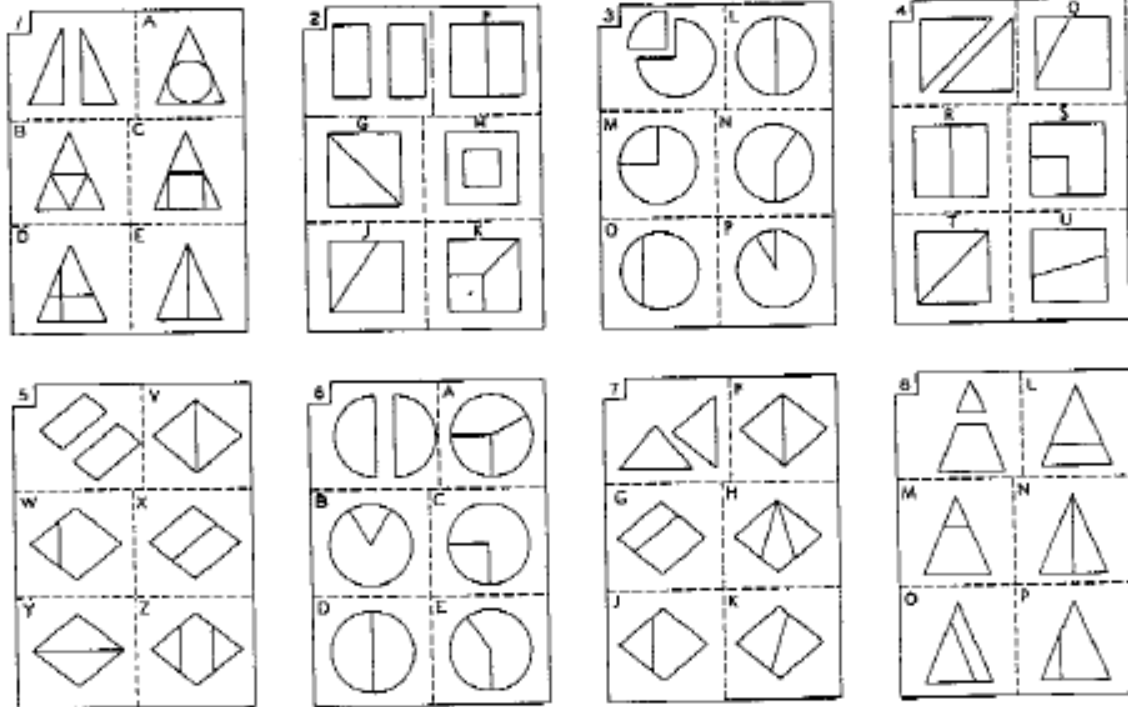
Regardez maintenant la FEUILLE de REPONSES. Dans la partie « Exercices d'Entraînement », en face de 1 (le premier exercice), est noté E : c'est la réponse correcte attendue. Essayez maintenant l'exercice 2. Lorsqu'on assemble les parties en haut à gauche celles-ci forment la figure F. Exercice 3 : lorsqu'on assemble les parties en haut à gauche, celles-ci forment la figure M. Exercice 4 : lorsqu'on assemble les parties en haut à gauche, celles-ci forment la figure T.

Faites maintenant les exercices 5 à 8 d'entraînement en notant vos réponses dans la FEUILLE de REPONSE. Ne notez rien sur les feuilles d'exercices. Vous devez résoudre chaque exercice mentalement, sans faire de dessin ou autre notation avec le crayon.

Certains exercices sont plus difficiles que d'autres, mais la logique reste la même. Parfois vous devrez faire tourner mentalement les parties séparées pour les assembler et trouver la bonne réponse. Une fois la série d'entraînement terminée, passez aux exercices test des pages suivantes du LIVRET : il y en a 64 au total. Faites les exercices dans l'ordre. N'allez pas trop vite, mais ne passez pas non plus trop de temps sur un exercice. Vous avez 20 minutes pour réaliser ce test.

LIVRET  
Page 1

Exercices d'Entraînement



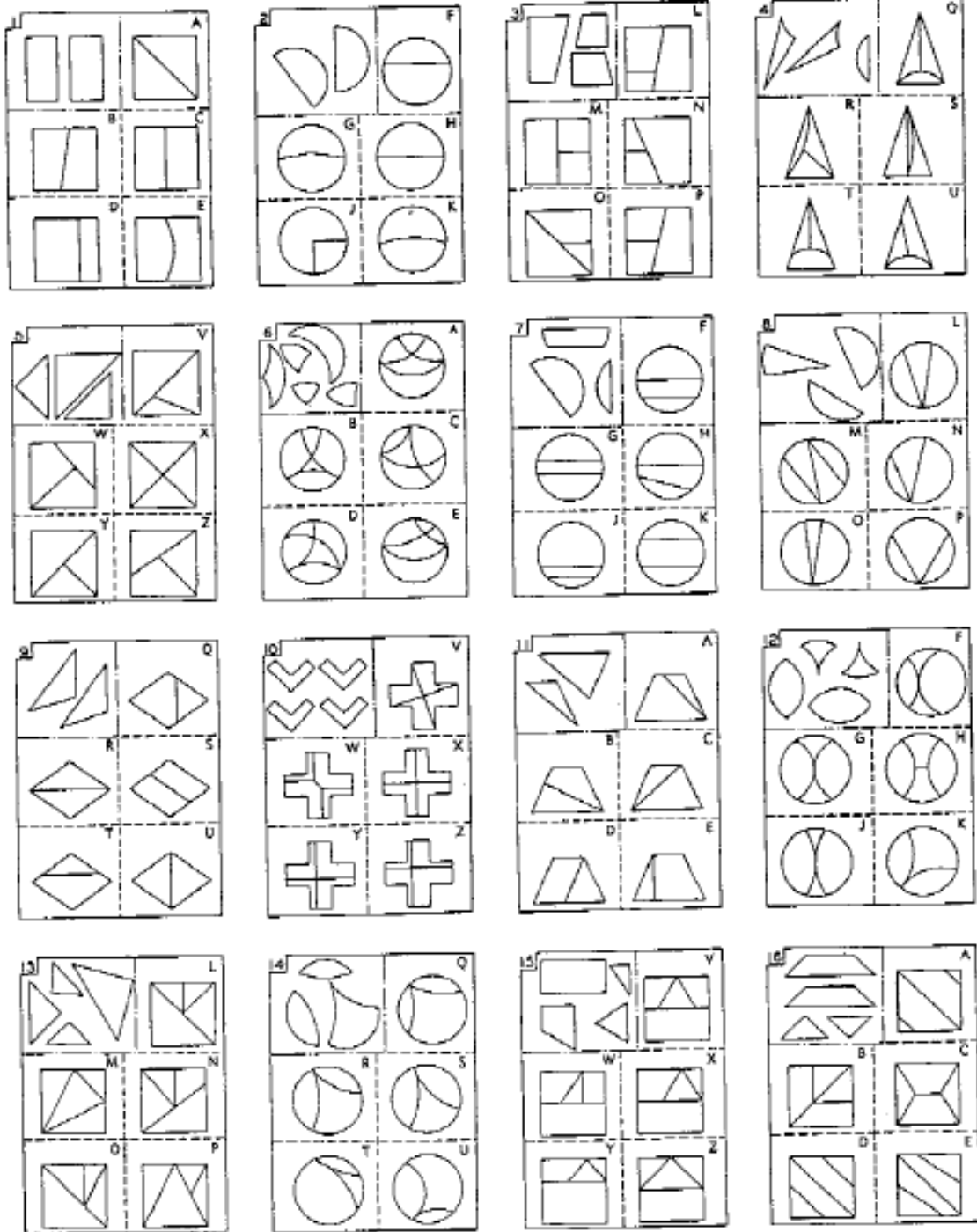
NE PAS TOURNER LA PAGE  
avant d'avoir terminé tous les exercices d'entraînement

LIVRET

Page 2

Exercices TEST

2



DO NOT MAKE ANY MARKS ON THIS BOOKLET

Go on with page 3.

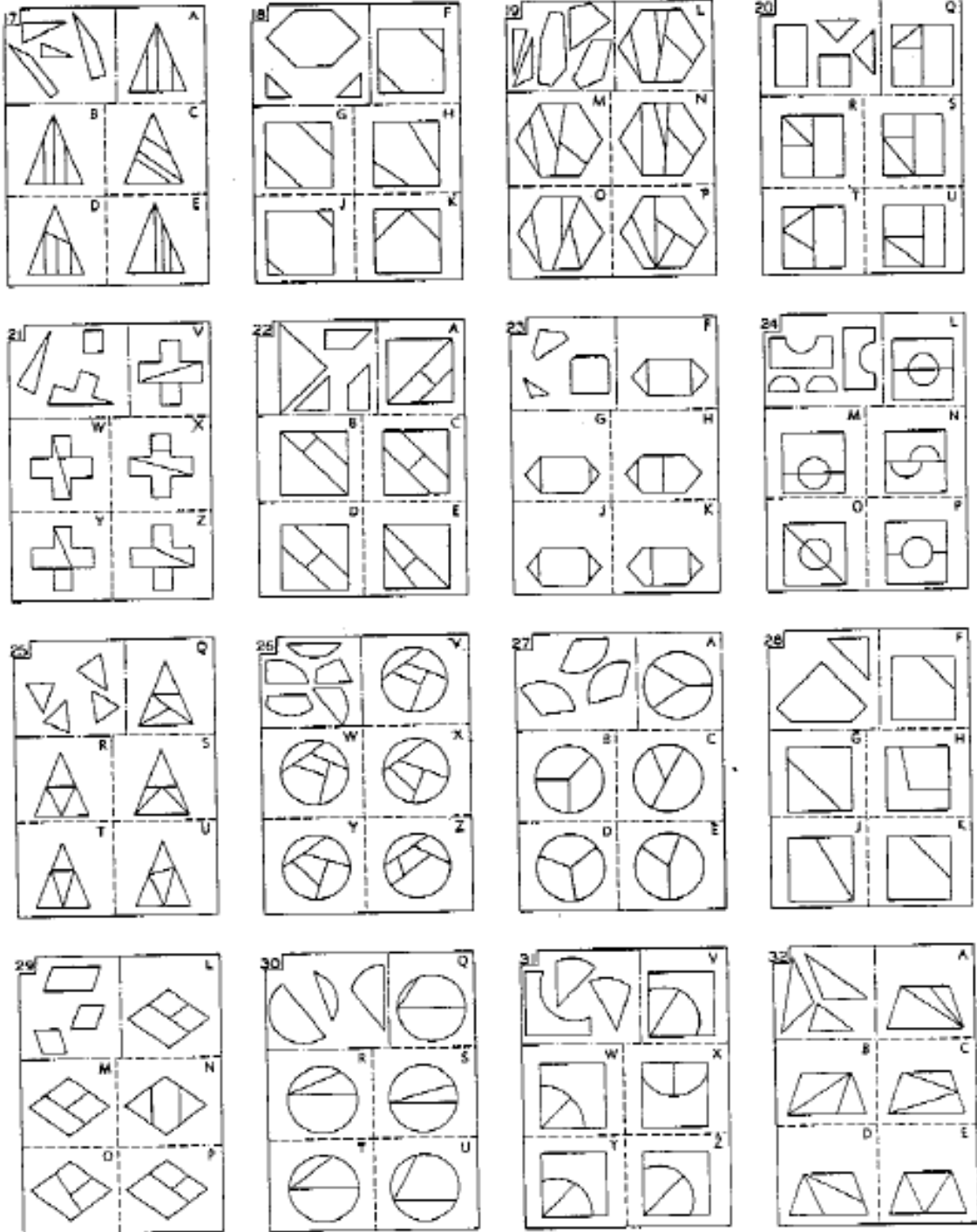
Faites tous les exercices de cette page avant de passer à la page suivante

LIVRET

Page 3

Exercices TEST

3



DO NOT MAKE ANY MARKS ON THIS BOOKLET

Go on with page 4.

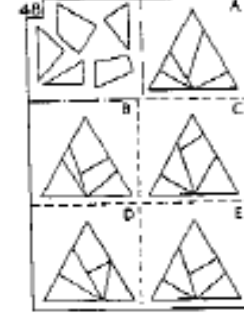
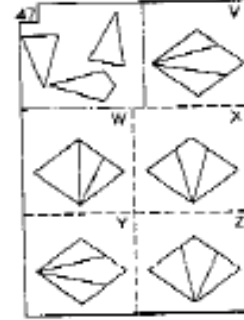
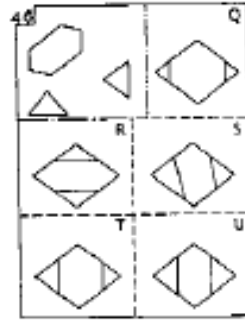
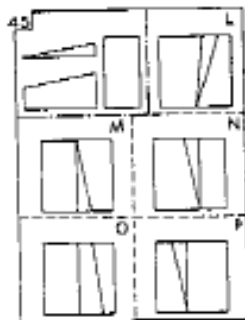
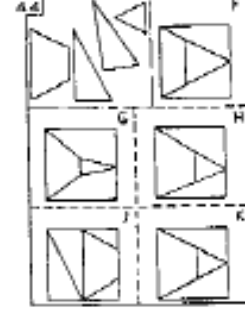
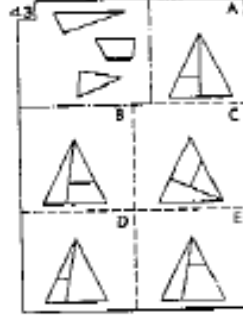
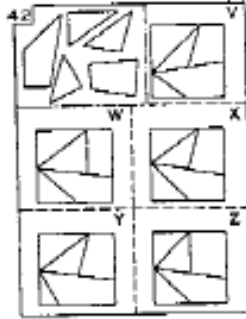
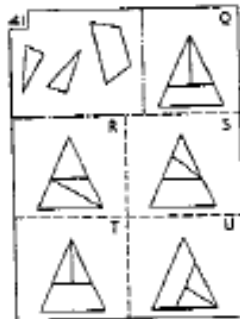
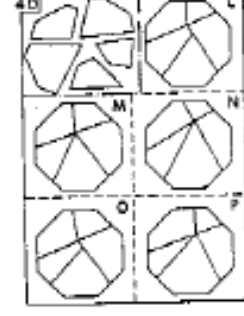
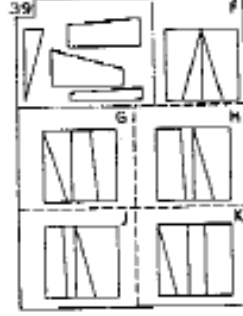
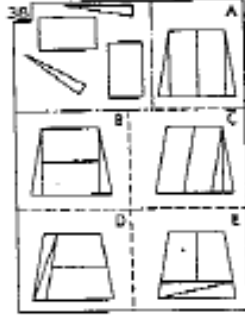
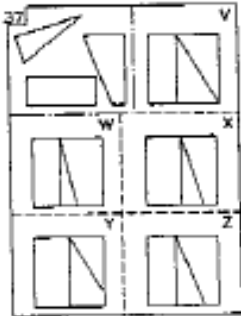
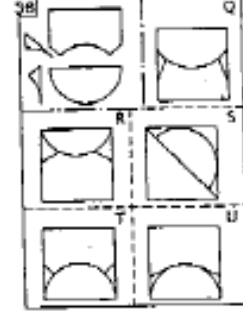
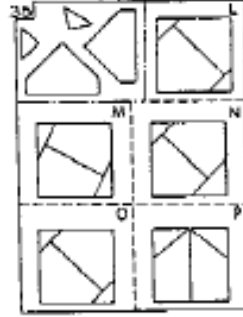
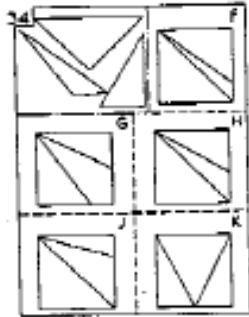
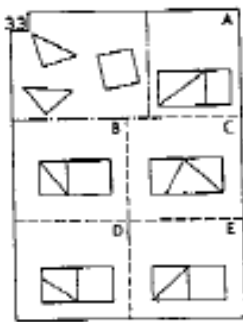
Faites tous les exercices de cette page avant de passer à la page suivante



LIVRET

Page 4

Exercices TEST



DO NOT MAKE ANY MARKS ON THIS BOOKLET

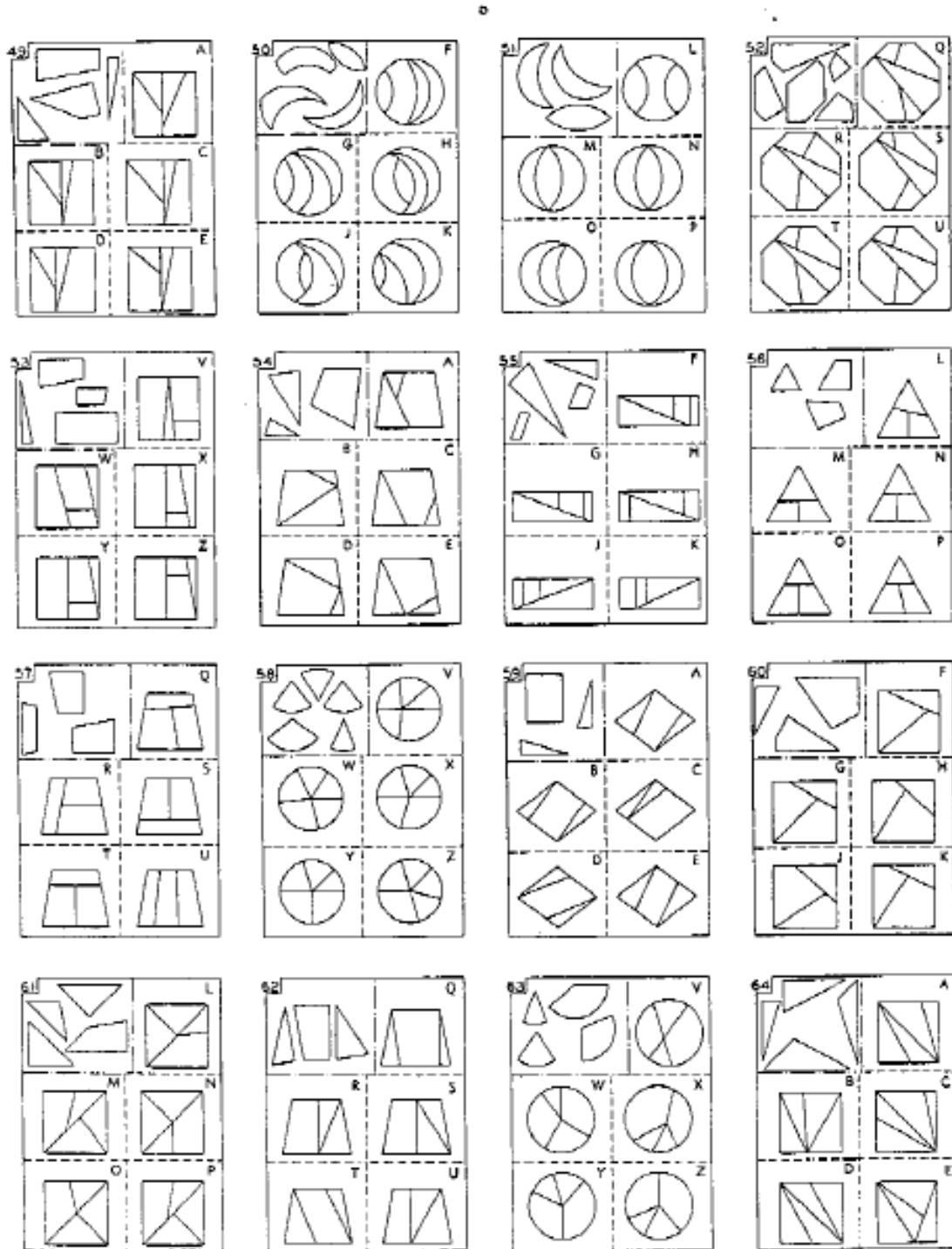
Turn over and go on with page 5.

Faites tous les exercices de cette page avant de passer à la page suivante

LIVRET

Page 5

Exercices TEST



If you finish before you are told to stop, go back and make sure that every answer is right.

FIN

## Exercices d'Entraînement

## LIVRET - Page 1

Exercice	Réponse
1	E
2	F
3	M
4	T
5	
6	
7	
8	

## Exercices TEST

## LIVRET - Page 2

Exercice	Réponse
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
1	
13	
14	
15	
16	

## LIVRET - Page 3

Exercice	Réponse
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	

## LIVRET - Page 4

Exercice	Réponse
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	

## LIVRET - Page 5

Exercice	Réponse
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	